גידול עצי יער ויערות בישראל, ארץ של ספר המִדבר

ד״ר גבריאל שילר

מהנדס יערן (Forest Engineer E.T.H.).

חוקר, המחלקה לחקר היער של מינהל המחקר החקלאי ״אילנות״.
חוקר בכיר, המחלקה למשאבי טבע, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן.
פרופ׳ חבר עמית, האוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, רחובות.

תוכן העניינים:

	הקדשה	5
	תודות	6
	הקדמה	7
1.0	**מבוא, היסטוריה והגדרות**	
1.1	מבוא	10
1.2	היסטוריה מקוצרת של היער, היערנות והמחקר היערני	12
	א. השינויים ביער	12
	ב. על הייעור	14
	ג. על המחקר היערני	18
1.3	מונחים, הגדרות והבהרת משמעותם	23
2.0	**מיני המחטניים העיקריים ביערנות הישראלית**	
2.1	מבוא	30
2.2	*אורן ירושלים*	32
2.3	*אורן ברוטיה*	62
2.4	*אורן הצנובר*	75
2.5	*אורן קנרי*	85
2.6	*ברוש מצוי*	95
3.0	**מיני עצי החורש/יער רחבי העלים העיקריים**	
3.1	מבוא	110
3.2	*אלון מצוי*	112
3.3	*אלון התבור*	120
3.4	*אלון התולע*	124
3.5	*בר-זית בינוני*	125
3.6	אלות	129
	א. אלה ארץ ישראלית	130
	ב. אלה אטלנטית	130
	ג. אלת המסטיק	131
4.0	**השימוש במים (הדיות) של עצי יער בישראל**	
4.1	מבוא	141
4.2	אומדן הדיות של הצמח השלם	144

4.3 *אורן ירושלים*, מהלך יממתי ושנתי של הדיות 152

א. *אורן ירושלים* בכרמל 153

ב. *אורן ירושלים* ביתיר 156

ג. השפעת הטופוגרפיה על הדיות היומית והשנתית 165

4.4 *ברוש מצוי*. מהלך יממתי ושנתי של הדיות 168

4.5 *אלון מצוי*. מהלך יממתי ושנתי של הדיות 172

א. *אלון מצוי* בכרמל הדרומי (רמת הנדיב) 172

ב. *אלון מצוי* בגליל התחתון (שמורת הטבע שימרון) 176

4.6 *אלון התבור*. מהלך יממתי ושנתי של הדיות 179

4.7 השוואה בין *אלון מצוי* ו*אלון התבור* בניצול מאגר המים בבית הגידול 182

4.8 *בר-זית בינוני*, מהלך יממתי ושנתי של הדיות בהשפעת המסלע 190

4.9 *איקליפטוס* מהלך יממתי ושנתי של הדיות 196

א. *איקליפטוס* באילנות 196

ב. *איקליפטוס* בנהלל 198

ג. *איקליפטוס* בכחל 201

ד. *איקליפטוס* בלימן 203

ה. סיכום כללי 208

5.0 יעראות (גידול עצי יער)

5.1 כללי

5.1.1 מבוא, הארץ וההיסטוריה 219

5.1.2 השפעת התנאים האקולוגיים על בחירת המינים לנטיעה 221

5.1.3 ממשק יער נטוע 224

5.1.4 הסבת יער מחטני חלוץ ליער מעורב בר-קיימא 228

5.1.5 טיפוח החורש הים תיכוני 229

5.1.6 שינוי מבני 232

5.2 יעראות מוכוונת על ידי זמינות מים

5.2.1 מבוא 240

5.2.2 ממשק יער המונחה על ידי מידת הדיות של העצים 242

א. יער *אורן ירושלים* ביתיר 242

ב. חורש *אלון מצוי* בכרמל 246

5.2.3 ממשק יער מונחה על ידי כוח האחיזה של המים בעלווה 249

5.3 יעראות מוכוונת על ידי המגוון הגנטי

5.3.1 מבוא 257

5.3.2 *אורן ירושלים* 260

א. הבדלים בין אוכלוסיות שרידיות בארץ 260

ב. התאמת מקורות זרעים מחו״ל לתנאים האקולוגיים בארץ 263
ג. המשמעות היראית של יבוא/איסוף זרעים מקומי לייעור 268
ד. יעראות 272
5.3.3 *אורן ברוטיה* 278
5.3.4 *אורן הצנובר* 281
5.3.5 *אורן קנרי* 284
5.3.6 *ברוש מצוי* 285
5.3.7 אלונים 289
א. אלון מצוי 289
ב. אלון התבור 293
ג. אלון התולע 297
ד. סיכום 298

5.4 התנאים הפיסיקליים לנופש ומרגוע ביער כגורם בממשק היער

5.4.1 יער מיקרו-אקלים ונופש 301
א. מבוא 301
ב. חומרים ושיטות 303
ג. תוצאות 305
1. השפעת עץ בודד 305
2. השפעת קבוצת עצים קטנה 307
3. השפעת יער אורן מדולל 308
4. השפעת חורש אלון מצוי בכרמל 312
5. השפעת יער אורן ירושלים וחורש בשפלה 315
ד. סיכום 318
5.4.2 תכונות צמחים מקומיים ויערות בהשקטת רעש. 326
א. מבוא 326
ב. השקטת רעש על ידי חלקות יער למיניהן 326
ג. השקטת רעש על ידי עצים בודדים 330

6.0 דברי הימים,

6.1 היסטוריה אישית עם הקשרים למחקר 335
6.2 רשימת הפרסומים המדעיים 370
6.3 רשימת מקורות על מצב היער והנוף בארץ במאות הקודמת 383

ספר זה מוקדש:

בראש ובראשונה לאשתי נעמי-נני, אשר עמדה לצידי באהבה רבה והייתה לי לעזר כל שנות נישואינו עד עתה. להורי, אוריאל ומרים שילר, שברור ומובן מאליו שהיה להם תפקיד מאוד רציני בפרויקט ששמו גבריאל שילר. למורי אשר גם היו מנטורים שלי כל אחד בתחום התמחותו:

פרופסור הילל אופנהימר ז״ל, הפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות.

פרופסור זאב נאווה ז״ל, הפקולטה להנדסה חקלאית, הטכניון, חיפה.

פרופסור הנס לאיבאונדגוט (Prof. Hans Leibundgut) ז״ל, ראש הפקולטה ליערנות, הטכניון הפדראלי השוויצרי, ציריך.

פרופ׳ יואב ויזל ז״ל, הפקולטה למדעי הצמח, אוניברסיטת תל אביב.

והחשוב מכולם, ד״ר רנה קרשון ז״ל, מנהל המחלקה לחקר היער של מינהל המחקר החקלאי, באילנות.

לכל אחד מאנשים אלו, שהציגו בפני אפשרויות ודרכים למימוש עצמי, הייתה השפעה רבה עלי. ואני בחרתי ״לעשות זאת בדרכי שלי״ וללכת בדרך כפי שרוברט פרוסט מתאר בשירו ״הדרך שלא ניבחרה״ (תורגם על ידי פרופסור עדנה אולמן – מרגלית ז״ל).

״לשנייה אז פניתי, כמותה מפתה,
ואולי במעט מצודדת יותר,
רמוסה קצת פחות, כך לי נדמתה,
עשביה שעליה פחות עבותה —
בעצם דמו הן כמעט בלי הכר״

.....

....״ברבות הימים בשנים הבאות
איאנח בחזרי לספר איך אי-שם
משתי הדרכים שביער עבות
בחרתי בזו שהלכו בה פחות
ופה הרי כל ההבדל בעולם״

תודות:

כתיבת ספר מקצועי-מדעי דורש ידע רב שבדרך כלל אינו נחלתו של היחיד. למרות האמצעים האלקטרוניים החדישים, החיפוש אחרי הידע דורש מיומנות שהיא נחלתם של ספרנים ומידענים. על כן נתונה תודתי לשתי הספרניות בספריה המרכזית של מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן: הגב' רות מילצ'ן והגב' עידית סופר אשר לא חסכו מאמץ על מנת למצוא עבורי את הידע המבוקש ומקורו.

תודתי נתונה למספר אנשי מדע אשר עיינו בטיוטות, הערותיהם עזרו רבות לשפר את השפה, התוכן והמבנה של הפרקים השונים והם: פרופ' גידי נאמן, ד"ר מיכאל פרידלנדר, ד"ר יחזקאל כהן, פרופ' עמוס הדס, ד"ר עוז ברזני, פרופ' שימחה לב-ידון ופרופ' אבי פרבולוצקי.

תודה מיוחדת לד"ר נעם זליגמן אשר בהיגיון ובסבלנות אין קץ הרים את השברים של המחקר היערני, אחרי פרוק המחלקה לחקר היער ששכנה באילנות אשר בשרון, ונפח תיקווה באותם הבודדים אשר הגיעו למחלקה למשאבי טבע שניהל במרכז וולקני בבית דגן.

ולחברי פרופ' אברהם (אבי) פרבולוצקי, שעיקר עיסוקו בתחום האקולוגיה של השטחים הפתוחים והממשק שלהם, שהנסיבות גרמו לו להתעניין מאוד בתחום היערני. לכן, ניהלנו שיחות רבות מאוד לשם הבהרת נושאים שונים בתחום היערנות שדעותינו עליהם היו לפעמים מאוד חלוקות.

הקדמה

ישראל לא נבנתה על פי משנה סדורה; קשה לומר שהקמת המדינה, מוסדותיה ופעילויותיה עקבו אחר העצה "סוף מעשה במחשבה תחילה". יש אפילו שיאמרו שבישראל לא אחת ראשית הקימו ועשו ואחר כך חשבו ותכננו. הרקע ידוע וברור, מדובר במדינה שמקימיה היגרו לכאן, בעיקר מאירופה, עם הכשרה חלקית מאוד לנדרש על מנת להקים מדינה. לחצים במישורים שונים - אידיאולוגי, פוליטי וביטחוני - רק האיצו את התהליך ולא אפשרו את הרוגע הנדרש לתכנון ארוך-טווח.

מעשה הייעור בישראל אינו שונה ביסודו מהקמת שאר אושיות המדינה. להחלטה לשנות את פני הארץ ולהוריק את נופיה הקרחים ביערות נטע האדם היו מכלול הנמקות אידיאולוגיות, כלכליות, ביטחוניות ונופיות. זמן לתכנן לטווח ארוך את המעשה היערני לא עמד לרשות המבצעים. אבל ביצוע נחוש ונלהב הצליח להעמיד מפעל ייעור מרשים, גם בחלקים יובשניים של ישראל, בהם יער לא אמור היה להחזיק מעמד.

הספר שלפנינו מציג את הייעור בישראל מנקודת מבטו של חוקר היער. לא רבים היו חוקרי יער בישראל וגם כיום אין המצב שונה בהרבה. אבל גבי שילר, כותב ספר אישי-מקצועי זה, אינו מיוחד רק בכך שבחר בקריירה של מחקר יער כבר אי שם בשנות ה-60 של המאה שעברה כאשר רוב היערות היו רכים וצעירים. הוא גם מהבודדים במקצוע שהם חוקרי יער "מדופלמים". רוצה לומר, הוא מחזיק בידיו דיפלומה של הפקולטה ליערנות מהטכניון בצריך שבשוויץ. ולא רק זה, גבי הוא נצר למשפחה אוסטרית שורשית או בסלנג הישראלי "יקה" במלוא מובן המילה.

המתח שבין השכלה פורמאלית ביערנות ותפיסת עולם יקית לבין המעשה היערני-הציוני בו העשייה קודמת לתכנון והמחקר נתפס כגורם מפריע ליווה את גבי לאורך כל תקופת עבודתו כחוקר ובאופן טבעי גם עולה מבין שורות ספר זה.

אבל גבי, באותה נחישות שאפיינה את היערנים שכרו בורות לנטיעת עצים במדרונות הסלעיים והיבשים של מדינת ישראל, שם למטרה לבנות בסיס ידע מקצועי למעשה הייעור בארץ. שהרי כאמור המעשה הקדים כאן את הידע והתכנון. כך, לאורך זמן, הוא עזר לנו לגלות את הצפונות הגנטיות של עצי היער בישראל והקשרים שבינם ובין ארצות שונות באגן הים התיכון. בדומה גבי חקר ביסודיות את משק המים של מיני העצים ביער הנטוע ובחורש

וסיפק תובנות חיוניות להבנת העמידות של עצים אלו לשנות בצורת ותקופות יובש. על בסיס זה מציע גבי ממשק מונחה משק מים, שאמור להיות אבן פינה לתחזוקת בת קיימא של יערות באזורים יובשניים. גבי עסק במחקריו גם בנושאים אחרים המוצגים בפרקים השונים של הספר.

למעשה מדובר כאן בספר שבו המידע המדעי שלוב בסיפור אישי מרתק של בן הדור השני להקמת המדינה ובסיפור רחב יותר של נפתולי וייסורי מעשה הבניה של מדינה צעירה, חדורת אידיאלים ויומרות. הספר משמש גם צוהר לתהפוכות המחקר בתחומים שאינם בהכרח בראש סדר העדיפויות. העדר תקציבים, פוליטיקה ארגונית ותפיסות עולם מנוגדות עם חלק מהעוסקים במלאכת הייעור לא הרתיעו את גבי ולראיה – עושר של מידע מדעי ומקצועי שהוא הצליח ליצור לאורך השנים ושתמציתו מוצגת בדפי ספר זה.

כל מי שרוצה להבין איך הצליחה לקום כאן, בלב מדבר עוין, מדינה מודרנית ואיך הצמיחו ההרים הקרחים יערות עבותים וגם – איך לא תמיד צלחו מעשי החלוצים, ייהנה לקרוא ספר זה.

פרופ׳ אברהם (אבי) פרבולוצקי

מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן

30.11.2012

1.0 מבוא, היסטוריה והגדרות

1.1 מבוא

"מאז ומעולם חי העץ כארכיטיפוס בנשמת האדם. במסורות רוחניות, מיתיות ואגדות הוא משחק תפקיד חשוב. הוא מעניק השראה והאדם רואה את העץ כמסמל אותו, כתמונת מראה של הקיום שלו. כמו האדם מושרש העץ עמוק באדמה, בקיום החומרי. עם ענפיו הוא שואף לשמיים- לעולם הרוחני. הוא מיצג תמונת-חיים, מעגליות הקיום. העץ מלווה אותנו בכל ימות השנה, באביב ובקיץ, בסתיו ובחורף ובזמני המעבר שלו. הוא נושא פרות וזרעים המכילים את תמציתו ולכן הוא סמל עוצמתי לצמיחה, לבריאות ולחידוש" [7].

הפסוק "כי האדם עץ השדה" (דברים כ', י"ט) זכה לאין ספור פרשנויות שאחת מהן טוענת שפסוק זה מקשר בין תכונות העץ לתכונות האדם. כפי שחלה על האדם חובת החינוך, הגידול והטיפוח מעת לידתו, ולהרחיק ממנו כל נזק או דבר שיכל לפגוע בו על מנת לגדלו לתורה, לחופה ומעשים טובים, כן חלה חובה זו לגבי העץ שחפצים בו ובפריו. ואכן, בשפה הגרמנית הטיפול בעץ וביער, על מנת להטות את ההתפתחות לכיוון הרצוי בשלבי התפתחותו הראשוניים - עד לגיל של כ-20 שנה, בהתאם למין ואיכות בית הגידול-, זכה לביטוי "לחנך". החינוך הן של האדם והן של העץ הבודד או חלקת יער דורש ידע רב והבנה מעמיקה של הסובב והמסובב. הידע וההבנה כיצד לפעול בצורה נכונה בחינוך (בטיפול) ביער ובחורש בארצנו לוקים בחסר רב. ספר זה ניכתב על מנת לנסות להשלים במקצת את הידע הדרוש לטיפול נאות בהם.

לאחר תום לימודי לתואר בוגר בפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית בשנת 1965, הוענקה לי מלגת חילופי סטודנטים ישראל - שוויץ, שאפשרה לי להשכיל בתחום היערנות במשך שלוש שנים בפקולטה ליערנות של הטכניון הפדראלי השוויצרי, שבסיומם קיבלתי הסמכה כמהנדס-יערן (Forest Engineer E.T.H.). לאור זאת ראיתי לעצמי ראשית לכל חובה מוסרית להשיב תודה על האפשרות שניתנה לי להשכיל בתחום מקצועי נהדר שעוסק במכלול האקולוגי של היער, החל בעצים וכלה בבני האדם. שנית, לאור כל מה שחוויתי ביחס ליער, ליערנות כמקצוע ולידע יערני בכללותו במשך שנות עבודתי במסגרת מנהל המחקר החקלאי ובכל אחד מהגופים שתפקידם לנהל ולמשק את היער והחורש, ראיתי את הצורך הגדול להפיץ ולהעמיק את הידע ואת ההבנה לתחום היערנות והיער בארץ ולסכם בשפה העברית, עבור הציבור הישראלי המתעניין בנושא, את הידע המדעי העדכני אודות המינים העיקריים ביערנות בישראל. ידע שניסמך על פרסומים

מדעיים מהעולם הרחב במשולב עם הידע הנובע מעבודתי במשך 35 שנה ויותר במחקר בתחום היעראי (גידול עצי יער), שכולל היבטים גנטיים ואקו-פיזיולוגיים (יחסי צמח- מים) במיני עצי יער בארץ. כמו כן, נכללים גם המסקנות הנובעות משילוב זה של הידע עבור ממשק היער בארץ, זאת היות ויערן **חייב** להכיר ולדעת היטב את מכלול התכונות של העצים איתם הוא עובד ואת תכונות השטח ושאר התנאים האקולוגיים.

כיערן, אשר התמחה בממשק יערני וגידול עצי יער, כיווני המחקר העיקריים היו: התנאים האקולוגים המשפיעים על התפתחות של חלקות היער, הצלחת החידוש הטבעי של יערות מחטניים, ממשק יער לשם פיתוח התנאים המיטביים לנופש, השונות הגנטית באוכלוסיות עצי יער, יער מיני עצים ומים (ראה רשימת פרסומים בעיתונות מבוקרת בפרק השישי).

שמו של הספר "גידול עצי יער ויערות בישראל, ארץ של ספר המִדבר" קשור לעובדה שלאזור המדברי המשתרע מדרום מערב ועד צפון מזרח לישראל (המידבר הסהרו-ערבי) יש השפעה על האקלים בארץ כולה כולל האזור המוגדר כאזור אקלים ים-תיכוני. כמו כן כתוצאה מהסעת מקטעי קרקע זעירים על ידי הרוחות (הלס) ושקיעתו בארץ קיימת גם השפעה על הרכב הקרקעות. יער וחורש הם תצורות צומח שאינן מנוהלות בממשק אינטנסיבי דוגמת שטחי חקלאות, הן נתונות לחסדי התנאים האקולוגיים בכל בית גידול, כלומר, למבנה המסלע, הקרקע, התנאים המטאורולוגיים ועוד. ספר זה מציג בפני הציבור שילוב של ידע יערני על מנת שייעשה בו שימוש כמורה דרך לפעילות יום יומית נכונה בממשק היער הנטוע ובחורש בארץ. הספר נחלק לשישה פרקים שנחלקים לפרקי מישנה רבים:

1. מבוא, היסטוריה והגדרות
2. המינים המחטניים העיקריים שניטעו בארץ ותכונותיהם.
3. המינים העיקריים בחורש/יער טבעי רחב העלים ותכונותיהם
4. עצי יער ומהלך השימוש במים (הדיות).
5. יעראות (= גידול עצי יער).
6. נספח; היסטוריה אישית עם הקשרים למחקר, רשימת פרסומים מדעיים ורשימת מקורות המתארים את פני הארץ במאות הקודמות.

ספר זה מיועד לאנשים שעוסקים בחיי היום-יום בממשק יערות, בממשק שטחים פתוחים, אדריכלות נוף וגנים, סטודנטים והקהל הרחב אשר מתעניין ביער ומעוניין להבין מה קרה וקורה בממשק השטחים הפתוחים בישראל מנקודת מבט של יערן. כל פיסת ידע

המובאת בספר זה מגובה על ידי ציטוט מקור הידע, כך שכל מי שמעוניין להרחיב את היריעה ולהעמיק יוכל לעשות זאת תוך העזרות במקור המצוטט אשר בדרך כלל נגיש באמצעות האינטרנט. הידע הכללי והמדעי שמרוכז בספר זה, שפורש מנקודת מבט יעראית עשוי להוות בסיס שדרוש כדי לקדם את השיקום , ולו באופן חלקי, של היערות בארץ כדי שיהיו יערות ברי-קיימא עבור רווחת הציבור.

1.2 היסטוריה

(השינויים ביער, על היעור, על המחקר היערני)

א. השינויים ביער

השפעתו של האדם על הצומח העצי בפרט ועל היער בכללותו הלכה וגברה משחר ההיסטוריה ועד לימינו עקב העלייה בדרישה לתוצרי החקלאות מזה ולתוצרי יער למיניהם מזה, זאת בעקבות הריבוי הטבעי והשכלולים הטכניים תרבותיים. לצורך התמידי בעץ ובמוצרי יער אחרים היו השפעות רבות על ההיסטוריה האנושית ונפתוליה, שמתוארים בפרוטרוט בספרו של Perlin (1989), ובספרם של Blondel and Aronson (1999) [19, 26]. פרבולוצקי ועמיתיו [18*] מתארים את האדם כמהנדס-על אקולוגי ביער הים-תיכוני, שבפעילותו שינה את סביבותיו בצורה מכרעת. השינויים הסביבתיים "לטוב ולרע" באזור מזרח אגן הים התיכון, שנבעו מפעילותו ומעשיו של האדם בעבר, מתוארים בחלקם בספרו של ריפנברג (1950) "מלחמת המזרע והישימון" [16], בספרו של מרק טווין (1886) "מסע תענוגות בארץ הקודש" [8], שבו הוא מתאר בסרקזם כי שלושה דקלים על שפת הכינרת הם שרידי היער בפלסטינה.

אך לשינוי המאוד בסיסי, הנובע מ- "ברירה דיסגנית" (ברירה שאינה מופעלת על ידי כוחות הטבע אלא על ידי דרישות האדם), שאירע בוודאות בצומח המעוצה באזורנו כתוצאה מהניצול האינטנסיבי על ידי האדם ובעירו במשך אלפי שנים, אך במיוחד ב- 5,000 השנים האחרונות, כמעט ואין אִזכור בספרות המחקרית. לסוג ברירה שכזה יש השלכות מרחיקות לכת ביותר על הרבייה ומכאן על איכות הצמיחה וההתפתחות של הצמחים. מהבחינה היערנית "ברירה דיסגנית" היא פעולה אשר בוחרת וכורתת את הפנוטיפים (גנוטיפים) הטובים ביותר לצרכים מסוימים ומשאירה בשטח את "הנחותים". יוצא שתרומתם של הצמחים המצטיינים (עצים, במִקרה שלנו) לרבייה של המין נִשללת ומתרחש

"סחף גנטי (Genetic drift) . כלומר, מושמדים גנים ייחודיים וגנים נדירים והמגוון הגנטי (Genetic diversity) באוכלוסיה ואף במין מתדלדל עם כל המשמעויות השליליות הנובעות מכך [23, 24]. בנוסף, הרס חוזר ונשנה של הכיסוי הצמחי אִפשר סחף קרקע רב שגרם להקטנת עובי שִכבת הקרקע ומכאן הקטנת זמינות המים והכימיקלים. כלומר, צִמצום הפוריות של בתי הגידול ומכאן הקטנת "יכולת הנשיאה". שינוי זה בבתי הגידול יצר לחצי ברירה לקדם תכונות המאפשרות עמידות או שרידות בתנאים קשים, לעומת לחצי ברירה לקדם תכונות המאפשרות ניצול מיטבי של תנאים אקולוגיים למטרות צמיחה והתפתחות מהבחינה היערנית. למרות שאין בידינו שום אפשרות לשחזר את המבנה והמגוון הגנטי, שהתקיים במינים שהיוו את היער והחורש מלפני התחלת הפעילות האנושית האינטנסיבית באזור, אפשר להניח בוודאות רבה כי המבנה והמגוון הגנטי הנוכחי בקרב כל מין ומין "עני יותר"-נמוך מזה שהייה בעבר הרחוק, ועל כן, גם הצמיחה (מבחינה יערנית) נמוכה יותר [19, 20, 21, 22, 30, 31].

כמו כן, השינויים באיכות בית הגידול (שינויים אקולוגיים), כתוצאה מפעילות האדם, היוו זרז לשינויים בצומח. למשל, על פי בלונדייל וארונסון [19] במערבו של אגן הים-התיכון באזורים טופוגרפיים נמוכים, בהם התקיימה עיקר פעילות האדם בטבע, אלונים נשירים, דוגמת *Quercus pubescens*, הוחלפו על ידי אלונים ירוקי עד, דוגמת *אלון אילקס* (*Quercus ilex*) והטיפוס האירופאי של *אלון מצוי* (*Q. coccifera*). לאור דוגמה זו אין לשלול את האפשרות שגם במזרחו של אגן הים התיכון, כתוצאה מפעילות אינטנסיבית בת אלפי שנים של האדם, חלו שינויים משמעותיים ביותר בתנאי בית הגידול, שבעִקבותם חלו שינויים בהרכבי הצומח, דוגמת התפשטות ה*אלון המצוי*, שהוא מין ירוק עד המתחדש בקלות אחרי כריתה ושריפה והמצליח טוב יותר בקרקע רדודה, על חשבון *אלון התבור* שהוא מין נשיר, גדול מימדים הדורש קרקע עמוקה יותר.

במאתיים השנים האחרונות (1800-2000) חלו פעם נוספת תמורות גדולות בגודל השטחים בהם גדלים יערות ובמצב התפתחותם. ראשיתן של התמורות הוא בהרס רב נוסף (שחוזר על עצמו בכל הדורות בהתאם לצורך בקרקעות לחקלאות ומרעה כמו גם בצורך בעץ כחומר בערה וגלם), שנוצר בשל כריתה בלתי מבוקרת רחבת היקף, דוגמת כריתתו של יער *אלון התבור* בשרון שנעשתה בשליש הראשון של המאה ה-19 [15]. בנוסף, ההרס הרב שנגרם כתוצאה מכריתה למטרות ייצור פחם-עץ לצריכה ביתית ותעשייתית של האוכלוסייה

הכפרית והעירונית, שהלכה וגדלה בהיקפה בקצב מהיר של עשרות רבות של אחוזים [13]. וכן, במיוחד כתוצאה מרעייה חסרת ההכוונה של העז השחורה, שניזונה בעיקר מאכילת עלים וענפונים של צומח מעוצה [11, 12], דבר שתרם לדיכוי הצומח המעוצה שהתחדש לאחר הכריתה; הנצרים שפרצו לא הצליחו להתרומם ולהפוך לעצים. אחריתן של התמורות מצד אחד הוא בנטיעה רחבת הקף של יער חלוץ בשטחים שחסרו או היו דלים מאוד בכסות של צומח עצי על ידי הקרן הקיימת [6, 9] ומצד שני השתקמות חלקית של הצומח המעוצה בשטחים הפתוחים כתוצאה משינויים בממשק, כלומר, הפחתת לחץ הכריתה למטרות ייצור פחם-עץ והפחתת לחץ הרעייה. עוצמת תמורות אלו נֶראית עתה בבירור רב בעזרת השוואות בין מידת הכיסוי בצומח והתפתחותו, כפי שנִראה למשל בצילומי אוויר שבוצעו לצרכים צבאיים בתקופת מלחמת העולם הראשונה (1914-1918) ובימי המנדט הבריטי לאלו שנִראים מצילומי אוויר שנעשו בשנים מאוחרות יותר [14, 17].

ב על הייעור

כנִראה שלתיאורי המסעות לארץ הקודש של מבקרים, אנשי דת, מדענים וחוקרים, במועדים שונים עוד מתקופת האימפריה הרומית המערבית ועד המאה ה- 19, שתיארו ארץ שברובה היא חסרת כסות צומח רם (בעל שיעור קומה), דוגמת ספרו של מארק טווין "מסע תענוגות בארץ הקודש" שכבר הוזכר קודם לכן (ראה רשימת מקורות נבחרים בפרק 6), הייתה תרומה ניכרת לרצון לשקם את הארץ בעיקר מתוך אמונה דתית נוצרית שהשיקום יקדם את בוא המשיח. ייעור, כלומר, פעילות של נטיעת עצי סרק למיניהם על פני שטחים נִרחבים, שנִראו ונחשבו כנטולי כסות של צומח מעוצה רם, החלה בעיקרה לקראת סוף המאה ה-19. פעילות זו נעשתה ממניעים שונים ומגוונים כגון מניעים פוליטיים של הממשל השולט, מניעים פוליטיים של ממשלות זרות ואִרגונים דתיים למיניהם, וממניעים ציוניים. למחסור בידע מבוסס מדעית על הדינאמיקה של התפתחות צומח ים-תיכוני, הייתה השפעה ניכרת על אופן הפעילות בשטחים הפתוחים [26]. הפעילות הזו לוותה בתיעוד ובתיאורים רבים על שנעשה. ידע זה רוכז, סוכם ופורש בספרו של יוסף וויץ [6], על ידי רוזה אל-עיני [29], ולאחרונה על ידי ליפשיץ וביגר [9].

בביטאונה של אגודת היער בישראל, *"ילקוט"* (כרך 23, חוברת 4-3, עמ' 41) נכתבו כמה מדבריו של בן-גוריון על מפעל הייעור: *"עשרה הגדול והראשי של האדמה זהו עפרה הפורה...עפר פורה זה הרוס וחרב ברובם הגדול של שטחי ארצנו, ותקנתו בדרך אחת:*

בנטיעת עצים. לא באלפים ובמיליונים- אלא בעשרות ובמאות מיליוני עצים". "נטיעה רבתי... תחזיר לארצנו כוח פריונה...תמנע סחיפת האדמה וחשיפת ההרים, תעצור תנודת חולות הים, תגדיל הלחות ומתינותו של אקלים ארצנו ותסייע לספיגת הגשמים בתוך האדמה...תקל על הפצת האוכלוסין בכל חלקי הארץ לפי שיקולי בטחון ודרכי התיישבות ותמנע התרכזות מופרזת בכמה כרכים". "נשיב להרינו הדרם וגאונם מימי קדם, לאדמתנו פריונה, ונעשיר את הדורות הבאים באחד החומרים הגולמיים החיוניים והיקרים ביותר - בעצים". הדברים שאמר בן-גוריון ממחישים את תפקידו ההיסטורי של מפעל הייעור בארץ אשר נתפס כחלק בלתי נפרד מהמפעל הציוני. דבר זה בא לידי ביטוי בהשקעה עצומה של משאבים בייעור, בעיקר על ידי הקק"ל, ובעלייה מהירה בהיקף השטחים המיוערים בישראל שהיו פחות מ-50,000 דונם בתחילת שנות ה-50 של המאה הקודמת, הגיעו לכדי כ-500,000 דונם 20 שנה מאוחר יותר (1970) ועומדים כיום (2012) על כמיליון דונם.

מתחילת פעולות הייעור בארץ על ידי אגף היעור של ממשלת המנדט הבריטי על ארץ-ישראל ממחצית שנות העשרים ועד 1947 ניטעו כ- 41,000 דונם, מאז ועד 1960 נוספו עוד כ- 76,000 דונם על ידי אגף הייעור של ממשלת ישראל, כך שהיקף היער שנישתל על ידי הממשלה היה כ- 116,000 דונם [2]. פעולות הייעור הראשונות של הקק"ל היו בעיקר נטיעות עצי פרי אשר רובם נכשלו מסיבות שונות, על כן החליטה הקק"ל לטעת עצי סרק [6], עד מועד התחלת הפעילות של אגף הייעור הממשלתי בשנות העשרים של המאה העשרים, הקק"ל כבר הספיקה לטעת כ-2,000 דונם שנחלקו לתשע חלקות הממוקמות במקומות שונים בארץ. עד שנת 1948, מועד הקמת המדינה, אגף היעור הממשלתי הספיק לטעת כ-2,000 דונם יער [9]. שני המוסדות המייערים הנ"ל היו מאוד צהובים זה לזה; במיוחד היו חילוקי דעות בין ראשי האגפים שהיו האדונים יוסף ויץ ודר' עמיהוד גור (גרוזובסקי). תנאים כלכליים ונסיבות פוליטיות היוו את התשתית להחלטה של ממשלת ישראל לסגור את אגף הייעור הממשלתי (היערני-מקצועי) לטובת אגף הייעור של הקק"ל (הציוני-מעשי). על פי אבני [2], עובדי אגף הייעור הממשלתי (שהיו בעלי הכשרה מקצועית) שובצו אז באופן מפלה במסגרות אגף הייעור של הקק"ל בהתאם ל-"גישתו של יוסף ויץ, שהייתה מושרשת ועדין מושרשת במחלקת הייעור של הקק"ל, שהעדיף את "אנשי המעשה". "אנשי המעשה" גם עם הייתה להם הכשרה בתחום החקלאות לא הבינו את היחסים שבין מקור הזרעים (האקוטיפ) לבין האקולוגיה, הם גם לא הבינו את הצורך בבחירת המקור הנכון מבחינה אקולוגית מצד אחד, ואת החשיבות העצומה של האיכות היעראית של עצי אם לזרעים מצד

שני. שנים רבות הם יבאו זרעים מבלי לשים דגש על המיקום הגיאוגרפי אקולוגי של מקור הזרעים, ואם הזרעים נאספו בארץ הם נאספו מכל הבא ליד.

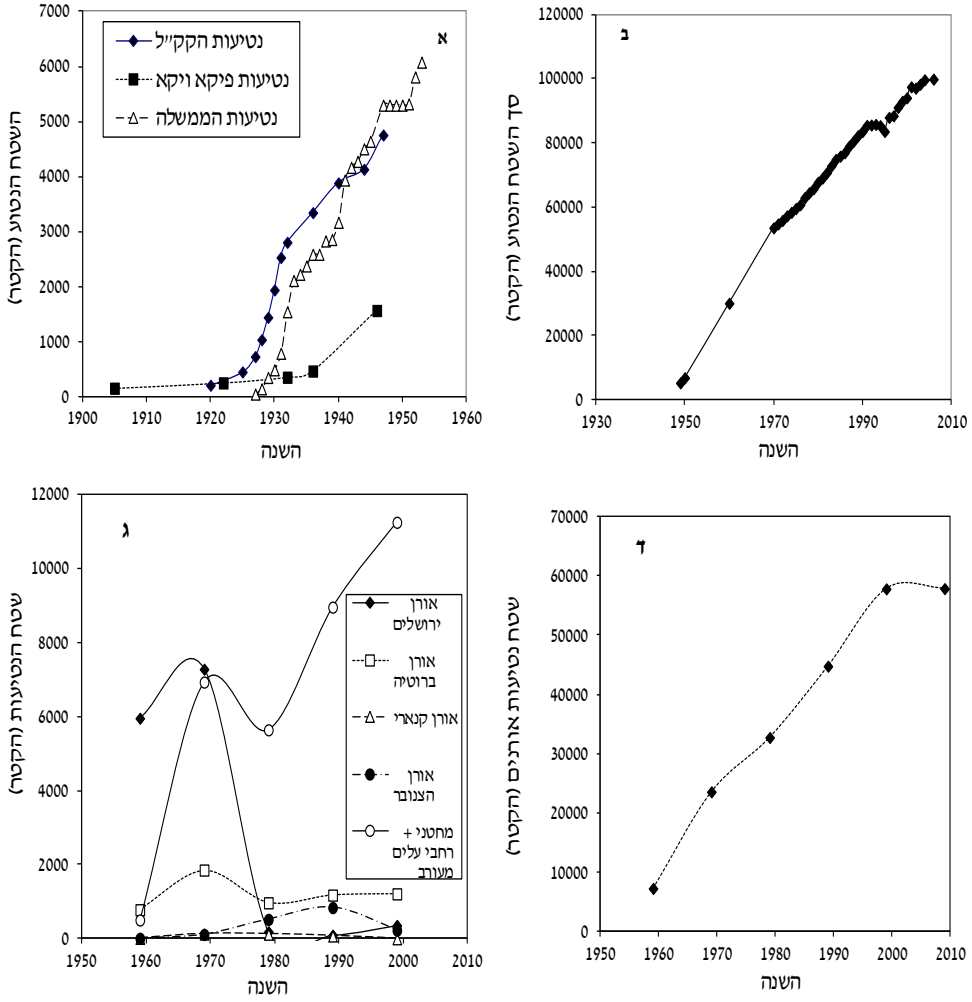
גורם נוסף כבד משקל שהיווה ומהווה עדיין מכשלה גדולה בניצול הידע המדעי-יערני הקיים והפעלתו במעשה היום יומי ביער נובע מכך, שמאז תחילת הפעילות היערנית בארץ על ידי הקק״ל היא נעשתה על ידי אנשים ״שהתקבלו לעבודה״ בכל הרמות האדמיניסטרטיביות מבלי שהיו בעלי ידע והבנה בתחום של היערנות והאקולוגיה על כל המשתמע מכך. תופעה זו נמשכה עד לאחרונה (2011) כאשר הקק״ל, למרות המחסור הגדול באנשי מקצוע בשני העשורים האחרונים, לא קלטה אנשים שהוכשרו במסגרת הפקולטה לחקלאות, מדעי המזון ואיכות הסביבה של האוניברסיטה העברית לנהל את ממשק היער. בנוסף, היות שלפעילות הייעור בארץ היו וישנן משמעויות פוליטיות שונות, הרי שלעִתים מזומנות שיקולים זרים ולא מקצועיים הם שקבעו את דמות היער.

אחת מהמכשלות העיקריות בממשק היערות בארץ, שהיא בעלת משמעות רבה במיוחד, היא העובדה שאין ניהול תקין של ״ספר היער״ לכל חלקת יער בארץ כמקובל בארצות בהן יערנות היא נושא מקצועי רציני. בספר היער אמורים להירשם הפרטים המקצועיים בכל מועד ומועד, כל החלטה שהתקבלה, כל פעולה שנעשתה ותוצאותיה וכדומה, כדי שניתן יהיה ללמוד ולהבין את אופן התפתחות היער עד למצבו הנוכחי. דבר זה הוא בעל חשיבות עליונה כי אנשים מתחלפים בתפקידים לעִתים די קרובות - (התקדמות), וגם הזיכרון האנושי הוא קצר ומתעתע לעומת משך חיי העץ ו/או משך חיי חלקת היער. המחסור בכתובים מסודרים של המידע הרב שנצבר עם השנים אינו מאפשר מעקב ולימוד מהניסיון ; המידע הקיים כלל אינו נגיש והוא חסר שקיפות.

אך לא די רק במצב הפנימי שהיה וקיים גם עתה באגף היעור של הקק״ל, שמקשה מאוד על ניהול וממשק תקין של היערות. לקשיים אלו נוספו גם גורמים חיצוניים דוגמת משרדי הממשלה השונים כגון משרד החקלאות, משרד הפנים ואחרים שהזניחו כל השנים, קרוב לודאי מתוך שיקולים פוליטיים, את הניהול התקין המבוסס על ידע מדעי של השטחים הפתוחים בישראל. בנוסף לקק״ל נוצרו גופים נוספים לניהול השטחים הפתוחים דוגמת רשות שמורות הטבע, רשות הגנים הלאומיים, מינהל מקרקעי ישראל, גופים שהיו ועדין צהובים אחד לשני היות והיו ויש להם אינטרסים מובנים מנוגדים לגבי אותה פיסת ארץ. נחקקו חוקים שונים שאינם מאפשרים פעילות בשטח ללא קבלת הסכמה של גוף אחר, דבר שסיבך מאוד את העניינים. כל משרד ממשלתי וכל גוף ניהולי ראו לנגד עיניהם רק את

האינטרס הצר שלהם ולא הקדישו מחשבה ותשומת לב למכלול הדברים והשפעתם על נוף הארץ [28]. למרות כל הקשיים והמגרעות- שנבעו ראשית כל מתנאים פוליטיים, מהתנאים האקולוגיים, מתנאים אדמנסטרטיביים, מהתנגחות בין גופים ציבוריים שונים בעלי השקפות ואינטרסים מנוגדים, ממחסור במינים המסוגלים לגדול בתנאים הנתונים בכל אתר ואתר, ממחסור בכוח אדם מיומן במובן הרחב ביותר של המילה מצד אחד וחוסר ידע והבנה יערנית מצד שני,- הוקם במדינה יער במימדים משמעותיים אשר משרת את "הדרישות החברתיות" של הציבור הרחב. הקף השטחים שיוערו במדינה נראים מטבלה 1 ואיור 1.

<u>איור 1.</u> העלייה בהיקף השטחים המיוערים א. שטחים שניטעו על ידי גופים שונים עד שנות החמישים. ב. סך שטחי היער הנטועים עד שנת 2008. ג. שטחי יער בהתאם למין *האורן*. ד. סך שטחי יערות אורנים עד 2008. (<u>*הנתונים באדיבות מחלקת הסקר של אגף היעור, הקק"ל</u>)



טבלה 1: הקף שטחי היער בישראל.

(*הנתונים באדיבות מחלקת הסקר של אגף היעור, הקק"ל)

שטח היער הנטוע במדינה (דונם) -	~1.000.000
שטח החורש/יער רחב עלים טבעי (דונם)	~ 850.000-
סה"כ (דונם) -	~ 1.850.000
שטח היער/חורש ב-% משטח המדינה -	8.5%
שטח היער/חורש ב-% משטח החבל הים-תיכוני במדינה -	12.5%

ג על המחקר היערני

המחקר היערני שנעשה במאה השנים האחרונות לשם הבנת תנאי הסביבה, תיאור המינים העשויים לשמש ביעור ותכונותיהם, הבנת היחסים שבין תנאי הסביבה (הנתונים האקולוגיים) ומיני הצמחים והתפתחותם, המגוון הגנטי בקרב המינים השונים, האקו-פיזיולוגיה שלהם, התפתחות הנטיעות בתנאי בית גידול שונים ולשם פיתרון בעיות שצצו בעת העבודה המעשית, פיגר מאוד אחרי תנופת העשייה היערנית, שהחלה בסוף המאה ה-19. זאת היות ומעבר למילים יפות על הצורך במחקר יערני מפי אנשים שעמדו בראש הפירמידות הניהוליות במשרד החקלאות, במינהל המחקר החקלאי ובאגף היעור של הקק"ל, הרי שלמען האמת מעולם לא הוקדשה ועדין לא מוקדשת תשומת לב ציבורית פוליטית ומעשית למחקר היערני כפי שהוקדשה למחקר החקלאי. זאת למרות שהיער והחורש משתרעים על פני כמיליון ושמונה מאות אלף דונם לעומת כלל השטחים המעובדים בארץ המשתרעים על כשני מליון ותשע מאות אלף דונם. שטחי היער הנטוע והטבעי מספקים "שירותים חברתיים" לרווחת הציבור שהם: מיקרו- אקלים משופר למטרות נופש ומרגוע, הפחתת עוצמת רעש, הפחתת סחף קרקע על ידי מים ורוח, חי-בר, תיירות פנים, שינוי חזות הנוף מצהוב-מאפיר- לירוק, הוכחת בעלות המדינה על שטחי ציבור, תוצרת עץ כדי 10% מהתצרוכת השנתית ועוד, שכלל אינם פחותים בערכם הכלכלי בהשוואה לחקלאות. לאחר קום המדינה, המחקר היערני נפל קורבן למחלוקות בין שני אגפי הייעור שהתקיימו אז בארץ: האחד, אגף הייעור הממשלתי בראשות ד"ר עמיהוד גור שהיה במסגרת משרד החקלאות. השני אגף הייעור של הקק"ל בראשות יוסף ויץ. לאחר שחילוקי הדעות יושבו בשנת 1960 בצורה של פרוק אגף היעור הממשלתי, המחקר היערני נישאר, על

פי החוזה שנחתם, בידי הממשלה. הוא נפל בשנית קורבן למחלוקות אישיות ופוליטיות, ובעיקר לגישה המתנשאת של הקק"ל שהקודם לכל הוא המעשה הציוני של השתלטות על השטחים ונטיעתם, גישה ששלטה עד לשנות התשעים של המאה הקודמת [2].

המחלקה לחקר היער, שהתפתחה באילנות אשר בשרון בראשותו של ד"ר רנה קרשון, בעקבות סיום פעולתו במקום של אגף היעור הממשלתי, צורפה למכון הלאומי והאוניברסיטאי לחקר החקלאות, שהפך למינהל המחקר החקלאי [10]. מספר החוקרים במחלקה לחקר היער באילנות בשנות החמישים והשישים של המאה העשרים היה נמוך מאוד, מתוכם עזבו שנים לארה"ב בגלל התנאים הכלכליים שלא אפשרו מחקר פורה (ד"ר צ'ודנוף וד"ר בולוטין). בשיא פריחתה של המחלקה בשנות השבעים ומחצית שנות השמונים פעלו בה לכל היותר 15 חוקרים וטכנאים במטרה להבין ולבנות פתרונות לבעיות יערניות שונות (יעראיות, גנטיות, פיסיולוגיות, אנטומולוגיות, פיטופתולוגיות, בעיות משתלה, בעיות בחירת מינים ובמסגרתם אקוטיפים, בעיות הכשרת שטחים וכיוצא בזה, בעיות בטכנולוגיה של ניצול העץ ועוד) שהתעוררו בשטחים השונים שהיקפם לא פחות מ- 1.8 מיליון דונם, המשתרעים בתחום של שלושה אזורי אקלים בישראל. מבין תשעת החוקרים במחלקה היו שלושה מהנדסים יערנים שהוסמכו בתחום היערנות (ד"ר קרשון ז"ל, ד"ר חת וד"ר שילר). ד"ר זהר אקולוג, חקר בעיקר בתחום האקולוגי של מיני *איקליפטוס* וממשק יערות *אקליפטוס*. ד"ר ווינשטין, בוטנאי, חקר בעיקר בתחום של אקלום עצי יער. ד"ר גרינוולד, גנטיקאית, חקרה בעיקר בתחום הגנטי של ברירה וטיפוח *איקליפטוס* ו*אורן ירושלים*, ד"ר טישלר חקר בתחום של טכנולוגית העץ בעיקר במין *איקליפטוס המקור* ו*אורן ירושלים*. ד"ר הלפרין ז"ל וד"ר מנדל חקרו בתחום של מזיקי עצי יער.

לעומת החקלאות שבה מחזור גידולי השדה והמטע הוא קצר, בין חודשים לשלוש עשורים, דבר המאפשר ביצוע מחקרים בחממות, בתי רשת, ובשטחים חקלאיים, הרי שהמחזור היערני הוא על פני עשרות רבות בשנים, שטח נטוע מתחיל להיות יער רק כעבור לפחות כ-10 שנים מעת הנטיעה, אשר נעשית בתנאים טופוגרפיים קשים. בעוד שבדרך כלל גידול חקלאי "רואה" במשך חייו חקלאי אחד, הרי שהיער "רואה" במשך ימי חייו מספר לא קטן של מנהלים ברמות השונות באגף היעור של הקק"ל, שלא היו יערנים, או אקולוגים ולכן לא הבינו את המשמעות של הזמן ביערנות ולכן גם לא הבינו את העובדה שאין תשובות מהירות בכל נושא ונושא. על כן הם נהגו להתלונן במשך כל השנים על כך שהמחקר היערני המרוכז באילנות "אינו נותן להם תשובות, וחבל על הכסף המוקצה למחקר". תלונות אלו

מצאו דרכם למשרד החקלאות ולמינהל המחקר החקלאי שגם שם לא הבינו את השוני במשך המחקר ובקשיים האובייקטיביים הנובעים מההבדלים באופי השטחים. דבר זה גרם לכך שסגן ראש המינהל הקים ועדת בדיקה מיוחדת שכללה חוקרים בכירים במינהל במחצית שנות השיבעים כדי לבדוק את איכות עבודתם המדעית של כל החוקרים במחלקה לחקר היער באילנות. תוצאות הבדיקה לא פורסמו ונקברו בארכיון של מינהל המחקר החקלאי, רק עם פרישתו של ד״ר קרשון ז״ל לגמלאות בשנת 1984 נשלח לו עותק של הדו״ח. בדו״ח הוטלה אחריות רבה להתנהלות הלא מוצלחת ביחסים שבין המחקר היערני והקק״ל על אנשי אגף היעור של הקק״ל, שכלל לא העריכו את המחקר וחשבו אותו למיותר ועל כן לא תמכו בו. אך גם על החוקרים נמתחה ביקורת לא מעטה. עתה, במבט לאחור ועם הבנה יותר מגובשת של מהי פעילות מחקרית-אקדמית נאותה מבחינת האיכות והתרומה להצלחת הייעור וממשק היער, הרי שלמחקר כפי שבוצע על ידי אחדים במחלקה, הייתה בודאי השפעה לא זניחה על ההחלטה לפרק את המחלקה.

משרד החקלאות ומִינהל המחקר החקלאי, בהסכמה ובשיתוף הקק״ל, הביאו בשנת 1986 לידי סגירה ופירוק המחקר היערני ב-״אילנות״ ופיטורי עובדים וחוקרים. מעשה זה היה דבר שמינהל המחקר החקלאי רצה לבצע מאז שהמחקר היערני צורף להתאגדות מחקרית ששמה היה: ״המוסד הלאומי והאוניברסיטאי לחקר החקלאות״. כבר בשנת 1969, בביקורו הראשון באילנות של מנהל מינהל המחקר החקלאי, שמעתי את התבטאותו שצריך לסגור את המחלקה לחקר היער כי אין בה צורך. מאז ועד 1986 כל מנהל של מינהל המחקר החקלאי שנכנס לתפקידו לא עשה מאמצים לפתח את המחלקה ולשפר את יכולותיה, אלא היפוכו של דבר נעשו מאמצים ניכרים לסגור את המחלקה, דבר שבוצע לבסוף שנתיים לאחר צאתו לגמלאות של ד״ר רנה קרשון ז״ל, מנהל המחלקה שהיה לו שם והכרה בין לאומית. פועל יוצא מהמצב היה שהמחקר היערני היה צריך להתנהל תוך חוסר הבנה והכרה בנחיצותו ובחשיבותו על ידי אגף הייעור של הקק״ל ועל ידי משרד החקלאות ומינהל המחקר החקלאי. משרד החקלאות, קרי שרי החקלאות, פשוט התעלמו מהעובדה, או שהיא לא הובאה לידיעתם, שעל פי החוק שר החקלאות ממונה על ביצוע חוק היער ועל המחקר היערני. משרד החקלאות שהיה זקוק לעזרת הקק״ל בענייני פיתוח החקלאות, לא רצה להתעמת איתה בענייני קיום ההסכם של פרוק אגף הייעור הממשלתי ומימון המחקר היערני ולכן הזניח את הנושא.

אחר פרוק וסגירת המחלקה לחקר היער באילנות הושארו במסגרת מינהל המחקר החקלאי רק ארבעה חוקרים, שעבורם לא נימצא שום תרוץ בר תוקף חוקי-משפטי שיאפשר את פיטוריהם משרות המדינה, או להרע את תנאי העסקתם, הם צורפו למחלקה למרעה שבמינהל המחקר החקלאי במרכז וולקני בבית דגן, בראשות ד״ר נעם זליגמן. שמה של המחלקה החדשה שנוצרה הוסב ל-״המחלקה למשאבי טבע״ והיא כללה מחקר מרעה, מחקר בחקלאות חרבה ומחקר יערני. מבין ארבעת החוקרים שהועברו פרש אחד כעבור שנתיים. שלושת החוקרים הנותרים נשארו ללא השטחים שהיו ב״אילנות״ (500 דונם) לשם ביצוע ניסיונות שדה, ללא טכנאים וכוח עזר, וללא כספי מחקר שהוחרמו ביד גסה על ידי מנהל המינהל, היות ובאותה עת המצב הכספי של מִנהל המחקר החקלאי היה בכי רע. מצב זה הביא לידי כך שמנהלים בכל רמות הניהול עשו מניפולציות כספיות על חשבון אותם חוקרים במינהל המחקר החקלאי אשר מחקריהם לא נחשבו במיוחד, דוגמת המחקרים ביערנות, שמאז ומעולם היו בתחתית סדר העדיפויות הלאומי. מנהל המכון לגידולי שדה וגן, שבו נכללה המחלקה למשאבי טבע, הרשה לעצמו להחרים את הכספים המועטים שהגיעו מהקק״ל שיועדו למימון מחקרים בתחום היערנות. וכפי שאמר מנהל המינהל באותם ימים, באופן מטפורי, ״היו עננים רווי גשם, אך במקום הייעודי ירדו רק טיפות והגשם האמיתי ירד במקום אחר לגמרי״. כלומר, החוקרים והמחקר היערני זכו ליחס מזלזל בכל הרמות הניהוליות. ד״ר נעם זליגמן היה מאוד אמפאתי לבעיות שנוצרו עקב פרוק המחלקה באילנות, חוסר הכספים, מיעוט כוח עזר ועוד. הוא עזר מאוד לשיקום המחקר היערני והעלאתו על פסים יצירתיים חדשים. למרות זאת, מאז שנת 1986 מספר החוקרים בתחום היערני ירד בהתמדה כתוצאה מפרישה לגמלאות ואי קבלת חוקרים חדשים, כי מינהל המחקר החקלאי ומשרד החקלאות, העדיפו תמיד מחקרים בתחום החקלאות על פני מחקרים בשטחים הפתוחים (יער וחורש). כך שעתה (שנת 2012) המחקר היערני הצטמצם לכדי חוקר אחד בלבד שאמור להתמודד בין היתר עם נושאים כבדי משקל דוגמת: שינוי אקלים-יובש-התמוטטות יערות; הסבת היער המחטני החלוץ ליער מעורב בר-קיימא; מיני עצים והתאמתם לתנאי בית הגידול השונים, יער ודרישות החברה כלומר ״השירותים החברתיים״ של היער ועוד. נושאים אשר במדינות ים-תיכוניות אחרות מקצים להם עשרות רבות של חוקרים וכוח עזר.

המחסור בפקולטה או למצער מחלקה למדעי היער במסגרת מוסד הוראה אקדמי מוכר בארץ, שבראשה עומד מדען שהכשרתו היא בתחום היערנות, שבין תפקידיה גם,

כמקובל, עיבוד וריכוז ממצאי המחקר וידע מדעי אחר, וגיבושם לכדי תורה מסודרת, גרם לכך שהיערנות כתחום ידע מקצועי אינו מוכר ואינו נחשב בארץ. אומנם, מאז שנות השמונים מוגשים קורסים בודדים הנוגעים ביערנות במסגרת הפקולטה למדעי החקלאות המזון ואיכות הסביבה, אך לידע המדעי שנוצר, פורסם ונצבר, הייתה רק השפעה מועטה על המעשה היום-יומי בשטח, על התכנון היערני לכל טווח זמן שהוא, כי בארצנו, כל מי ששתל שתיל ממניעים ציוניים מחשיב עצמו ליערן.

מתחילת המאה העשרים ועד עתה, מספרם הכולל של מדענים שפעלו בתחומים השונים הקשורים ביער לא עלה על כ-שני תריסרים; תוצאות עבודתם המחקרית פורסמו בדוחות ובעיתונות מדעית בארץ ובחו"ל. בארץ הפרסום נעשה בבמות כדלקמן:

1. "עלונים חקלאיים" ודוחות שנתיים של מחלקת היערות שבמשרד החקלאות של ממשלת פלשתינה (א"י), ובמחלקת היערות שבמשרד החקלאות של ממשלת ישראל.
2. "היער", קובץ המוקדש לבעיות היער והייעור בארץ ישראל ובישראל בהוצאת אגודת היער בישראל.
3. "ליערן", ביטאון אגודת היער בישראל בין השנים 1950 - 1984.
4. עלון המחלקה לחקר היער באילנות, פורסם באמצעות המחלקה לפרסומים מדעיים של מִנהל המחקר החקלאי.
5. "השדה", ירחון שימושי למשק החקלאי המעורב, בהוצאת הוועד המרכזי של הסתדרות הפועלים החקלאיים.
6. "עלון הנוטע", ירחון בהוצאת הסתדרות הפועלים החקלאיים וארגון מגדלי הפירות.
7. "הטבע והארץ", ירחון בהוצאת המדור לידיעת הארץ של הסתדרות העובדים הכללית.
8. "טבע וארץ", ירחון בהוצאת הסתדרות הפועלים החקלאיים בישראל ומאוחר יותר, ביטאון החברה להגנת הטבע.
9. "גן ונוף", ירחון לגננות ושתלנות בהוצאת ארגון הגננים בישראל.
10. "אקולוגיה וסביבה" ירחון בהוצאת החברה לאקולוגיה.
11. "יער" ירחון בהוצאת הקק"ל.
12. "Palestine Journal of Botany", ששינה את שמו ל- "Israel Journal of Botany" לאחר קום המדינה ועתה הפך ל- "Israel Journal of Plant Sciences".

ניסיון ראשון, ועד עתה גם אחרון, לסכם את הידע המדעי לכלל גישה יעראית המתאימה לתנאי הארץ היובשניים נעשה על ידי ד"ר ישראל גינדל בשנת 1952, כאשר פרסם את ספרו "היער וייעור הארץ", שעניינו בתחום האקולוגיה והיעראות, ואת הספר "אימוץ

צמחים" בשנת 1956. הערך "יערנות", פרקים במדעי היער, פורסמו לראשונה באנציקלופדיה לחקלאות, כרך ג' (1976). אך אין די בכתובים אלו כדי להוות מורה דרך מקצועי. סיכום פעילות הייעור שנעשתה בארץ תוך התייחסות מסוימת לתנאים האקולוגיים והאנושיים נעשה על ידי יוסף ויץ בספרו "היער והיעור בארץ, 1970".

כפי שכתוב במבוא, ספר זה מסכם חלק מהידע המדעי-יעראי שנוסף מאז שנות השבעים של המאה שעברה על מיני עצי היער העיקריים בארץ בתחומים השונים. עיקר הידע שנוסף נובע ממחקרים שנעשו על מנת לענות על שאלות הקשורות לממשק היער, למגוון הגנטי של המינים השונים, ליחסי צמח מים, להשפעת שינויי אקלים על אוכלוסיות עצי יער בחבלי הארץ השונים ועוד.

1.3. מונחים, הגדרות והבהרת משמעותם

עץ (Tree): צמח רב-שנתי שבו מתקיימת פעילות קמביאלית המביאה לידי התעבות מִשנית של העצה. בדרך כלל הוא בעל גזע מרכזי שממנו מתפצלים ענפים נושאי עלים, וגובהו מעל 3 מ'.

יער (Forest): המושג יער הוא מושג קשה להגדרה. היער הוא ישות הכוללת חי ודומם ומשתרעת על פני מרחב מסוים. כלומר, גוף שעיקרו עצים בכל גיל וגודל פיזי, הכולל בתוכו צומח נוסף, כגון צמחים ירודים (אזובים ופטריות), עשבים ושיחים, את החי מחיידקים ועד וכולל האדם, הקרקע והמסלע, המיקרו-אקלים שמעל לחופת היער ועד עמקי האדמה. היער משפיע על סביבותיו ומושפע מהם. מתקיימים בו מעגלי התפתחות ודעיכה רבים ושונים בקצבם, ומכאן שהוא משאב טבע מתחדש המכיל מגוון של צורות חיים ודומם (Biogeozenose).

יערנות (Forestry): תחום מקצועי מורכב ורב-גווני שמטרתו למשק את היער בהתאם לרצונות החברה. כדי להשיג מטרה זו היערנות מתבססת ונעזרת בידע מהמדעים השונים, כגון: מדעי הצומח והחי (מבנה הצמח, פיזיולוגיה וגנטיקה), מדעי הגיאולוגיה והקרקע, מדעי האקלים, ועוד. היות שפעילות האדם בבירוא יערות בעולם הישן, ערש התרבות המערבית ומכאן גם של היערנות המודרנית, הותירה את היער בעיקר באזורים טופוגרפיים

שבדרך כלל אינם ניתנים לעיבוד חקלאי אינטנסיבי, הרי שהסמכה מקצועית ברמה האקדמית ביערנות כוללת בנוסף לידע במדעי טבע גם ידע הנדסי הדרוש לבינוי דרכים וגשרים, קירות תומכים ומבנים, ייצוב מדרונות והסדרת נחלים, מניעת דרדור סלעים ומפולות שלג, הבנה בתפעול מכשור כריתה והנעת החומר הכרות דרך היער בתנאים טופוגרפיים קשים. גם ידע על החי-בר ביער והבנה בממשק בעלי-חיים הניזונים ביער ובסביבותיו הוא בעל חשיבות רבה. ידע על שימושים בעץ, בתעשיית עיבוד העץ, בכלכלה, במשפט וסוציולוגיה רק מוסיף.

יערָאות (Silviculture): נוצרה מהמילה הלטינית Sylva שפירושה יער. היערָאות היא תחום הידע המורכב ביותר במסגרת היערנות שמטרתו גידול עצי יער והטיפול בהם בהתאם למטרות שמציב תכנון משק היער. מצד אחד, המטרה המרכזית עשויה להיות מנוסחת כ- "גידול מיני עצי יער לשם יצירת כמות עצה מרבית (או הכנסה מרבית) ליחידת שטח בפרק זמן קצר ככל האפשר", כלומר, "יער משקי" בהתאם לתיאוריה הכלכלית של מרב התפוקה או הריבית ליחידת שטח. מצד שני, המטרה עשויה להיות מנוסחת כ- "שמירה על בריאות היער ויציבותו כדי להגן על חיי האדם ופרי עמלו, תוך גידול עצי יער בכמות ובאיכות הפוטנציאלית האפשרית בהתאם לתנאי בית הגידול". כלומר, לשמור על קיימות היער (Sustainability). הגישה לממשק היער כ"יער משקי" נוצרה באזורים המאפשרים ממשק יערני דוגמת ממשק חקלאי, בעוד שהגישה השנייה התפתחה באזורי גבעות והרים, שם היער משמש מחסום ומחסה מפני פגיעתם של איתני הטבע בפועלו של האדם. במאמרו "אקולוגיה ויערנות" הסביר פרופ' דה פיליפיס [5] את התפתחות היערָאות המודרנית בסוף המאה ה-18, המבוססת על עקרונות טבעיים (כלומר אקולוגיים) האומרים:

> *"היער אינו אוסף גזעי עצים, אלא מערכת ביולוגית אחת המתקיימת בשיווי משקל דינאמי עם הסביבה הפיסית, מערכת זו מוגבלת מבחינת מידת ההתערבות והשינויים הרצויים, לכן גם מוגבלת לשימוש האדם במידה כזו שתבטיח התחדשות והמשכיות היער".*

כלומר, האבן הראשה ביערָאות הוא מדע האקולוגיה, שעוסק ביחסי הגומלין בין פרטים ובינם לסביבתם, כאשר רכיב חשוב בסביבה הם הפרטים עצמם ומתוך כך הבנת המשמעות של הפעילות היערָאית. היערָאות בעלת האוריינטציה האקולוגית התפתחה במהירות עם ההתקדמות הרבה במדעי הטבע במאה ה-18, וכתוצאה מהאפשרויות של היערנים (שהיו

אנשים הקרובים לטבע) לבצע ניסיונות ולבדוק את ההשפעה של כל התערבות מצידם. מנהל בית הספר ליערנות, שנוסד בננסי (צרפת) בשנת 1824, אמר (מתוך דה-פיליפיס [5]):

"הטיפול ביער צריך להתבצע לפי העיקרון של חיקוי הטבע וזירוז כוח היצירה שבו"

כמו כן שאבו היערנים ידע רב מלימוד המבנה היעראי של שרידי היערות הטבעיים (חלקות יער, שכתוצאה מחוסר אפשרויות גישה אליהם, יד אדם לא נגעה בהם דורות רבים) ומזיהוי הדינאמיקה של השינויים החלים בשרידים אלו.

הצורך בהבנת האקולוגיה של מיני עצי היער ותגובתם לפעילות יעראית בתנאי בית גידול שונים, והצורך בקני-מידה אחידים שיאפשרו השוואה של תוצאות מחקר, הביאו בשנת 1892 לידי הקמת גוף אקדמי וולונטרי בין-לאומי על ידי המרכזים המדעיים של היערנות במדינות מרכז אירופה הדוברות גרמנית (שוויץ, אוסטריה וגרמניה). גוף זה, ששמו עתה ("IUFRO") "International Union of Forest Research Organization" הוא הארגון האקדמי הוולונטרי הוותיק בעולם. הידע הרב, שהתגבש מהסתכלות והבנת התהליכים הטבעיים המתרחשים ביער מצד אחד, הבנת התוצאות של ניסויים מדעיים והתערבות פעילה בתהליכים הטבעיים מצד שני, הבשיל מתחילת המאה ה- 20 ועד למחציתה לכדי מבול של ספרים, שנדפסו במספר הוצאות, המסבירים ומורים את הדרך לגידול עצי יער על בסיס אקולוגי ושמירה על קיימות היער. להלן, כותרים אחדים מהמבחר הרחב שהודפס:

1. James W. Toumey (1928). "Foundation of Silviculture upon an Ecological Basis" John Wiley & Sons, Inc, New York; 456 pp.
2. Troup R.S. (1928). "Silvicultural Systems". At the Clarendon Press, Oxford, 199 pp.
3. Frederick S. Baker (1934). "Theory and Practice of Silviculture". McGrow-Hill Book Company, Inc, New York, 502 pp.
4. Konrad Rubner (1960). "Die Pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues". Neuman Verlag, Berlin, Funfte Auflage, 620 pp
5. Alfred Dengler [Alfred Bonneman und Ernst Rohring] (1971). "Waldbau auf ecologischer grundlage". In Zwei Bande, Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin, 492 pp.

תורת היבולים ומדידות עצי יער (Forest mensuration; Forest Inventory): תחום המנסה לאמוד את מצב היער. כלומר, תחום המספק את בסיס הנתונים לתכנון ממשק היער. הוא עוסק בקביעת גודל השטחים, כמות העצים ליחידת שטח בהתאם למינים, גיל

העצים, גודל העצים ונפחם, תוספת הגדילה על פני יחידות זמן שונות, כמות העצה שניתן להפיק, ומצב בריאות העצים ועוד.

ממשק היער (Forest management): תחום מקצועי הקושר בין היערות לבין הכלכלה. תחום זה ממליץ/קובע, על סמך בסיס הנתונים הנוצר מהמדידות, את גודל השינויים ביער, את המועד ואת הכמות של העצה בצורה של מספר עצים או נפח העצה, אשר יכרתו בהתאם למיני העצים העיקריים בחלקה. זאת, כדי לאפשר התפתחות אופטימאלית של העצים הנותרים מצד אחד, והכנסה שוטפת למשק היער מצד שני. תחום זה ממליץ/קובע את הכריתות של סוף מחזור הגידול בהתאם להתפתחות העצים (מלאי העצה) תוך התחשבות בתכונות הביולוגיות של כל מין ומין, בשיטות חידוש היער שיינקטו, בתנאי השוק ובמטרות הכלליות של משק היער המסוים.

ספרות, מקור הציטוט

1. אביצור ש., 1987. פחמי העץ. עת-מול, עיתון לתולדות ארץ-ישראל ועם ישראל **12** (5), עמ' 14-16.
2. אבני צ., 2004. היעור הממשלתי- אפילוג. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה*, חוברת **5-6**, עמ' 3-11.
3. גינדל י., 1952. היער וייעור הארץ. המעבדה לחקר היער, רחובות, ישראל, 344 עמודים.
4. גלילי ז. 2004. המפה הגדולה של הארץ הריקה http://www.zeevgalili.com/.
5. דה-פיליפיס א., 1973. אקולוגיה ויערנות. *ליערן* **23**, עמ' 1-5.
6. ויץ י., 1970. היער והייעור בישראל. הוצאת מסדה, ישראל, 622 עמודים.
7. זבידה כ., 2009. "כי האדם עץ השדה"-ט"ו בשבט תשס"ט. יקינתון,ביטאון ארגון יוצאי מרכז אירופה, חוברת 230.
8. טווין מ.,1868. "מסע תענוגות בארץ הקודש". הוצאה מחודשת על ידי זמורה ביתן 2009.
9. ליפשיץ נ. וביגר ג., 2000. נלבישך שלמת ירק, הייעור בארץ ישראל, מאה שנים ראשונות 1850-1950. הוצאת אריאל, ירושלים, ישראל, 265 עמודים.
10. מנדל צ., 2002. סקירה על התפתחות מחקר היער בישראל במאה העשרים. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה*, חוברת **1**, עמ' 1-6.
11. פרבולוצקי א., פולק ג., ולחמן אסתר, 1992. השפעת האדם על הצומח הים תיכוני: הספרייה הווירטואלית של מט"ח (המרכז לטכנולוגיה חינוכית).

12. פרבולוצקי א., זליגמן נ., 1993. המיתוס של רעיית יתר בנופי החורש הים-תיכוני. *אקולוגיה וסביבה* **1**, עמ' 9-17.

13. פרלמן א. 2004. מוצאם של ערביי ארץ-ישראל. פורום ארץ הצבי http://www.faz.co.il/story_2469.

14. קדר ב"ז, 1991. מבט ועוד מבט על ארץ-ישראל. תצלומי אוויר מימי מלחמת העולם הראשונה מול תצלומים בני זמננו. הוצאת יד יצחק בן-צבי, משרד הביטחון, הוצאה לאור.

15. קרשון ר., 1982. סנגוריה על התורכים- מחקר על השמדת יערות אלון התבור בשרון הדרומי. *ליערן* **32**, עמ' 50-53.

16. רייפנברג א., 1950. מלחמת המזרע והישימון. גלגולי התרבות החקלאית בארץ-ישראל ושכנותיה. מוסד ביאליק, ירושלים.

17. שדות א., 1992. שינויי צומח באגן נחל גלים ב-30 השנים האחרונות. ידיעון רשות שמורות הטבע.

18. פרבולוצקי א., רוזן ב., רוזנברג ד. 2013. האדם כמהנדס-על אקולוגי בחורש הים-תיכוני. בתוך: פרבולוצקי א. (עורך), ממשק ושימור האקוסיסטמה הים תיכונית: רמת הנדיב כמשל, עמודים 181-200.

19. Blondel J., Aronson J., 1999. Biology and wildlife of the Mediterranean region. Oxford University Press, New York, 328 p.

20. Knowles P., Grant M.T., 1981. Genetic patterns associated with growth variability in *Ponderosa pine*. *Am. J. Bot*. **68**, 942-946.

21. Knowles P., Mitton J.B., 1980. Genetic heterozygosity and radial growth variability in *Pinus contorta*. *Silvae Gent*. **29**, 114-118.

22. Larsen J.B., 1986a. Das Tannenesterben: Eine neue Hypothese zur klärung das Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weistanne (*Abies alba* Mill.). *Forstw. Cbl*. **105**, 381-396.

23. Larsen J.B., 1986b. Die geographische variation der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) Wachstumsentwiklung und Frost resistanz. *Forstw. Cbl*. **105**, 396-406.

24. Ledig T.F., 1992. Human impact on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos* **63**, 87-108.

25. Lise Y., Kaya Z., Isik F., Sauncu R., Kandemir I., Önde S., 2007. The impact of over exploitation on the genetic structure of Turkish Red pine (*Pinus brutia* Ten.) populations determined by RAPD markers. *Silva Fennica* **41**, 211-220.

26. Perlin J, 1989. A Forest Journey, the story of wood and civilization. The Countryman Press, Woodstock, Vermont, the USA.

27. Pervolotsky, A. and Seligman N., 1998. Role of Grazing in Mediterranean Rangeland Ecosystems; Inversion of a paradigm. *BioScience* **48**, 1007-1017.

28. Perevolotsky, A. and Sheffer, E., 2011. Integrated management of heterogeneous landscape –Mediterranean Israel as a study case. *Israel J. of Ecology & Evolution* **57**, 111-128.

29. Roza, I-M. El-Eini. 1999. British Forestry Policy in Mandate Palestine, 1929-48: Aims and Realities. *Middle Eastern Studies* **35**, 72-155.

30. Schiller G., Korol L., Shklar G., 2004. Habitat effects on adaptive genetic variation in *Pinus halepensis* Mill provenances. *For. Genet*. **11**, 325-335.

31. Schiller G., Atzmon N., 2009. Performance of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) provenances grown at the edge of the Negev desert: A review. *J. Arid Environ*. **73**, 1051-1057.

2.0 המינים המחטניים העיקריים ביערנות

אורן ירושלים

2.1 מבוא

פרק זה, כולל תאור מפורט ככל שניתן על עצי המחט העיקריים המשמשים עתה ביערנות הישראלית והם: אורן ירושלים, אורן ברוטיה, אורן הצנובר, אורן קנרי וברוש מצוי. עבור כל מין מוצג אזור תפוצתו הטבעי, האקולוגיה שלו, אקו-פיזיולוגיה ויחסי צמח מים, המגוון הגנטי והפנוטיפי, דרכי ריבוי ולבסוף דרכי הטיפול ביער (היערות). הכתוב בכל פרק מתבסס לא רק על ידע מקומי אלא גם על ספרות לועזית ענפה הנובעת ממחקרים שנעשו באזור אגן הים התיכון ומובאת ברשימת הציטוטים.

חמשת מינים אלו ששנים מהם אנדמים בארץ "הוכיחו את עצמם", תכונותיהם אפשרו להם לשרוד את התנאים האקולוגיים הקשים השוררים בארץ שלשפת המידבר. בעבר, בתקופת המנדט הבריטי על ארץ ישראל, נשלחו לארץ על ידי אנשים טובים וחובבי ארץ הקודש זרעים של מיני עצי מחט מאזורים אקולוגיים שונים בעולמינו. היו ניסיונות לטפח שתילים מאותם מינים שהיה ולו רק שמץ של תיקווה לכלול אותם בתהליך הייעור (ראה דוחות אגף היעור המנדטורי לשנים 1927-1948). אך התנאים האקולוגיים ברחבי הארץ לא תמכו בסופו של דבר בהרחבת מגוון עצי המחט על ידי אקלום של מינים שונים, שאינם ים-תיכוניים, ולדוגמא: *Pinus radiate*, Sequoia sp., Cupressus sp. *Pinus ponderosa*, *Pinus sabiniana* וגם לא של מינים מחטניים ים-תיכוניים שגדלים בתחום החגורה ההררית דוגמת האורן השחור (*Pinus nigra*), מיני ארזים ואשוחים ים-תיכוניים, וגם לא את האורן הימי (*Pinus pinaster = P. maritime*). וברוש אטלנטי Cupressus atlantica. רק בבתי גידול בודדים ויחודיים, ששטחם אינו עולה על עשרות אחדות של דונמים גדלים מינים מאוקלמים דוגמת ארז הלבנון וארז אטלנטי.

מספר בעיות שעוברת כחוט השני במינים המחטניים אשר משתמשים בהם ביערנות הישראלית מקשות מאוד על ממשק נכון.

1. השימוש בזרעים מיובאים, בעיקר על ידי חברות זרעים, מבתי גידול שונים (מאקולוגיות שונות), כאשר אין מידע על התנאים האקולוגיים במקורם. המשך הפצת האקוטיפים השונים מיערות שנטעו ובגרו לשם נטיעת יערות נוספים.

2. מיעוט הידע על הקשר שבין איכות בית הגידול (סך התנאים האקולוגיים) לבין הגדילה של האקוטיים השונים שבכל מין שיובאו לארץ.

3. המחסור בחלקות אקלום באזורים ביו-אקלימים שונים במדינה אשר בעזרתם אפשרי לבחון את היחסים שבין המין ובמסגרתו האקוטיפ לבין תנאי הסביבה.

4. שגם לאחר כ-100 שנות ייעור, עדין לא הקימו "מטעי אם לזרעים" מחמשת המינים הנ"ל באזורים הביו-אקלימיים השונים, כדי לספק את תצרוכת הזרעים השנתית של זרעים איכותיים הדרושה לייעור .

חלוקת שטחי היער המחטני בישראל בהתאם למינים בשנת 2009,
על פי נתוני אגף הייעור של הקק"ל, (השטח של כל מין באחוזים מכלל השטח בו גדלים מחטניים).

המין	שטח (דונם)[1]	השטח ב-%[2]
א. ירושלים	~164.883	28.5
א. ברוטיה	~60.029	10.4
א. קנרי	~3.457	0.6
א. הצנובר	~17.270	3.0
אורן למיניהם +רחבי עלים	~332.577	57.5
סה"כ	~578.216	100.0

למרות התנאים האקולוגיים, האנושיים והפוליטיים הקשים נוצרה עם השנים כסות ירוקה אשר מספקת שירותים אקולוגיים וחברתיים שטיפול מקצועי נכון מסוגל להתגבר על הלקונות שנבעו מחוסר ידע.

2.2 אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill.)

(הקדמה, אקו פיזיולוגיה ויחסי צמח -מים, המגוון הגנטי, יעראות [שיקום יער לאחר שריפה, חידוש טבעי, ממשק יער שמתחשב בשינויי אקלים חזויים]).

הקדמה

אורן ירושלים בשפה העברית הוא השם למין ששמו בשפה הלטינית הוא *Pinus halepensis* Mill. ובאנגלית Aleppo pine, כלומר, אורן חלבי (על שם העיר חלב Aleppo = שבסוריה) שם הוגדר מין זה לראשונה מהבחינה הבוטנית. תרגום השם אורן ירושלים ל-Jerusalem pine אינו נכון וגם מטעה כאילו מדובר במין חדש. על פי מיטב הידע, אורן זה לא גדל באופן טבעי באזור חלב ולכן סביר להניח כי מילר (Miller), שהגדיר לראשונה מין זה, ראה עץ בלתי מוכר לו נטוע כנראה בגינה בעיר חלב.

האראל של אורן ירושלים מקיף את הים התיכון, הוא גדל מגובה פני הים ועד רום של כ- 2000 מ', בתנאי אקלים שונים. שיש להם משרעת רחבה של טמ' שנתית ממוצעת, מס' ימי גשם בשנה וכמות גשמים רב שנתית ממוצעת. בדרך כלל הוא גדל על קרקעות גיריות שהם תוצר בליה של סלעי משקע ימי ששונות מאוד בתכונותיהן, אך לא רק. מין זה נחשב כמין חלוץ, כלומר, מין המתנחל ראשונה בשטחים מופרים שהם שטחים שנפגעו משרפות או פגעי טבע אחרים או מפעילותו של האדם. התפשטותו של מין זה לכיוון מערב ממקור היווצרותו המשוער בצפון - מזרח אגן הים התיכון, היאחזותו וגדילתו באזורים הנבדלים בתנאים האקולוגיים (אקלים, מסלע, קרקע, רום מעל פני הים, חברות צומח אקולוגיות) וההשפעות של אירועים אקלימיים וגיאולוגיים על גודל האוכלוסיות בתקופת הפליסטוקן וההולוקן היוותה קרוב לודאי את הבסיס להיווצרות גנוטיפים (אקוטיפים) שונים [56, 58, 110]. אורן זה הוא המין הנחקר ביותר מבין מיני האורן הים-תיכוניים בעיקר בגלל תכונותיו האקו-פיזיולוגיות המתבטאות "בעמידותו" (Resistance) או יותר נכון "בהימנעותו" (Avoidance) מיובש שטובה יותר בהשוואה לאורנים ים תיכוניים אחרים [99]. הידע המדעי הרלוונטי לממשק יערות אורן ירושלים ואורן ברוטיה בתחום האקופיזיולוגיה, הגנטיקה, התנאים הדרושים להתחדשות טבעית ללא אירועי שריפה ולאחר שרפות יער, ייעור וממשק יערות ועוד שהיה בהישג יד עד שנת 1998 סוכם ופורסם [96]. אלא, שכתוצאה ממאמץ מחקרי רחב ממדים מאז צאתו לאור של הספר הנ"ל נוסף ידע רב, שהתגבש ממחקרים שנעשו גם בעקבות התרעות על האפשרות לשינויי אקלים כלל

עולמיים, שבמסגרתם חוזים עליה ביובשנות של אגן הים-התיכון כתוצאה משינויים במשטר הגשמים ועליה של טמפרטורת האוויר [1, 10, 62, 65]. שינויים אלו עשויים להשפיעה במידה שונה על המינים הרבים הגדלים בחגורת החורש והגריגה הים-תיכונית שכוללת בתוכה גם את היערות של אורן ירושלים, שחשיבותם גדולה מאוד בעיקר מבחינת השירותים האקולוגיים, החברתיים, הנופיים ומבחינות נוספות [124].

פרק זה יתרכז בתמצות וסיכום הידע שנוסף לאחרונה שאמור להיות נחלת היערן בבואו לנהל ולמשק את היערות של מין זה בארץ, המשתרעים על פני עשרות אלפי דונם שנחלקים בין אקולוגיות רבות ושונות מצפון הארץ ועד אזור יתיר וגם נחלקים ליערות חד-מיניים ורב מיניים. רבים מהיערות מראים סימני התנוונות שעשויים להיות מצד אחד תוצאה מכך שהיערות עברו זה מכבר את תקופת שיא קצב הצמיחה השנתית והתבגרותם משפיעה על רמת פגיעותם לגורמי סביבה יחידים או משולבים שהם יובש, אוזון [17, 63, 122], מזיקים ומחלות. מצד שני, ידוע זה מכבר על ריבוי מקורות זרעים (אקוטיפים-גנוטיפים) אשר יובאו בעבר מחו״ל לשם הקמת היערות הראשונים בארץ [15, 58]; אקוטיפים אשר שונים בעמידותם ליובש (ראה הסעיף על אקו-פיזיולוגיה ויחסי צמח מים). התפשטותם של גנומים אלו כתוצאה מהאבקה ארוכת טווח ואיסוף זרעים לא מקצועי תרמה אף היא ללא ספק להתנוונות. בנוסף, חלק מהיערות הנטועים חוו יותר מעשור שנים של פחיתה יחסית רבה (15%) בכמות הגשמים הרב שנתית הממוצעת כתוצאה מריבוי שנות בצורת של פחות מ -200 מ״מ גשם שנתי, בעיקר בדרום הארץ.

אקופיזיולוגיה ויחסי צמח-מים

תופעה כלל עולמית ההולכת ומתרחבת של תמותת עצים ויערות באזורים נרחבים, מיוחסת להשפעות הנובעות מירידה בכמות המשקעים העונתית, שינויים בפיזור אירועי גשם ועוצמתם בעונה הגשומה, עליה בטמפרטורת האוויר הגורמת לעליה בגרעון לרוויה של האוויר [18, 19, 26, 30, 75, 76]. תופעה זו קיימת במרחבי אגן הים התיכון ונעשה מאמץ מחקרי רחב הקף על מנת לבדוק באמצעות שיטות מתקדמות את ההתנהגות האקו-פיסיולוגית של אורן ירושלים. נמצא [99] שאורן ירושלים הוא מין הנמנע מהשפעות יובש (Drought avoidance) בעזרת סגירת הפיוניות כאשר כמות המים בקרקע יורדת אל מתחת ל- 20% מקיבול שדה, תוצאה שאושרה בשנית [85] בשנים מאוחרות יותר. כלומר, מין זה

מתנהג באופן איזו-הידרי (Isohydric) בכך שהוא סוגר את הפיוניות שלו בעקבות עלית מתח המים בעלווה ובקסילם, שכמובן קשור לעליה משמעותית במתח המים בקרקע כתוצאה ממחסור [82]. בדיקה של יחסי גומלין פיזיולוגים-פנולוגים באורן ירושלים [78, 79], הראתה כי בניגוד למקובל ביערות באזור הממוזג, אורן ירושלים מאוד פעיל פיזיולוגית (הטמעה = פוטוסינתזה) בעונת החורף, עת רטיבות הקרקע מאפשרת קליטת מים הנמצאים במתחים נמוכים יחסית של בין 0.4- ל- 2.4- (MPa) מגה פסקל והטמפרטורות אינן נמוכות מעבר ל--12^{o} C. [33]. אך הפעילות הפנולוגית של יצירת מחטים חדשות מתרחשת מאוחר יותר בעונה (אביב קיץ); כך, שעיקר ההטמעה נעשת ביעילות רבה בעונת החורף הבאה על ידי מחטים שגילן פחות משנה, שפעילותן אפקטיבית יותר מאשר זו של מחטים בנות שנתיים ושלוש. כלומר, היחס שבין פעילות ההטמעה והפעילות הפנולוגית מביא לידי יצרנות גבוה גם בתנאים סמי-ארידיים אשר במקרה של יער יתיר (30 עצים בדונם שגילם בין 35 ל-45 שנה) מקבע בין 0.13 ל-0.24 ק״ג פחמן למטר רבוע בשנה [59].

התמעטות המים בקרקע לכדי 0.20 $מ^3מ^{-3}$ גורמת לעלית מתח המים בקרקע ומכאן בצמחים. מתח מים בקסילם (בעלווה וענפונים) שמגיעה לכדי 2.8– מגה פסקל (MPa) גורם באורן ירושלים לסגירת פיוניות כמעט מוחלטת (99%). תופעה זו גורמת לירידה בקליטת דו-תחמוצת הפחמן לכדי $1\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$, כלומר, תהליך ההטמעה ויצירת פחמימות נפסק [27, 69, 79]. נימצא כי מירב הפחמימות תוצרי תהליך ההטמעה מנוצלים באורן ירושלים לצמיחה על קרקעית ומיעוטה לשורשים וחומרי תשמורת. תופעה זו שונה מזו המתקיימת באלונים בהם מירב תוצרי ההטמעה נשמרים במערכת התת-קרקעית. על כן באורן ירושלים, עם סגירת הפיוניות עקב עלית מתח המים, מתקיימת ירידה משמעותית בריכוז הפחממות, הסוכרים והעמילן בעקבות הצורך לתמוך בנשימת העץ [108]. במידה ומשך הזמן של סגירת הפיוניות נימשך זמן רב, הרי שחל תהליך ״הרעבה״, כלומר, מחסור בפחמימות הדרושות לתחזוקת הצמח וליצירת חומרים משניים דוגמת השרף שדרושים להתגוננות בפני מזיקים ומחלות. כאשר מתח המים עולה אל מעבר ל- 3.0- מגה פסקל, מתקיים אובדן של 50% מכושר העברת המים בצמח (Hydraulic- conductivity) כתוצאה מחדירת אויר לצינורות ההובלה (Embolism) [48, 49, 69]. במידה ומחסור במים אינו נימשך זמן רב, הרטבה חוזרת של הקרקע והקטנת המתח של עמודת המים בטראכאות מאפשרת לדחוק החוצה את האוויר ולחזור לפעילות פיזיולוגית רגילה תוך פרק זמן לא

ארוך [27]. כבר ניכתב שעקות יובש פוגעות ישירות בצמח, אך פוגעות בו גם העקיפין בכך שמסלולי היצור של חומרים משניים, המשמשים להתגוננות מפני גורמים חיצוניים אך גם פנימיים (endophyts) מוסטים, והצמח המוחלש נישאר חשוף לפגיעתם. בדיקות פיטופתולוגיות ביערות אורן ירושלים פגועים ושאינם פגועים שנעשו על מנת להעריך את תרומתם של פטריות שונות להתנוונות, הראו עליה בעושר ובנוכחות של מיני פיטריות השוכנות בתוך העץ כמו גם כאלו ששוכנות על הקליפה והמחטים בחלקות הפגועות [28, 29].

נבדקה התגובה הפוטוסינתית לעקת יובש בנבטי אורן ירושלים בני חצי שנה משני אקוטיפים; האקוטיפ האחד מהאי היוני אוויה והשני מאזור אוטריקולי שבאומבריה באיטליה. נימצא כי קיימים הבדלים בין שני האקוטיפים הנ״ל בגורמים אשר עשויים לסיעה בהתאוששות של הצמח לאחר תקופת יובש [88].

מחקרים בתגובת שתילי אורן ירושלים שמוצאם מאזורים שונים לתנאי יובש הראו כי שתילים שמוצאם מאזורים בהם קיימים תנאים יובשניים עמידים יותר -במידה מסוימת אך מובהקת- לעקת מים משתילים שמוצאם מאזורים לחים יותר, היות ויש להם מוליכות מים גבוהה יותר בין הקרקע למחטים, מוליכות מים גבוה יותר במחטים, דיות רבה יותר, התאמה אוסמוטית טובה יותר וגם רמה נמוכה יותר של חדירת אויר לצינורות ההובלה [121, 34]. בנוסף, עצי אורן ירושלים בני אותו גיל, שמוצאם מאזורים שונים סביב אגן הים התיכון (אקוטיפים שונים), שגודלו בחלקת ניסיון אחידה באזור סמי-ארידי (יתיר), נבדלו באופן מובהק בפוטנציאל המים בקסילם של ענפונים ומחטים שנימדד טרום זריחה [116]. בדיקות אנטומיות בעצה של עצי אורן ירושלים שמוצאם מאזורים שונים (אקוטיפים שונים), שגודלו בתנאים אחידים במשתלה או בחלקת ניסיון בספרד, היו שונים במבנה האנטומי של העצה בהתאם לתנאים האקולוגיים באוכלוסיות המוצא; כלומר, הצמחים נבדלו באפשרויות למעבר מים (אורך וקוטר צינורות ההובלה בשורשים ובגזע, גודל הגמצים ועוד) ומכאן בעמידות ליובש [44]. בדיקת התפתחות שתילים של אורן ירושלים שמוצאם בארבע אוכלוסיות בספרד, שנבדלות בתנאים האקולוגיים בהם, שגודלו במשתלה בתנאים אחידים, הראו כי קיימים הבדלים מובהקים בין האוכלוסיות בתגובת השתילים למשטר ההשקיה. ההבדלים התבטאו במשקל יבש של השורשים, משקל יבש של הגזע, משקל יבש של המחטים, משקל יבש של כל השתיל, גובה השתיל וקוטר הגזע והצמיחה לגובה במשך תקופת ההימנעות מהשקאה [35]. לאחרונה הוכח כי עקת מים באביב ותחילת הקיץ עשויה להשפיע מאוד על הצלחת קליטת נטיעות ואו התחדשות טבעית בעקבות שינויים אנטומיים

במבנה הטבעת השנתית שמעקב מעבר מים [42]. מחקר נוסף הראה כי בעת "הרעבה" ישנה פעילות של העברת פחמימות מהחלקים העל קרקעיים של הצמח אל מערכת השורשים על מנת לקיים אותה ואף להגדילה [69], אך תופעה זו לא יכולה לקיים את הצמח כאשר תקופת היובש מתארכת.

<u>לסיכום</u>: בעשור האחרון הוכח כי אוכלוסיות אורן ירושלים מרחבי הארץ של מין זה נבדלות בצורה מובהקת במבנה האנטומי, שמשפיע רבות על היכולת לעמוד בפני עקות יובש. לתופעה זו השלכות מרחיקות לכת על הבחירה של מקורות לזרעים עבור שיקום יערות שנהרסו ונטיעת יערות חדשים באזורים יובשניים ובכאלו אשר עתידים בהתאם לתחזיות להתייבש בעתיד.

המגוון הגנטי

הידיעה שהתכונות המורפולוגיות של עץ בודד או רק אחדים היוו את הבסיס להגדרה של מין חדש למדע מעוררת את השאלה: מהי מידת השונות או המגוון בכל תכונה שהיא בכלל אוכלוסיות העצים המשויכות למין?. בכל מין קיימת שונות (ואריאציה, מגוון) בכל תכונה ותכונה הנחלקת: לשונות בין הפרטים באוכלוסיה מוגדרת, לשונות בין אוכלוסיות באותו אזור גיאוגרפי-אקולוגי, לשונות בין אזורים גיאוגרפיים-אקולוגיים בתחום התפוצה הגיאוגרפי (הארץ) של המין שנובעים מתהליכי נדידה והתפשטות והשפעת התנאים האקולוגיים בבית הגידול.

ראשית המחקר על המגוון הגנטי באורן ירושלים היה בעיקרו מחקר במגוון של תכונות מורפולוגיות. מחקרים הצביעו על קיומה של שונות באורך המחטים ועוביים, מספר פיוניות ליחידת שטח, מספר ביבי שרף במחט, גודל אצטרובלים ויחסי אורך/רוחב שלהם, מספר זרעים, יחסי משקל בין כנף הזרע והזרע, מבנה קשקשי האצטרובלים, מבנה הקליפה (אופי קשקשי הקליפה ועובייה) גודל גרגירי האבקה וצורתם, קצב נביטה והתפתחות נבטים וזריעים ועוד- בתוך ובין האזורים הגיאוגרפיים השונים שבהם גדל המין [83, 84, 93, 102,114].

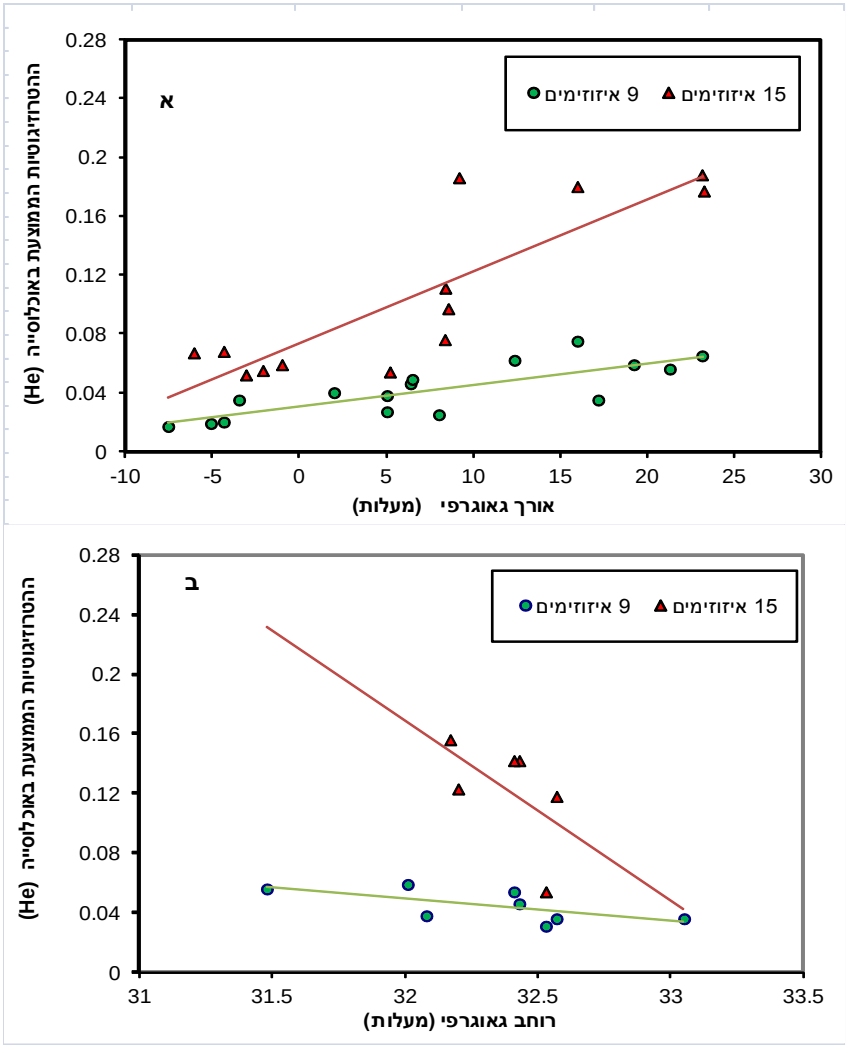
התוצאות שמובאות <u>באיור **1א**</u> מראות את השינוי (הירידה) במגוון הגנטי, שמבוטא כהטרוזיגוטיות הממוצעת באוכלוסיה (מקור הזרעים), לאורכו של אגן הים התיכון מאזור הבלקנים במזרח ועד לספרד ומרוקו במערב. הרגרסיה הליניארית בין המיקום הגאוגרפי לבין ההטרוזיגוטיות על פי התוצאות מבדיקה בתשעה אנזימים היא: $r^2 = 0.63$

$P< 0.0002$, n = 16; ועל פי הבדיקה ב-15 אנזימים $r^2 = 0.73$, $P< 0.0002$, n = 13.

תוצאות אלו נתמכות על ידי שורה ארוכה של בדיקות גנטיות אחרות [23, 58, 64, 71, 110].

התוצאות שמובאות **באיור 2ב** מראות כי קיימת נטייה לעליה במגוון הגנטי מצפון כלפי דרום באזור מזרח אגן הים התיכון (ישראל וירדן), בדומה לעליה במידת היובשנות מצפון לדרום והשפעתה על המגוון הגנטי במיני צמחים ובעלי חיים [97, 98]. נטייה זו לא מובהקת מהבחינה הסטטיסטית כתוצאה מהמדגם הקטן מידי. בבדיקה של 9 ו-15 איזוזימים הרגרסיה הליניארית היא $r^2 = 0.420$, $P = 0.081$, n = 8; ו- $r^2 = 0.310$, $P < 0.26$, n= 8 בהתאמה.

איור 1: השונות הגנטית באוכלוסיות אורן ירושלים במרחבי האראל שלו על פי תוצאות בדיקה ב-9 או ב-15 איזוזימים: - א. מהאזור הבלקני ועד ספרד ומרוקו. ב. במזרח אגן הים התיכון (ישראל וירדן)



הירידה או העלייה במגוון הגנטי (ההטרוזיגוטיות) קשורה במבנה הגנטי כלומר, במספר האיזוזימים (הגנים) הפולימורפיים בכל עץ ובתדירות של האללים השונים באנזימים אלו באוכלוסיה. הירידה או העלייה במגוון הגנטי (ההטרוזיגוטיות) המתוארת באיור 1 קשורה במבנה כלומר, במספר ובתדירות של האללים באנזימים השונים שהם חלבונים תוצרי גנים [23, 58, 64, 110, 114] והספרות המצוטטת שם. התוצאות מפרץ של מחקרים שנעשה בעשור האחרון, תוך שימוש בשיטות מחקר גנטי מתקדמות ב-ד.נ.א. המבני, ב-ד.נ.א. שבכלורופלסטים וב-ד.נ.א.של המיטוכונדריות [32, 50, 57] מצביעות גם הן על התפשטות אורן ירושלים בתקופת הפליסטוקן וההולוקן מצפון מזרח לאגן הים התיכון, מקום היווצרותו המשוער, לדרום מערב (ספרד, מרוקו). בנוסף, הפחיתה בשונות הגנטית מצביע על ההשפעה הרבה של מגוון תנאי האקלים שהיו שונים מאוד לאורכו של אגן הים התיכון בשיא תקופת הקרח האחרונה ובנוסף לכך גם השוני בתנאים הגיאולוגיים והטופוגרפיים אשר יצרו מה שמכונה "צוואר בקבוק" שהוא בדרך כלל גורם אקלימי, טופוגרפי או אקולוגי המצמצם מאוד את גודל האוכלוסיות ומכאן את המגוון הגנטי; למשל המגוון באוכלוסיות במרוקו לעומת המגוון באוכלוסיות שגדלות בשאר המדינות בצפון אפריקה [45, 46, 56, 106].

כתוצאה מהמגוון הגנטי מצד אחד וכושר ההסתגלות (הפלסטיות) בתגובת הצמח לתנאי הסביבה מצד שני, נוצרו התאמות בתכונות שונות (Adaptive traits) ומכאן הבדלים ברורים ומשמעותיים בין אוכלוסיות הגדלות באזורים גיאוגרפיים ואקולוגיים שונים. למשל ביחס שבין הדיות לקיבוע דו-תחמוצת הפחמן (WUE) ומכאן בעמידות ליובש ובקצב הצמיחה [21, 23, 64, 70, 115, 116], גם הבדלים בעמידות למזיקים ומחלות [23, 86]. השונות (המגוון) במין זה מתבטאת גם בהרכב השרף (חומר משני בעצי מחט) הנוצר במחטים, בקורטקס ובעצה. כלומר, שוני בין פרטים, אוכלוסיות ואזורים גיאוגרפיים ביחסים הכמותיים שבין החומרים השונים המרכיבים את השרף, דבר שמהווה מעין תעודת זהות לאזור מוצאו של הפרט [22, 23, 111, 112].

בדיקות צמיחה והתפתחות ובדיקות אנטומיות של מיבנה העצה, שנעשו בשתילים שמוצאם ממקורות גאוגרפיים-אקלימיים שונים בספרד, שגודלו ביחד בחלקות ניסיון אחידות (Common Garden Experiments) הראו כי קיימים הבדלים מובהקים בין מקורות הזרעים. הבדלים שנוצרו בהשפעת המגוון הגנטי ואו בהשפעת התנאים האקולוגיים באוכלוסיות המקור. עצים שמקורם באזור עם רמת יובשנות נמוכה יחסית

בעונת היובש שונים בהתפתחותם מאשר עצים שבמקורם הם מאזורים עם יובשנות גבוהה בעונת הקיץ. ההבדל ניכר בהתפתחות רבה יותר בגובה, בקוטר ומכאן בנפח, בעובי דפנות התאים, תכונות שונות בטראכאידות כגון גודל הגמצים, כמות צינורות ההובלה בקרני הליבה ועוד. דבר המאפשר הובלת מים טובה יותר וקיבול מים רב יותר בצמח. הבדלים אלו בין האוכלוסיות בהתאמות האנטומיות לתנאי הסביבה מלמדות על החשיבות של בחירת מקור הזרעים לנטיעת יערות חדשים [44]. בנוסף, בעזרת חלקת ניסיון אחידה, (Common Garden Experiments) בה גודלו שתילים מזרעים שמוצאם מאוכלוסיות רבות סביב אגן הים התיכון- ששונות בתנאים האקולוגיים השוררים בהן-, נבחנו הזריעים בני השבע למידת גדילתם (גובה, קוטר, נפח), מועד תחילת הפריחה הנקבית, כמות האצטרובלים ועוד [37]. נימצא, כי גודל העצים, מידת ההתמיינות לפריחה נקבית ויצור אצטרובלים שונים באופן מובהק בהתאם לתנאים האקולוגיים במקור הזרעים. הוכח קיומן של מתאמים מובהקים בין רמת הפוריות לבין נתונים אקולוגיים במקור הזרעים. נימצא כי עצים בינוניים בגודלם יצרו את כמות האצטרובלים הרבה ביותר, תוצאה המוכיחה כי התמיינות לפריחה נקבית ויצור אצטרובלים אינו קשור לצמיחה מהירה. מחקר זה הצביעה על כך כי בתחום תפוצתו של המין מתקיים תהליך הגובר והולך ממזרח למערב בהכוונת מוטמעים לרבייה, ירידה בגיל הצמח וגודלו בעת יצירת הפרחים הנקביים לראשונה [37]. בדיקות צמיחה והתפתחות של אורן ירושלים בחלקת ניסיון קלונאלית ביון, הצביעו בעיקר על קשר הדוק בין כמות הפריחה הנקבית וכמות אצטרובלים נקביים ($r = 0.94$; $r = 0.74$) בהתאמה בלי קשר למידת התפתחות הצמחים; תוצאה שמרמזת על התורשתיות החזקה של רמת הפוריות של הצמח, שיש לקחתה בחשבון. כמו כן נימצא כי 25% מהעצים המייצרים כמות אצטרובלים רבה אחראים ל-40% מיבול הזרעים, בעוד ש-25% מהעצים המייצרים כמות קטנה של אצטרובלים אחראים רק ל- 12% מכמות הזרעים [81].

בבדיקות שנעשו לאחרונה באורן ירושלים ואורן ימי (P. pinaster) על מנת לזהות גנים העשויים להיות קשורים בעמידות בפני יובש והיוו "מטרה" לברירה הטבעית. נימצא כי בכל אחד ממינים אלו ישנם גנים שיחודים למין, ונימצא גם גן שמעורב ביצור חומרים שניוניים שונים בכל אחד משני המינים ובהתאמה לתנאי בית הגידול המקומיים. כמו כן נימצא כי מבין גורמי הסביבה הרבים הטמפרטורה היא בעלת חשיבות מרבית כגורם המכוון את הברירה באורנים ים-תיכוניים [57].

יעראות

הביולוגיה של הסוג אורן נחלקת לשני טיפוסים ששונים באופן התנהגותם כלפי אש [117]; הטיפוס האחד– "הנמנע מאש"- מפתח עץ גבוה, נוף העץ הירוק מתרכז במעלה הגזע תוך השרת הענפים התחתונים המתים בכותרת, דבר שגורם לניתוק הקשר בין תת היער לכותרות העצים; בנוסף, לעצים במינים אלו יש קליפה עבה המונעת פגיעת חום בשכבת הקמביום. הטיפוס השני "המנצל את האש" או "המעודד הידלקות" לשם קידום הדור הבא מתאפיין בכך: אין השרת ענפים מתים שמהווים מעין סולם המאפשר את עלית האש לכותרות; העצים מכילים שרף רב המלבה את האש, שמירת חלק ממאגר הזרעים השנתי באצטרובלים "סרוטיניים" ("אפילים") אשר נפתחים רק בעזרת החום הגבוה של השריפה והיובש באוויר (לחות אויר יחסית נמוכה). תופעה זו מאפשרת פיזור רב ביותר של זרעים ו"כיבוש" השטח השרוף שבו הושמדה צמחית תת היער ומאגר הזרעים שעל פני הקרקע. לפיכך אורן ירושלים נימנה עם מיני האורנים המנצלים את האש לשם התחדשות היער הקיים ולהתפשטות לשטחים מופרים חדשים. סימנים לשימוש באש באזור אגן הים התיכון נמצאו בחפירות ארכיאולוגיות שמתוארכות ל-780.000 שנה לפני הספירה, כלומר, 6240 דורות של אורן ירושלים בהנחה שאורך דור הוא כ-125 שנה. מספר דורות כה רב נחשב כמספיק כדי להשפיעה ולכוון התפתחות אבולוציונית של תכונות הנוגדות או המנצלות את האש [95]. יתכן ומידת השונות שהתגלתה בתוך אורן ירושלים ואורן פינסטר (Pinus pinaster) בהתבטאות התכונות הקשורות לאש (עובי קליפה, כמות שרף, כמות אצטרובלים אפילים ביחס ליצור אצטרובלים שנתי, כמות אצטרובלים ישנים שנשמרת בכותרת העץ, כמות ענפים מתים שבין פני הקרקע לבין הנוף הירוק ועוד) היא תוצאה של השונות הרבה בגורמים המשפיעים על הברירה דוגמת כמות השרפות ועוצמתן במשך תקופות ארוכות באזורים ובתי הגידול השונים בתחום הארץ של המין [119].

מירב היערות הטבעיים והנטועים של אורן ירושלים גדלים בתחום חגורת היער-חורש רחב העלים הסובבת את אגן הים התיכון. תחום אשר מסוף המאה התשע-עשר ובמאה העשרים היה נתון בתהליך של הזנחת שטחים נרחבים ששימשו בחקלאות מפני שהטופוגרפיה אינה מאפשרת שימוש בכלים מכאניים שתורמים להורדת הוצאות היצור, דבר זה גרם להידלדלות האוכלוסייה שעברה לערים; השטחים שנזנחו אוכלסו מחדש בדרך של התפשטות טבעית על ידי עצי יער וחורש (אורנים, אלונים, אלות ועוד). בנוסף, נעשו

פעולות ייעור רחבות הקף לשם עצירת הרס נוסף ולשם שיקום שטחים שנפגעו מכריתה במשך דורות רבים ומפעולות מלחמתיות במאה העשרים. בייעור הרבו להשתמש באורן ירושלים כמין חלוץ עקב תכונותיו האקו-פיזיולוגיות ומהירות גדילתו; גם שיקולים של אספקת חומרי גלם עץ ושרף היו ברקע קבלת ההחלטות [4, 5, 11, 12]. אלא שפתרונות בתעשייה הכימית יתרו את איסוף השרף המשובח של אורן ירושלים, ששימש עד לא מזמן בסיס ליצור תרופות וצבעים ועוד. בנוסף, השינויים הגדולים בתעשיית העץ (דרישות איכות, מקורות אספקה, מחיר ועוד) גרמו להזנחת הטיפול היעראי (הממשק) מחוסר כדאיות כלכלית וכתוצאה מכך הייתה עליה רבה בכמות החומר האורגני (ירוק ויבש) ליחידת שטח ביערות. גם תנועת התיירות והנופש בחיק הטבע שגברה ככל שעלתה רמת החיים במאה העשרים הביאה איתה גם את הנזקים וההרס הקשורים בהתנהגות בני האדם ובמיוחד את אלו הקשורים באש. התנאים המטאורולוגיים השוררים באזור אגן הים התיכון בדרך כלל אינם גורמים לשרפות יער, אך בעת ששוררים תנאים מטאורולוגיים כגון: לחות אויר נמוכה יחסית (25%>), טמפרטורת אויר גבוהה (25^0 C>), מהירויות רוח גבוהות וכמובן חומר דליק בכמות רבה, שמעודדים התפשטות אש, התנהגות רשלנית עם האש או הצתה בזדון תורמים להתפשטות שרפות שקשה מאוד לכבותן. הקשיים בפעולות הכיבוי נובעים בין היתר:

1. מהתנאים המטאורולוגיים.
2. מהתנאים הטופוגרפיים המקשים על הנגישות והתנועה (הרים וגאיות).
3. סבך הצמחייה (תת יער סבוך) אשר מעביר את האש גם בצורה אנכית אל כותרות העצים, בעיקר לאלו שענפיהם התחתונים לא נגזמו -באופן טבעי או מלאכותי- והם בקרבה רבה ללהבות העולות מתת היער.
4. הדליקות הרבה של אורן ירושלים נובעת גם מהעובדה שבכותרות העצים במין זה מצטבר חומר אורגני יבש בצורה של אצטרובלים רבים משנים קודמות שלא נשרו.
5. העץ על כל חלקיו מכיל שרף רב (חומר אורגני שרובו נדיף בטמפרטורות נמוכות יחסית ומגביר את האש).

העלייה במספר השרפות ובגודל השטחים שהן מעכלות ובעוצמתן מבחינה אנרגטית, יצר את הצורך בהבנה טובה ומפורטת יותר של הגורמים והסיבות המובילים להתפשטות השרפות, ואלו המאפשרים מניעה או הקטנת הקף השטחים והנזקים ודרכי פעולה שיש לנקוט על מנת לקדם את שיקום האזור שנישרף באופן אקולוגי וגם כלכלי [90].

א. שיקום יער אורן ירושלים לאחר שריפה פראית

כתוצאה מעליה ניכרת בהיקף השטחים הנפגעים על ידי שרפות באזור אגן הים התיכון הנזקים כלכליים ואקולוגיים גדלים מידי שנה בשנה. השיקום לאחר שריפה של יערות ואקוסיסטמות ים-תיכוניות הוא נושא מרכזי במחקר היערני והאקולוגי בשלושת העשורים האחרונים. הידע שנאגר מהמחקרים והתובנות שגובשו בתחומים השונים הקשורים לאקולוגיה, לצומח ולממשק השטחים סוכמו לאחרונה בשני ספרים [68, 90]. ההתחדשות לאחר שריפה קשורה ומושפעת מגורמים רבים שהיו לפני השריפה ובגורמים רבים שהשתנו בעקבות השריפה, שמביניהם חשיבות רבה יש:

1. למבנה כותרות העצים והשפעת מבנה זה על התפשטות האש [89]; לכמות חומר הבעירה בעקבות טיפולים יערנים קודמים על עוצמת האש [20]; לגודלו של "בנק הזרעים" בכותרות העצים אשר עשוי להתפזר בעת ובעקבות השריפה [13, 16, 38, 55, 66, 95]. כבר בעצים שגילם מעל ל-7 שנים, כמות הזרעים הנוצרת מידי שנה, חלקם באצטרובלים רגילים וחלקם "באצטרובלים אפילים" מספקת לשם התחדשות היער לאחר שריפה עוקבת. כמות הזרעים המתפזרת על מטר רבוע בעקבות שרפת יער עשויה להיות בין אפס למאות רבות.מאוד.

2. למועד השריפה ביחס לתחילת עונת הגשמים ובהקשר לכמות הטריפה של הזרעים על ידי נמלים ואוכלי זרעים אחרים מתוך הכמות שפוזרה יש חשיבות רבה. ככל שמועד השריפה קרוב יותר למועד הגשמים הראשונים שבעקבותם חלה נביטה, כך קטן מספר הזרעים שיוצאו מהמערכת על ידי בעלי חיים לשם תזונה [16].

3. עוצמת השריפה בכל נקודה אשר משפיעה על פיזור הזרעים, על עומק שכבת האפר, על מידת הפגיעה בשכבת החומר האורגני שעל פני הקרקע, ובקרקע עצמה מבחינה פיסיקלית וכימית, זמינות כימיקלים שונים ועוד [103, 104].

4. תנאי האקלים והתנאים בשטח (בכל בית גידול בפני עצמו) לאחר השריפה שמשפיעים על הנביטה, כגון: מצב פני הקרקע לאחר השריפה שמשפיע על מידת דחית המים ואו חדירתם לקרקע [80]; רמת החום ורמת החומציות של המצע (pH) [9, 60, 61, 54, 55]; נגר עלי וסחיפת קרקע [9].

5. תחרות תוך ובין מינית [16, 100] .

6. הפעילות הממשקית בשטח שניפגע, כלומר, פעולות לפינוי החומר שניפגע ומת בשריפה, דילול נבטים וזריעים, צמחים עשבוניים ושיחיים כדי להקטין את התמותה עקב עוצמת התחרות [39].

בעבר, בהתאם לגישה היערנית השלטת, היה מקובל לנקות את השטח ככל שניתן מוקדם לאחר השריפה, כדי שהצמחייה המתחדשת תיפגע במידה מזערית ככול שניתן כתוצאה מפעילות בשטח. השאלה האם בכלל ואם כן מתי ובאיזה אופן לטפל בעצים

השרופים עלתה רק לאחרונה -בעידן האקולוגי- ; על כן הידע שנצבר בנושא זה בישראל הוא עדין מועט יחסית. בדיקות שנעשו בארץ לאחר השריפה בכרמל בשנת 1989 הראו כי פינוי השטח מחומר פגוע מחויב המציאות היות ועצי האורן המתים נשארים עומדים בתחילה אך מתמוטטים תוך שלוש שנים ופוגעים בכך בהתחדשות וגם מהווים סכנה לאדם. יש להתחשב בגורמי הטופוגרפיה, סוג הקרקע ותכונותיה והציוד אשר משמש לפינוי על מנת להקטין ככל האפשר את ההיווצרות של נגר עלי בשטחים החשופים בחורף הראשון לאחר השריפה (ענבר וחבריו, 1996). בדיקות הראו שאחרי פעילות ידנית ומכאנית לפינוי השטח עדין מתקיימת כמות מספקת של נבטים של אורן ונצרים של רחבי עלים שלא נפגעו המאפשרים טיפוח התחדשות טובה של השטח [7, 94, 77, 117].

בדרך כלל, כמות הנבטים ליחידת שטח של אורן ירושלים ומינים אחרים היא רבה מאוד. לאחר השריפה בכרמל בשנת 1989 נימצא כי בתוך שנה וחצי ממועד השריפה באוקטובר, מספר הזריעים הממוצע למ״ר של אורן ירד מעשרות רבות לכדי 13 למ״ר, וחמש שנים לאחר השריפה מספר הזריעים קטן לכדי ארבעה למ״ר [7]. תופעה דומה נצפתה ביערות אורן ירושלים ביון, בהם נימצא כי מספר הנבטים הממוצע למ״ר נעה בין שלושה לחמשה, ולאחר שלוש שנים נוספות מספרם פחת לכדי אחד עד שלושה זריעים למ״ר [38]. גם בספרד נימצא כי מספר הזריעים, חמש שנים לאחר שריפות יער, עשוי לנוע בין שבעה ל-שבעים זריעים למ״ר [92]. התחרות העזה על אור, משאבי מים ומזון (כימיקלים) וגם פגיעה על ידי מזיקים ומחלות גורמים לצמצום משמעותי של מספר הפרטים המצליחים להתקיים עד לאחר הקיץ הראשון ובשנים הבאות. מספר הפרטים הזה מהווה רק אחוז מזערי מכמות הזרעים שהתפזרה ומכמות הנבטים שגדלה בשטח עם תום עונת הגשמים הראשונה. בדיקות העלו כי בשטחים שהתחדשו לאחר השריפה בכרמל בשנת 1989 ולא טופלו, כ- 77% ממספר הזריעים מתו תוך 5 שנים כתוצאה מתחרות על משאבים. בנוסף, בשטחים בהם הורחקה צמחיה מתחרה אך הזריעים אולחו במזיק מצוקוקוס יוספי 90% מהזריעים מתו [87]. למרות התמותה הרבה של עד כ- 90% מסך כמות הנבטים הראשוני (כמות הנבטים בסוף עונת החורף הראשונה) תוך פרק זמן של חמש שנים, עדין צפיפות הזריעים למ״ר עשויה להיות בין אחד לשלושה, כלומר, בין אלף לשלושת אלפים זריעים לדונם. צפיפות גבוה זו גורמת לתחרות עזה ביותר שאינה מאפשרת התפתחות נאותה של הזריעים לכדי עצים שביכולתם לייצר מספיק אצטרובלים כדי שבמקרה של שריפה חוזרת תובטח התחדשות מצד אחד ; ואינה מאפשרת התפתחות נאותה של צומח תת היער מצד שני. לכן

ההכרח בפעולה יעראית שהיא דילול מאסיבי כדי שצפיפות העומד בגיל שבע לא תעלה על 160 עצי אורן לדונם ואף פחות מזה, בהתאם לתנאי בית הגידול [40, 41, 53, 72, 91, 92, 104, 122].

בארץ, שיקום לאחר שריפה של כל יער מחטני נטוע, אך בעיקר יער אורן ירושלים ואורן ברוטיה, חייב להתחשב במדיניות החדשה של ממשק היער לשם פיתוח יער בר-קיימא, שעיקר מטרתו היא אספקת שירותים חברתיים ושרותי מערכת אקולוגיים. לכן, בעת פינוי השטח משרידי הצומח שניפגע, שעשוי להקשות מאוד על מעבר בשטח, להפריע ואף לשבש את ההתפתחות הרצויה של מיני צמחים, היות ובחלקו הוא מורכב מהגזעים והענפים העבים אשר עשויים להוות חומר גלם לשריפה עתידית (היות והוא לא נירקב ומתפרק מהר עקב היותו ספוג בשרף), יש להתחשב בגורמים רבים והם:

1. <u>הטופוגרפיה-</u> ומבנה השטח (שיפועי המדרונות וכיוונם, נוכחות מדרגות סלע טבעי או מבניה;
2. <u>גורמי קרקע-</u> סוג הקרקע, עומקה, אבניות, סלעיות, תכונות כימיות והידרולוגיות [6];
3. <u>הצמחייה</u>- המין הראשי והמינים הנלווים שאנו רוצים בנוכחותם (לדוגמה: אורן מין ראשי שמהווה את חופת היער, רחבי עלים דוגמת אלון מצוי, אלה ארץ ישראלית אלת המסטיק, בר-זית ועוד המהווים את קומת הביניים.

היות ובחלק מיערות שניטעו לשם שיקום שטחים פגועים נשתלו בעבר מיני עצים שדרישותיהם האקולוגיות אינם תואמים את תנאי בית הגידול בו נישתלו, הרי שלאחר שריפה שכילתה את היער הנטוע, ולמרות פיזור הזרעים הרב מעצי המחט שהושמדו, התפתחות הצומח החדש בשטח תהיה מושפעת מאוד מתוצאות התחרות בין נבטים וזריעים בינם לבין עצמם ובינם לבין מינים אחרים דוגמת רחבי עלים שמתחדשים גם בעזרת נצרים. התחדשות שמכוונת רק על ידי התנאים האקולוגיים בשטח עשויה להיות מוטה לתצורות צומח אחרות ולדוגמה ליער-חורש רחב עלים ועוד [8, 31, 43, 67, 94, 112].

ב. חידוש טבעי של היער ללא שימוש באש

חידוש טבעי הוא תהליך מובנה בתוך הממשק היעראי הקלאסי, שהוא מעין גלגל ענק הסובב על צירו עם הזמן, הכולל את כל השלבים של התפתחות היער מזריעה עצמית-נביטה- התבססות- התבגרות- הזדקנות- תמותה- וחוזר חלילה. כל שלב מחיי היער דורש את ההתייחסות המיוחד של היערן, שבמדינות יערניות (המייצרות עץ) עיקרה הוא

מהבחינה היצרנית, ובאזורים שמטרות היער העיקריות הם לספק את הדרישות והצרכים החברתיים של האוכלוסייה (למעט יצור עצה), היא בעיקר לפונקציות האחרות.

המחקר והספרות היערנית העכשווית ענייה מאוד בהתייחסות ממוקדת לחידוש טבעי של יערות אורן ירושלים ללא שריפה לעומת ההתעניינות בנושא זה במחצית הראשונה של המאה ה-20 (ראה רשימת פרסומים בתוך פרסום 16]. כנראה שדבר זה נובע מכך שממחצית המאה העשרים, יערות אורן ירושלים נשרפים בארץ ובחו״ל בתדירות שאינה מאפשרת להם להגיעה לגיל גבוה (120-80 שנה). אשר ״מזמין״ פעילות יעראית לשם חידוש טבעי של היער, תוך התייחסות להשפעת גורמי הסביבה- בעיקר גורמים אקולוגיים- על ההתחדשות. לעומת זאת הספרות מוצפת בהתייחסות להתחדשות היערות לאחר שריפה [39].

בנוסף, מפני שניטעו בארץ יערות ממקורות זרעים בחו״ל, שהגנום בהם אינו תואם את התנאים האקולוגיים בארץ (ראה פרק חמישי יעראות מוכוונת על ידי השונות הגנטית), ובעבר הטיפול היערני בהם היה כושל, הם מתנוונים כבר בגיל צעיר יחסית שבין שלושה עד חמישה עשורים לנטיעתם, רצוי לבחור באפשרות לחדש את היערות האלו בעזרת זריעה עצמית מעצים טובים בתכונותיהם ולאפשר לברירה הטבעית לפעול, לעומת האפשרות של נטיעה מחדש של היערות תוך הוצאה כספית עצומה.

הפעולות היעראיות שנדרשות על מנת להכין את הרקע להצלחת התחדשות טבעית חייבות להישען על ידע אקולוגי מגוון [16]. ביערות ובשטחים הפתוחים הגובלים בהם ואף מרחק רב יותר מהיער אפשר למצוא כל חורף נבטי אורן ירושלים רבים, אלא שעל פי רוב התפתחותם נמנעת והם נעלמים. זריעים בודדים מתקיימים בקושי מספר שנים תחת חופת היער. התפתחות טובה של נבטים וזריעים נראית בקרחות ובפאת היער. ידוע התופעה של התחדשות טובה ביותר לאחר שריפת יער המתחוללת לקראת סוף הקיץ. בחינת האירועים בשטח מרמז שלכמות הזרעים ולמועד פיזורם, לתחרות על אור ואו לתחרות בין שורשים על משאבים, וייתכן כי לשילוב של גורמים אלה- השפעה ניכרת על ההתחדשות הטבעית, דבר המתבטא בקיומם והתפתחותם של נבטים במספר המבטיח יצירת עומד יער בהתאם לתנאים האקולוגיים ולמטרות ניהול היער.

אורן ירושלים מייצר שני סוגי אצטרובלים הנבדלים במבנה האנטומי והמורפולוגי [92]; הסוג האחד, אצטרובלים ״אפילים״ (״סרוטיניים״) שנפתחים רק בהשפעת חום רב ולחות האוויר נמוכה הנוצרת בעת שריפה, וגם בחום שנוצר עקב פגיעת קרינת השמש

באצטרובלים החשופים לאחר השריפה. הסוג השני, אצטרובלים שאינם אפילים מהם מתפזרים זרעים במשך השנה בהתאם לתנאי מזג האויר. עיקר פיזור הזרעים מאצטרובלים אלו נעשה בימי שרב כבד (לחות אויר - <25%) אשר מועדם משתנה מדיי שנה, לעיתים הוא בסוף האביב ולעיתים בסתיו [16]. עם כי פיזור זרעים במידה מסוימת, מתקיים לאורך כל השנה (בקיץ ואף בימי חורף חמימים), הרי שמבחינת היערן רצוי שפיזור הזרעים היומי המרבי יעשה בסתיו ומאצטרובלים שהבשילו באותה השנה; זאת היות והזרעים נאכלים בכמות עצומה בעיקר על ידי נמלים אך גם נברנים וציפורים [16].

בחינת אחוז הנביטה של זרעים שהתפזרו ביער במועדים שונים בשנה העלה כי זרעים גדולים נובטים טוב יותר מאשר זרעים קטנים, אחוז הנביטה של זרעים שפוזרו בעת שרב ומיד אחריו גבוה מאשר זה של זרעים שפוזרו באופן איטי בתנאי אקלים רגילים. ניסויי מעבדה העלו כי קיימת מחזוריות בנביטה במשך השנה, שיא הנביטה מתקיים בחודש דצמבר והוא מתמעט עד חודש אפריל לכדי 85%; נביטה לא מתקיימת בין החודשים יוני – ספטמבר; מהלך זה משקף הסתגלות או תוצאה של סלקציה לתנאים אקלימיים [16]. בחינת אחוז הנביטה בהשפעת כוח התאחיזה של המים העלה כי בעונת הגשמים הזרעים מסוגלים לקלוט מים שקשורים בכוח תאחיזה של 1 אט׳ לקרקע או למצע בו הם נמצאים ולנבוט תוך 16 יום, אחוז הנביטה הוא כ- 67% תוך 12 יום. באותו עת הזרעים מסוגלים לקלוט מים מתמיסות שלהן לחץ אוסמוטי של 6 אט׳ ולנבוט; אחוז הנביטה הוא 12% תוך 28 יום. יכולות אלו בודאי תורמות להצלחת הנביטה [16].

בהקשר לגורמים המעודדים את גדילת הנבטים ובמיוחד את גדילת מערכת שורשיהם נימצא שמזרעים גדולים גדלים נבטים גדולים שיש להם יותר קוטולידונים, דבר המשפיעה על כמות האור שהם ״קוצרים״ עבור תהליך ההטמעה ומכאן כמות המוטמעים הנוצרת, שמעודדת גדילה גם בתנאי הצללה מסוימים [38]. עוצמת ההארה והרכבה (הספקטרום שלה) היא גורם רב משמעות; קרינה מלאה (כפי שמתקיימת בשטח חסר כיסוי) מאפשרת פוטוסינתזה והטמעה ברמה שמאפשרת פיתוח מערכת שורשים אשר עד חודש אפריל מספיקה לחדור לעומק של מעל ל- 0.60 מ׳ בקרקע, בעוד שעוצמת קרינה המהווה רק 25% מזו המלאה, אפשרה גדילת שורשים רק עד עומק של כ- 0.25 מ׳ עם כל המשמעות לכך בעת התייבשות הקרקע בקיץ. גם הרכב הקרינה משפיעה רבות; בתנאי תאורה שכוללת את כל אורכי הגל (אור טבעי, אור לבן) יחסי משקל נוף/ שורש היו

1.15±0.16, בעוד שבתנאי תאורה החסרים את האור האדום והאינפרה-אדום יחסי נוף/ שורש היו 2.2±0.60. כלומר, הארה בעוצמות נמוכות ואו הארה שחסרים בה אור אדום ואינפרא-אדום (כזו שקיימת ביער מתחת לכיסוי כותרות של עצים, שיחים ואף עשבים- שם שולט האור באורכי גל של הכחול-ירוק ועל כן מתקיימת פוטוסינתזה ברמות נמוכות) פוגע בגדילת מערכת השורשים, אשר על כן בתנאי יער אינה מספיקה להתפתח לעומק הקרקע המתייבשת [16]. גם בתנאי הארה מלאה בשטח פתוח, התחרות עם מיני עשבים שמתפתחים מהר ומצלים על הנבטים המתפתחים באיטיות מצד אחד, יוצרים גם תחרות קשה על משאבי מים מצד שני, יש השפעה רבה על הנבטים ושרידותם. עשביה המורכבת ממינים דגניים בעלי ציצת שורשים יוצרת עקת מים – גרעון לרוויה של 61% בנבטי האורן שהוא לטאלי. מספר הנבטים ששרדו מכלל אלו שנבטו הגיע ל-38%. לעומת זו בנוכחות קטניות הגרעון לרוויה בנבטים מגיע רק ל- 48% ושיעור הנבטים ששרדו הוא ל-89% מאלו שנבטו. שתי סיבות נוספות עשויות לגרום לכישלון ההתחדשות –הנביטה והתבססות הנבטים-: האחת, נוכחות שיכבה עבה של מחטים והשנייה, השפעות אללופטיות של מרכיבים שונים של השרף המופרש מהשורשים והמחטים [47],

הבנת מכלול ההשפעות של גורמים אקולוגיים על: פיזור הזרעים, טריפה, נביטה, התפתחות הנבטים לכדי זריעים ושרידותם, גיבוש הידע לכדי דרך פעולה לחידוש היער באמצעות זריעה עצמית ללא אש נעשה על ידי שילר ואוסם [16, 100]. המסקנות הן שכדי לחדש יער אורן ירושלים הגדל באזור אקלימי ים-תיכוני (400< מ״מ גשם בממוצע רב שנתי) רצוי להשאיר כ- 10 עצי אם לזרעים בדונם, אשר יכרתו - תוך נקיטת אמצעים ככל שניתן למניעת פגיעה בהתחדשות- לאחר שתקופת ההתחדשות הסתימה. מצב זה מאפשר הארה טובה, מפחית מתחרות השורשים של העצים אך מאפשר גם התרבות עשביה. לשם קבלת עומד התחלתי של כ- 200 זריעים טובים בדונם רצוי לחכות עד חמש שנים ממועד הדילול לפתיחת חופת היער. כמות זריעים כזו מספקת לשם טיפוח הדור הבא של היער.

ג. ממשק יער המתחשב בשינוי אקלים חזויים לשם שיקום מערכות אקולוגיות

היערנות העולמית נחלקה תמיד בין הגישה הכלכלית של מקסום הרווח ליחידת שטח לבין הגישה שיש לשמור על היער כגורם אקולוגי טבעי כדי שישמור עלינו (שרותי המערכת האקולוגית). לאחר אסונות טבע נוצר בדרך כלל יער חלוץ אשר משתנה עם הזמן בתהליכי סוקצסיה. נטיעות יערניות של מינים חלוציים מהווים מעין חיקוי לתהליכים טבעיים. אך

בציבור התפתחה גישה ביקורתית כלפי פעולות יערניות אלו ונשאלו שאלות על תפקודן האקולוגי של נטיעות יערניות צפופות של אורנים "מדבריות האורן" שניטעו כיער חלוץ (חיקוי לתפקוד הטבע לאחר אסון), שאחד מתפקידיו העיקריים הוא לעודד השתקמות הצמחייה היערנית האופיינית לכל בית גידול. נטיעות שכאלו נעשו בקנה מידה נרחב מאוד באזורים שונים סביב אגן הים התיכון ובאזורים אחרים בעולם [51, 52]. אך כפי שכבר נאמר, יערות אלו הוזנחו במשך הזמן מבחינת הממשק היערני עקב מחסור בכוח אדם מיומן בתחומים שונים של ממשק היער, מה שהוביל בסיכומו של דבר לחוסר כדאיות כלכלית.

אחת השאלות הנפוצות היא: באיזו מידה יער האורן החלוץ נטע אדם מסייעה בהשתקמות המערכת האקולוגית הטבעית המקומית, ובפרוט יתר, מה הם היחסים בין האורן לבין מינים רחבי עלים בעיקר אלונים למיניהם? האם יער אורן ירושלים מעודד ותורם להתבססות של מינים רחבי עלים בתוכו? נימצא, כי בתנאי אקלים סמי-ארידיים התבססות מינים רחבי עלים הייתה גבוהה יותר בבתי גידול שמחוץ לתחום השפעת עצי האורן בהשוואה להתבססות בבתי גידול שבתוך היער [73, 74]. לעומת זאת, נימצא שבבתי גידול שבהם שוררים תנאי אקלים ים-תיכוניים מתקיימת זה שנים רבות מאוד התחדשות של מינים רחבי עלים מזרעים ובלוטים שמובילה להתפתחות תת-יער ביערות החלוץ של המחטניים בחו"ל ובארץ [2, 3, 14]. רצוי לטפח תערובת של אורן ירושלים ורחבי עלים, בעיקר אלונים, כי הם משלימים אחד את השני בדרישותיהם האקו-פיזיולוגיות [104, 105]. אך התנאים האקולוגיים המתאימים לכך, והיחס בין שכבת היער העליונה המורכבת מעצי מחט ושכבת תת-היער המורכבת בעיקר מרחבי עלים אינם ברורים במידה מספקת [14, 124, 125], דבר שמקשה על גיבוש פעילות יעראית מסודרת להכוונת ההתפתחות הברוכה של תת-היער ופיתוח שיווי משקל בין שתי קבוצות צומח אלו. ברור הוא, שקיימת תחרות על המשאבים העיקריים שהם אור ומים שדורשת התייחסות בעזרת דילול. אך מידת הדילול והשפעותיו אינם ברורים דיים כי התגובה של צומח תת-היער לעוצמות אור שונות בגילים שונים איננה ידועה. בכל אופן, מחקרים הראו כי לצפיפות העצים, כלומר, לתחרות תוך ובין מינית, ישנה השפעה רבה על הצמיחה, השפעה שעולה בעוצמתה בהרבה על זו שעשויה להיווצר כתוצאה משינויי אקלימיים [52].

עד לתחילת המאה העשרים, היחסים בין מינים שונים המאכלסים את חברות הצומח בתנאים האקולוגיים השונים, התבססו על תכונות שהתפתחו לפני שהתגברה השפעת פעלו של האדם על המערכות האקולוגיות הטבעיות. השפעות שמתבטאות עתה בזיהום אויר

בכימיקלים רעילים לצומח ולחיי, זיהום קרקע ומים, פליטת גזים לאטמוספרה הכולאים חום וגורמים לעליה בטמ' האוויר ובעקבות זה שינוי מערכות אקלימיות גלובליות. כנראה ששינויי אקלים שנצפו עבור אזור אגן הים התיכון המזרחי גורמים כבר עתה לעליה בטמפרטורה ולירידה בכמות המשקעים, דבר שמשנה את מאזני המים בשטחים הפתוחים. רבים עוסקים בשאלה כיצד יגיבו מרכיבים שונים של מערכות אקולוגיות טבעיות או מלאכותיות (ייעור) לשינויים אלו.

משקל רב ניתן למחקרים שבדקו ובודקים את השפעת העלייה ביובשנות על ההתנהגות הפיזיולוגית של מיני צמחים המאפיינים את היער-והחורש הים-תיכוני, את יכולת ההשתקמות לאחר בצורות ושרפות. מחקר על העמידות ליובש של *אלון קוקציפרה*, *אלון אילקס ואורן ירושלים* שהם מינים מעמיקי שורש, *וערער אדום* מין שאינו מעמיק שורש הראה כי כוח תאחיזת המים בעלוה עם שחר, של המינים מעמיקי שורש, קשורה בכמות הגשמים, בעוד שכח תאחיזת המים בעלוה עם שחר בערער אדום מושפעת גם מרמת טמפרטורת האויר [23]. יעילות העברת מים בקסילם לעומת פגיעות הקסילם לחדירת אויר כתוצאה מניתוק עמודת המים בצינורות ההובלה בתנאי יובש, נבדקה בזריעים של *אורן ירושלים, א. שחור*, ארז אטלנטי, *ברוש מצוי* [48]. נימצא כי איבוד של 50% מיכולת הובלת המים חלה *באורן שחור* כבר בכוח תאחיזה של MPa 2.8, *בארז אטלנטי* בכוח תאחיזה של MPa 3.8, *בברוש מצוי* ו*אורן ירושלים* בכוח תאחיזה של- 4.8 ו- MPa 4.9 בהתאמה. מוליכות המים הייתה ביחס ישיר לקוטר הלומן (החלל הפנימי) של הטראכאידים (צינורות הובלת המים בקסילם) [48]. השואה בין *אורן ירושלים*, כמין חוסך מים ונימנע מיובש, *לאלון קוקציפרה ולאלון אילקס*, מינים "בזבזני מים" בתגובות של מנגנון הפוטוסינתזה שלהם לתנאי עקת מים,.העלתה, כי למרות האסטרטגיה של חיסכון במים על ידי *אורן ירושלים* שגורם לסגירת פיוניות והפסקת ההטמעה כבר במתח מים נמוך יחסית, מין זה הראה יעילות פוטו-כימית גבוה יותר ופחות עכבות במנגנון הפוטוסינטטי מאשר בשני מיני האלון [24, 25]. קצב זרימת המים בצינורות ההובלה נימדד *באורן ירושלים*, *אלון קוקציפרה*, *אלת המסטיק*, *אריקה מולטיפלורה*, *וסטיפה טנאקיסימה* הגדלים על פני שני מדרונות מנוגדים צפון ודרום, באזור יובשני בספרד. החוקרים סיכמו כי *אורן ירושלים*, אלת המסטיק *ואריקה מולטיפלורה* הם מינים בעלי מנגנונים לשם חיסכון במים בעוד *שאלון קוקציפרה וסטיפה* הם בעלי מנגנונים "לבזבוז מים" [36].

נשאלה השאלה מה קובע את השפע היחסי בבתי הגידול השונים במרחבי האזור הים תיכוני בספרד של שני מינים האחד, *אורן ירושלים* מין שאינו סובל הצללה, השני *אלון אילקס* מין עמיד לצל. תוצאות מחקר שבדק את השפעת תנאי הסביבה על השפע היחסי של שני המינים הנ"ל קבע כי הקיימות של אוכלוסיות *אורן ירושלים* ניתנת להסבר בשני דרכים בלתי תלויות: האחד על ידי מודל של תמורות שבין תחרות להתפשטות באזורים הומוגניים, והשני על ידי מודל של תמורות שבין עמידות ליובש ועמידות לצל באזורים הטרוגניים עם מיעוט הפרעות. שני המנגנונים האלו משלימים האחד את השני כדי לשמור על שטחים של המין האחד והשני לאורך מפל של יובשנות והפרעות [126].

ספרות, מקור הציטוט

1. אלפרט פ., קריצ'אק ש., אוסטינסקי א., דיין מ. וחיים ד., 2006. הקצנה באקלים ישראל. *גלילאו*, חוברת אוקטובר, עמ' 53-46.

2. גולדרינג י., 1977. התחדשות הצומח הטבעי ביערות אורן נטועים. עבודת גמר לתואר מוסמך, המחלקה לבוטניקה, האוניברסיטה העברית בירושלים.

3. דופור-דרור ז-מ., 2008. ניתוח מאפייני אוכלוסיות אלון מצוי ביערות אורנים באזור המרכז - בחינת תפקידן ביצירת יער בר-קיימא. דו"ח מסכם למחקר 90-7-125-04, הוגש לאגף הייעור של הקרן הקיימת לישראל.

4. זמסקי א., 1970. השפעת תנאי מיקרואקלים על יצירת ביבי שרף והפרשת שרף באורן ירושלים. *ליערן* **20** (2-1), עמ' 18-7.

5. זמסקי א., 1972. כמויות השרף הנפרש מהביבים הורטיקליים והביבים הראדיאליים של אורן ירודלים. *ליערן* 22 (3), עמ' 43-40.

6. טסלר נ., גרינבאום נ., ויטנברג ל., 2008. תהליכי השתקמות ארוכי טווח בתכונות הכימיות של הקרקע לאחר שרפות יער בכרמל, 2006-1983. *אופקים בגאוגרפיה* **71**, עמ' 137-118.

7. נאמן ג.,1996. התחדשות יער טבעי בכרמל לאחר שרפה והשפעת טיפולים על התהליך. *אקולוגיה וסביבה* **3** (2-1), עמ' 52-43.

8. ספיר ג., כרמל י., 2010. חיזוי התחדשות צומח אחרי שריפה ביערות אורן נטועים. *אקולוגיה וסביבה* חוברת **3**, עמ' 23-14.

9. ענבר מ., ויטנברג ל., תמיר מ., 1996. תהליכי נגר עלי וסחיפה- השפעת טיפולים ממשקיים לאחר שריפת יער. *אקולוגיה וסביבה* **3** (2-1), עמ' 42-25.

10. פז ש., 2004. מידבור באגן המיזרחי של הים התיכון: הסבר אקלימי להיווצרותו. בתוך: קליאוט, נ., (עורכת) עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה, כתב עת בין תחומי בנושאי סביבה ומשאבי טבע "צדק חברתי" כרך **ב'** (2), עמ' 17-7. הוצאת החוג לניהול משאבי טבע וסביבה, אוניברסיטת חיפה.

11. צ'ודנוף מ., 1958. תוצרת שרף אורן בישראל, תוצאות ראשונות. *ליערן* **8**, (4-3), עמ' 21-14.

12. צ'ודנוף מ., 1962. הקזת שרף מאורן ירושלים בישראל ע"י פציעת הקליפה וזרוז ע"י חומצה. *ליערן*, **12** (3), עמ' 109-105.

13. רויטנברג ד., ונאמן ג., 2000. בנק הזרעים בצמרת עצי אורן ירושלים כמפתח להתחדשות היער לאחר שריפה. *אקולוגיה וסביבה* **6**(1), עמ' 52-43.

14. רייזמן-ברמן א., בן-יאיר ש., בוקן ב., 2010. יער או פער? התבססות האלון המצוי ביערות ישראל. *אקולוגיה וסביבה* **1**, עמ' 46-38.

15. שילר, ג., 1977. יחסי גומלין שבין התפתחות אורן ירושלים לבין תנאי הסביבה. *ליערן* **27** (4-1), עמ' 23-13.

16. שילר ג., 1978. השפעת גורמי הסביבה על ההתחדשות הטבעית של יער אורן ירושלים. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, אוניבקסיטת תל-אביב,

17. שילר ג., 2003. אוזון ואורן ירושלים. יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה **4**, עמ' 66-60.

18. Adams H. D., Guardiola-Claramonte M., Barrron-Gafford G. A., Camilo-Villegar J., Breshears D. D., Zou C. B., Troch P. A. and Huxman T. E., 2009. Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *PNAS* **106**, 7063-7066.

19. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger Th., Rigling A., Breshears D.D., Hogg T.T., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J-H., Allard G., Running S.W., Semmerci A. and Cobb N., 2009. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risksof forests. For. Ecol. Manage. Doi:10.1016/j.foreco.2009.09.001.

20. Alvarez A., Gracia M., Vayreda J., Retana J., 2012. Patterns of fuel types and crown fire potential in Pinus halepensis forests in the western Mediterranean Basin. *For. Ecol. Manage*. **270**, 282-290.

21. Atzmon N., Moshe Y. and Schiller G., 2004. Ecophysiological response to sever drought in *Pinus halepensis* Mill. trees of two provenances. *Plant ecology* **171**, 15-22.

22. Baradat Ph., Michelozzi R., Tognetti R., Khouja M. L. and Kjaldi A., 1995. Geographical variation in the terpene composition of *Pinus halepensis* Mill. In: Baradat Ph., Adams W. T. and Mueller-Starck G. (eds), Population genetics and Genetic Conservation of Forest Trees. SPB Academic Publishing, Amsterdam, the Netherlands, pp 141-158.

23. Bariteau M., Huc R., Vendramin G. G., (Coordinators), 2000. Mediterranean Pinus and Cedrus (MPC): Adaptation and selection of Mediterranean Pinus and Cedrus for sustainable afforestation of marginal lands. Commission of the European Communities, Directorat General for Agriculture, DGVI FII 3, Contract FAIR CT95-0097.

24. Baquedano F. J., Castillo F. J., 2006. Comparative echophysiological effects of drought on seedlings of the Mediterranean water-saver *Pinus halepemsis* and water-spenders *Quercus coccifera* and *Quercus ilex*. *Trees* **20**, 689-700.

25. Baquedano F. J., Castillo F. J., 2007. Drought tolerance in Mediterranean species *Quercus coccifera, Quercus ilex, Pinus halepensis* and *Juniperus phonicea*. *Photosynthetica* **45**, 229-238.

26. Bigler C., Braker O. U., Bugmann H., Dobbertin M. And Rigling A., 2006. Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* **9**, 330-343.

27. Borghetti M., Cinnirella S., Magnani F., Saracino A., 1998. Impact of long-term drought on xylem embolism and growth in *Pinus halepensis* Mill. *Trees* **12**, 187-195.

28. Botella L., Santamaria O., Diez J.J., 2010. Fungi associated with the decline of *Pinus halepensis* in Spain. *Fungal Diversity* **40**, 1-11.

29. Botella L. and Diez J.J., 2011. Phylogenetic diversity of fungal endophytes in Spanish stands of *Pinus halepensis*. *Fungal Diversity* **47**, 9-18.

30. Breshears D.D., Myer, O.B., Meyer C.W., Barnes, F.J., Zou, C., Allen, F.D., McDowell, N.G. and Pockman, W.T., 2009. Tree die-off in response to global change-type drought: mortality insights from a decade of plant water potential measurements. Front. Ecol. Environ. 7, doi: 10.1890/080016.

31. Broncano M. J., Retana J. and Rodrigo A., 2005. Predicting the recovery of Pinus halepensis and *Quercus ilex* forests after a large wild fire in northern Spain. *Plant Ecol*. **180**, 47-56

32. Bucci G., Anzidei M., Madaghiele A. And Vendramin G. G., 1998. Detection of haplotypic variation and natural hybridization in *halepensis*-complex pine, species using chloroplast simple sequence repeat (SSR) markers. *Molecular Ecology* **7**, 1633-1643.

33. Calamassi R., Paoletti E., Strati S., 2001a. Frost hardening and resistance in three Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) provenances. Israel J. Plant Sci. **49** (3), 179-186.

34. Calamassi R., Rocca G. D., Falusi M., Paoletti E. and Strati S., 2001b. Resistance to water stress in seedlings of eight European provenances of *Pinus halepensis* Mill. Ann. *For. Sci*. **58**, 663-672.

35. Chambel M. R., Climent J., Alia R., 2007. Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two watering regimes. Ann. For. Sci., **64**, 87-97.

36. Chirino E., Bellot J., Sanchez J. R., 2001. Daily sap flow rate as an indicatore of drought avoidance mechanisms in five Mediterranean perennial species in semi-arid southeastern Spain. *Trees* **25**, 593-606.

37. Climent J., Prada M. A., Calama R., Chambel M[a] R., Sánchez de Ron, D. and Alía R., 2008. To grow or to seed: Ecotypic variation in reproductive allocation and cone production by young female Aleppo pine (*Pinus halepensis*, Pinaceae). American J. Bot**. 95**: 833-842.

38. Daskalakou E. N., and Thanos C. A., 2010. Post fire seedling dynamics and performance in *Pinus halepensis* Mill. populations. *Acta Oecologia* **36**, 446-453.

39 De las Heras J., Martinez-Sanchez J. J., Gonzalez-Ochoa A. I., Ferrandis P., Herranz J. M., 2002. Establishment of *Pinus halepensis* Mill. samplings following fire: effects of competition with shrub species. *Acta Ecol***. 23**, 91-97.

40. De las Heras J., Gonzáles-Ochoa A., López-Serrano F., Simarro M. E., 2004. Effects of silviculture treatments on vegetation after fire in Pinus halepensis Mill. woodlands (SE Spain). *Ann. For. Sci*., **61**, 661-667.

41. De las Heras J., Moya D., López-Serrano F., Condés S., 2004. Reproduction of post-fire *Pinus halepensis* Mill. stands six years after silvicultural treatments. *Ann. For. Sci*., **64**, 59-66.

42. De Luis M., Novak K., Raventos J., Gricar J., 2011. Cambial activity, wood formation and sampling survival of *Pinus halepensis* exposed to different irrigation regimes. For. Ecol. Manage. **262**, 1630-1638.

43. Eshel A., Hening-Sever N. and Ne"eman G., 2000. Spatial variation of seedling distribution in an east Mediterranean pine woodland at the beginning of post-fire succession. *Plant Ecology* **148**, 175-182.

44. Esteban L. G., Martin J. A., de Palacios, P., Fernández F. G., López R., 2010. Adaptive anatomy of *Pinus halepensis* trees from different Mediterranean environments in Spain. Trees **24**: 19-30.

45. Fady B., 2012. Biogeography of neutral genes and recent evolutionary history of pines in the Mediterranean Basin. *Ann. For. Sci.* **69**, 421-428.

46. Fady B. and Conord F., 2010. Macroecological patterns of species and genetic diversity in vascular plants of the Mediterranean basin. *Diversity and Distribution* **16**, 53-64.

47. Fernandez C., Voiriot S., Mévy, J-P., Vila B., Ormeño E., Dupouyet S., Bousquet-Mélou A., 2008. Regeneration failure of *Pius halepemsis* Mill.: The role of autotoxicity and some abiotic environmental parameters. *For. Ecol. Manage*. **255**,: 2928-2936.

48. Froux F., Huc R., Ducrey M. and Dreyer E., 2002. Xylem hydraulic efficiency versus vulnerability in seedlings of four contrasting Mediterranean tree species (*Cedrus atlantica*, *Cupressus sempervirens*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*). *Ann. For. Sci*. **59**, 409-418.

49. Froux F., Ducrey M., Dreyer E., Huc R., 2005. Vulnerability to embolism differs in roots and shoots and among three Mediterranean conifers: consequences for stomatal regulation of water loss. Trees **19**, 137-144.

50. Gómez A., Vendramin G. G., González-martinez S. C. and Alia R., 2005. Genetic diversity and differentiation of two Mediterranean pines (*Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinaster* Ait.) along a latitudinal cline using chloroplast microsatellite. *Diversity and Distribution* **11**, 257-263.

51. Gomez-Aparicio L., Zavala M. A., Bonet F. J. and Zamora R., 2009. Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along a-biotic and biotic gradients. *Ecological Applications* **19**, 2124-2141

52. Gómez-Aparicio L., Garcia-valdes P., Ruiz-Benito P. and Zavala M. A., 2011. Disetangeling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change. *Global Change Biol.* **1**, 2400-2414.

53. Gonzalez-Ochoa A. I., Lopes-Serrano F. R., de les Heras J., 2004. Does post-fire management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*?. For. Ecol. Manage. **188**, 235-247.

54. Goubitz S., Werger M. J. A., and Ne'eman G., 2003. Germination response to fire-related factors of seeds from non-serotinous and serotinous cones. *Plant Ecol*. **169**, 195-204.

55. Goubitz S., Nathan R., Roitemberg R., Shmida A., and Ne'eman G., 2004. Canopy seed bank structure in relation to: fire, tree size and density. *Plant Ecol*. **173**, 191-201.

56. Grivet D., Sebastiani F., Gonzakez-Martinez S. C. and Vendramine G. G., 2009. Patterns of polymorphism resulting from long-range colonization in the Mediterranean conifer Aleppo pine. *New Phytologist* **184**, 1016-1028.

57. GrivetD., Sebastiani F., Alia R., Bataillon Th., Torre S., Zaba-Aguirre M., Vendramin G. G. and González-Martinez S. C., 2010. Molecular footprint of local adaptation in two Mediterranean conifers. *Mol. Biol. Evol*. **28** (1), 101-116

58. Grünwald C., Schiller G. and Conkle M.T. 1986. Isoenzyme variation among native stands and plantations of Aleppo pine in Israel. *Israel J Bot*. **35**, 161-174.

59. Grünzweig J.M., Lin T., Rotenberg E., Schmartz A. And Yakir D., 2003. Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology* **9**, 791-799.

60. Hening-Sever N., Eshel A. and Ne'man G., 1996. pH and osmotic potential of pine ash as post-fire germination inhibitors. *Physiol. Plant*. **96**, 71-76.

61. Hening-Sever N., Eshel A. and Ne'man G., 2000. Regulation of the germination of Aleppo pine (Pinus halepensis) by nitrate, ammonium, and gibberellin and its role in post-fire forest regeneration. *Physiol. Plant*. **108**, 390-397.

62. Hertig E. and Jacobeit J., 2008. Assessments of Mediterranean precipitation changes for the 21st century using statistical downscaling techniques. *Int. J. Climatol*., **28**, 1025-1045.

63. Inclan R., Gimeno B. S., Dizengremel P., Sanchez M., 2005. Compensation processes of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) to ozone and drought stress. *Environ. Pollut*. **137**, 517-524.

64. INCO-DC, 2001. Global, Physiological and Molecular Responses to Climatic Stresses of Three Mediterranean Conifers. International Cooperation with Developing Countries (1994-1998). Contract No. ERBIC 18CT 970-2000. Final Report.

65. IPCC, 2007. Climat change 2007: the physical science basis. In: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L.,

(Eds.), Contribution of working group 1 to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.

66. Izhaki I., Hening-Sever N., Ne'eman G., 2000. Soil seed banks in Mediterranean Aleppo pine forests: the effect of heat, cover and ash on seedling emergence. *J. Ecol*. **88**, 667-675.

67. Kazanis D. and Arianoutsou M., 2004. Long-term post-fire vegetation dynamics in Pinus *halepensis* forests of Central Greece: a functional approach. *Plant Ecology* **171**, 101-121.

68. Keeley J. E., Bond W. J., Bradstock R. A., Pausas J. G., Rundel P. W., 2012. Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management. Cambridge University Press, New York, Pp 515.

69. Klein T., Cohen S., and Yakir D., 2011. Hydraulic adjustment underlying drought resistance of *Pinus halepensis*. *Tree Physiol*. Doi: 10.1093/treephys/tpr047.

70. Klein T., di Matteo G., Rotenberg E., Cohen S., Yakir D., 2013. Tree Physiology **33**,

26-36.

71. Korol L., Shklar G. and Schiller G., 2001. Site influences on the genetic variation and structure of *Pinus halepensis* Mill. provenances. *Forest Genetics* **8**, 295-306

72. Lopez-Serrano F. R., De las Heras J., Gonzáles-Ochoa A. I., Garcia-Morote F. A., 2005. Effects of silvicultural treatments and seasonal patterns on foliar nutrients in young post-fire *Pinus halepensis* forest stands. *For. Ecol. Manage***. 210** (1-3), 321-336.

73. Maestre F. T., Cortina J., Bautista S., Bellot J.,2003. Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs in Mediterranean semi-arid afforestations *?. For. Ecol. Manage*. **176**, 147-160.

74. Maestre F. T., Cortina J., 2004. Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semi-arid Mediterranean areas. *For. Ecol. Manage*. **198**, 303-317.

75. van Mantgem Ph. J. and Stephenson N. L., 2007. Apparent climatically induced increase of tree mortality in a temperate forest. *Ecological Letters* **10**, 909-916.

76. van Mantgem Ph. J., Steohenson N.L., Byrne J.C., Daniels L.D., Franklin J.F., Fulé P.Z., Harmon M.E., Larson A.J., Smith J.M., Taylor A.H., Veblen T.T., 2009.

Widespread Increase of Tree Mortality Rates in Western United States. *Science* **323**, 521-524.

77. Martínez-Sánchez J. J., Ferrandis P., de las Heras J., Herranz J. M., 1999. Effect of burnt wood removal on the natural regeneration of Pinus halepensis after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain). *For. Ecol. Manage*. **123**, 1-10.

78. Maseyk K., Grünzweig J.M., Rotenberg E. And Yakir D., 2008a. Respiration acclimation contributes to high carbon-use efficiency in seasonally dry pine forest. *Global Change Biology* **14**, 1553-1547.

79. Maseyk K.S., Lin T., Rotenberg E., Grunzweig J.M., Schwartz A. And Yakir D., 2008b. Physioloy-phenology interactions in a productive semi-arid pine forest. *New Phytoligist*, doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02391.x

80. Mataix-Solera J., Arcenegui V., Tessler N., Zornoza R., Wittenberg L., Martinez C., Casekkes P., Pérez-Bejarano A., Malkinson D., Jordán M. M., 2012. Soil properties as key factors controlling water repellency in fire-affected areas: Evidences from burned sites in Spain and Israel. *Catena,* (doi: 10.101016/j.catena.2011.12.006)

81. Matziris D., 1997. Variation in growth, flowering and cone production in a clonal seed orchard of Aleppo pine grown in Greece. *Silvae Genetica* **46**, 224-228.

82. McDowell N., Pockman W.T., Allen C.D., Breshears D.D., Cobb N., Kolb Th., Plaut J., Sperry J., West A., Williams D.G., and Yepez E. A., 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* (doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x)

83. Melzack N.R., Schiller G. and Grunwald C.,1982. Seed size, germination and seedling growth in *Pinus halepensis* Mill. and their relation to see provenance in Israel., Agricultural Research Organization, Division of Forestry, Ilanoth, Leaflet No. **72**.

84. Melzack N.R., Grunwald C. and Schiller G., 1981. Morphological variation in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Israel. *Israel J. Bot***. 30**, 199-208.

85. Melzack R. N., Bravdo B. and Riov J., 1985. The effect of water stress on photosynthesis and related parameters in Pinus halepensis. *Physiol. Plant***. 64**, 295-300.

86. Mendel Z., 1984. Provenances as a factor in susceptibility of *Pinus halepensis* to Matsucoccus josephi (Homoptera: Margarodideae). *For. Ecol. Manage*. **9**, 259-266.

87. Mendel Z., Assael F., Saphir N., Zehavi A., Nestel D., Schiller G., 1997. Seedling mortality in regeneration of Aleppo pine following fire and attack by scale insect *Matsucoccus josephi. Wildland Fire* **7**(4), 327-334.

88. Michelozzi M., Loreto F., Colom R., Rossi F., Calamassi R., 2011. Drought responses in Aleppo pine seedlings from two wild provenances with different climatic features. *Photosynthetica* **49**, 564-572.

89. Mitsopoulos D and Dimitrakopoulos A., 2007. Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Ann. For. Sci*. **64**, 287-299.

90. Moreira F., Arianoutsou M., Corona P., De las Heras J. (Editors), 2012. Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. Springer, Pp 329.

91. Moya D., Espelta J. M., Verkaik I., López-Serrano F., De las Heras J., 2007. Tree density and site quality influences on *Pinus halepensis* Mill. reproductive characteristic after large fires. *Ann. For. Sci*. **64**, 649-656.

92. Moya D., Saracino A., Salvatore, R., Lovreglio R., de kes Heras J., 2008. Anatomic basis and insulation of serotinous cones in *Pinus halepensis* Mill. Trees **22**, 511-519.

93. Nahel I., 1962. Le pin D' Alep (*Pinus halepensis* Mill.): Etude taxonomique, phytogéographique, ecologique et sylvicol. Annales de l'Ecole National des Eaux et Forèt, Nancy **19**, 479-687.

94. Ne'eman G. and Izhaki I., 1998. Stability of pre-and post fire spatial structure of pine trees in Aleppo pine forest. *Ecography* **21**, 535-542.

95. Ne'eman G., Goubitz S., and Nathan R., 2004. Reproductive traits of Pinus halepensis in the light of fire-a critical review. *Plant Ecol*. **171**, 69-79.

96. Ne'eman G., Trabaud L., (Editors) 2000. Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Pub. Leiden, The Netherlands, 407 pp.

97. Nevo E., 1983. Population genetics and ecology: the interface. *In*: Bendall, D. S., ed. Evolution from molecules to men. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 223-272.

98. Nevo E., 1998. Molecular evolution and ecological stress at global, regional and local scales: the Israeli perspective. *J. Exp. Zool*. **282**, 95-119.

99. Oppenheimer H R., 1967. Mechanisms of drought resistance in conifers of the Mediterranean zone and in the arid West of the U.S.A. Part I: Physiological and anatomicl investigations. Final report on project No. A10-FS7, Grant No. FG-Is-119. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agriculture, Rehovot, Israel,

100. Osem Y, Yavlovich H, Zecharia N, Atzmon N, Moshe Y and Schiller G., 2013. Fire-free natural regeneration in water limited *Pinus halepensis* forests: a silvicultural approach. European J. of Forest Res. Doi 10.1007/s10342-013-0704-3.

101. Paolletti E., Dabti R. and Strati S., 2001. Pre- and post- inoculation water stress affects Sphaeropsis sapina canker length in Pinus halepensis seedlings. *For. Pathol*. **31**, 209-218.

102. Panetsos C. P., 1981. Monograph of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. Annales Forestales, Zagreb, 39-77.

103. Pausas J.G., Ouadah N., Ferran A., Gimeno T. and Vallejo R., 2003. Fire severity and seedling establishment in *Pinus halepensis* woodlands, eastern Iberian Peninsula. *Plant Ecol*. **169**, 205-213.

104. Pausas J. G., Ribeiro E., Vallejo R., 2004. Post-fire regeneration variabil;ity of Pinus halepensis in the eastern Iberian Peninsula. *For. Ecol. Manage*. **203**, 251-259.

105. Pausa J. G., Bladé C., Valdecantos A., Seva J. P., Fuentes D., Alloza J. A., Vilagrosa A., Bautista S., Cortina J. and Vallejo R., 2004. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice-a review. *Plant Ecol*. **171**, 209-220.

106. Salim K., Naydenov K. D., Benyounes H., Tremnay F., El Hafid., L.., Wahid N. and Osvaldo V., 2010. Genetic signals of ancient decline in Aleppo pine populations at the species' southwestern margins in the Mediterranean Basin. Hereditas **147**, 165-175.

107. Sanz-Pérez V., Castro-Diez P., Joffr, R., 2009. Seasonal carbonstorage and growth in Mediterranean tree seedlings under different water conditions. *Tree Physiol*. **29**, 1105-1116.

108. Sathyan P., Newton R. J., Loopstra C. A., 2005. Genes induced by WDS are differentially expressed in two populations of Aleppo pine (*Pinus halepensis*). *Tree Genetics & Genomes* **1**, 166-173.

109. Schiller G., Conkle M.T. and Grunwald C., 1986. Local differentiation among Mediterranean populations of Aleppo pine in their isozymes. *Silvae Genetica* **35**, 11-19.

110. Schiller G. and Grunwald C., 1986. Xylem resin monoterpene composition of *Pinus halepensis* Mill. in Israel. Israel J. Bot. **35**, 23-33.

111. Schiller G. and Grünwald C., 1987. Resin monoterpene in range-wide provenance trials of *Pinus halepensis* Mill. in Israel. *Silvae Genetica* **36**, 109-114..

112. Schiller G., Ne'eman G., Korol L., 1997. Post-fire vegetaion dynamics in a native Pinus halepensis forest on Mt. Carmel Israel. *Israel J. Plant Sci*. **45**, 297-308

113. Schiller G., 2000. Inter- and intra-specific genetic diversity of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus brutia* Ten. ***In***: Ne'eman, G., and Trabaud, L. (Editors), Ecology, Biogeography and Management of Mediterranean Pine Forest Ecosystems (*Pinus halepensis* and *Pinus brutia*), Backhuys Publishers-Wil, R. Peters, Amsterdam. 13-35 pp.

114. Schiller G. ,2003. "How green was my valley" Thirty years-anniversary of the disorder in the Sh'ar ha'gay forest. *Forest* **4**: 60-66.

115. Schiller G. and Atzmon N., 2009. Performance of Aleppo pine (Pinus halepensis) provenances grown at the edge of the Negev desert: A review. *Journal of Arid Environments 73,*1051-1057

116. Schwilk D. W. and Ackerly D. D., 2001. Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines. *Oikos* **94**, 326-336.

117. Spanos I., Raftoyannis Y., Goudelis G., Xanthopoulou, E., Samara Th. And Tsiontisis, A., 2005. Effects of postfire logging on soil and vegetation recovery in a *Pinus halepensis* Mill. forest in Greece. *Plant and Soil* **278**, 171-179.

118. Tapias P., Gil L., Fuentes-Utrilla P. and Pardos J. A., 2001. Canopy seed bank in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill. *P. pinaster* Ait. *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *J. Ecology* **89**, 629-638.

119. Tapias P., Climent J., Pardos J. A., and Gil L., 2004. Life history of Mediterranean pines. *Plant Ecol*. **171**, 53-68.

120. Tognetti R., Michelozzi M. and Giovannelli A., 1997. Geographical variation in water relations, hydraulic architecture and terpene composition of Aleppo pine seedlings from Italian provenances. *Tree Physiol*. **17**, 241-250.

121. Valavanidis A., Zymi M., Stathopoulon D., Georgion P., Ganotidis M., 2004. Monitoring of ozone pollution and the physiological activity of *Pinus halepensis* (Mill.) by electron paramagnetic resonance and other parameters. *Trees* **18**, 630-638.

122. Verkaik I. and Espelta J. M., 2008. Post-fire regeneration thinning, cone production, serotiny and regeneration age in *Pinus halepensis*. *For. Eco. Manage*. **231** (1-3), 155-163.

123. Vicente-Serrano S. M., Lasanta T., Gracia C., 2010. Aridification determines changes in forest growth in Pinus halepensis forests under semiarid Mediterranean climate condotions. *Agri. For. Meteo*. **150**, 614-628.

124. Zavala M. A., Espelta J. M., and Retana J., 2000. Constrains and Trade-offs in Mediterranean plant communities: The case of Holm oak and Aleppo pine forests. *The Botanical Rev*. **66**, 120-149.

125. Zavala A. M., Espelta J. M., Caspersen J. and Retana J., 2011. Interspecific differences in saplings performance with respect to light and aridity gradients in Mediterranean pine-oak forests: implications for species coexistence. *Can. J. For. Res*. **41**, 1432-1444.

126. Zavala A. M. and Zea E., 2004. Mechnisms maintaining biodiversity in Mediterranean pine-oak forests: insights from a spatial simulation model. *Plant Ecol*. **171**, 197-207.

2.3 אורן ברוטיה (*Pinus brutia* Ten.subsp. brutia)

(הקדמה, אקולוגיה, המגוון הגנטי, יעראות)

הקדמה

בשלהי שנות השישים של המאה העשרים גברה ההתענינות בכלל המחטניים הים-תיכוניים ומביניהם באורן ברוטיה. מין זה, שגדל בעיקר באזור הים-תיכוני של טורקיה [16], מספק שירותים אקולוגיים, חברתיים וכלכליים בהיקפים נירחביים מאוד, תופעה אשר יצרה דחף לחקור את תכונותיו. אחד הפרסומים הראשונים על התפוצה, האקולוגיה והמגוון גנטי באורן זה התפרסם כבר בשנת 1974 על ידי Arbez, M, [69]. ידע ממחקרים רבים שנעשו עד סוף שנות התשעים של המאה העשרים נאסף ופורסם בספר [52]. ספר נוסף שבו רוכז מידע רב על הביולוגיה, הגידול והיעראות של אורן ברוטיה פורסם בשנת 2007 על ידי פרופ' Boydak מטורקיה תחת הכותרת "Biology and Silviculture of Turkish Red pine (*Pinus brutia* Ten.)" [12]. על כן, רובו של המידע שיפורט בפרק זה הוא מידע ממחקרים שנעשו מאז שנת 1995 ועד עתה, שברובם הם מחקרים גנטיים. מחקרים בתחומים של אקו-פיזיולוגיה בדקו בעיקר את היחס שבין הרום מעל פני הים, עמידות לקור והתפתחות שתילים. למרות שבתחום האראל של אורן ברוטיה יש אזורים עם מיעוט גשמים (400>מ״מ), נמצאו רק מעט הפניות למאמרים בתחום של השפעת יובש על צמיחה והתפתחות.

אורן ברוטיה נחשב מין ויקרי לאורן ירושלים (מין ויקרי - מין שמחליף מין אחר כתוצאה משינוי כל שהוא בתנאי הסביבה). בעבר, עד שנות החמישים של המאה העשרים, אורן ברוטיה נחשב כזן של אורן ירושלים (variety) או כתת-מין (subspecies) (*Pinus halepensis* var. *brutia*) שנבדל במספר תכונות מורפולוגיות כגון: צבע הקליפה שהוא יותר אדמדם, אורך ועובי המחטים, צורת האצטרובלים ואופן חיבורם לענף. מחקרים שבחנו את הרכב השרף, שנחשב כסמן גנטי (הרכב השרף = היחסים הכמותיים בין המרכיבים הכימיים הרבים של השרף) במחטים, בקליפה ואו בקסילם של מיני האורן הרבים בעולם וביניהם גם אורן ברוטיה ואורן ירושלים, הראו כי הרכבו ותכונותיו הפיזיקאליות (כיוון ההטיה ומידת ההטיה של אור מקוטב) באורן ברוטיה שונה עד כדי כך מזה שבאורן ירושלים, שאין אפשרות גנטית-ביוכימית ששתי צורות כמוטיפיות אלו

משתייכות למין אחד הנחלק לשני תת מינים או זנים וכדומה [46, 47, 48]. אך היות ושני המינים משתייכים לקבוצת האורנים הים-תיכוניים והם אף מכליאים, קיים עד היום ערפול מסוים בנוגע להגדרתם והיחסים הפילוגנטיים ביניהם. אורן ברוטיה, כאחד ממיני האורן הים-תיכוניים שעמיד יחסית ליובש [32, 55, 64] עורר ענין רב באזורי אקלים הומולוגיים בעולם, לשם שיקום שטחי יער הרוסים וכדי לגדל גם תוצרת עץ מבוקשת. אזורי הנטיעה העיקריים שמחוץ לאראל שלו הם: האזור הים תיכוני באוסטרליה [56, 65], ניו זילנד, דרום אפריקה, דרום אמריקה וכמובן באזורים שונים סביב אגן הים התיכון.

אורן ברוטיה נשתל לראשונה בארץ בקרית ענבים בשנת 1920, במטרה להעשיר את מגוון המינים שמאפשר לגדל יער רם (=יער גבה קומה); המשך החדרתו ליערות בארץ נעשה בשנת 1926/7 ביער קרית ענבים וביער הרצל שליד בן-שמן [1]. השתילים גודלו במשתלת משק הפועלות בירושלים (בהנהגת רחל ינאית) מזרעים שיובאו מקפריסין. רישומי מחלקת זרעים ומשתלות של אגף הייעור המנדטורי וממשלת ישראל ושל אגף הייעור של הקק״ל מראים כי זרעי אורן ברוטיה יובאו מאזורים שונים שבתחום האראל שלו ובהם אקולוגיות שונות כגון: קפריסין, כרתים, צפון מזרח יון (האי תסוס?) ומשנות השמונים של המאה העשרים ואילך מאזורים בטורקיה ששונים בטופוגרפיה, באקלים ובגובה מעל פני הים, ובמידת ההשפעה של מעשי האדם בתקופות היסטוריות (סלקציה דיסגנית). כלומר, גדלים עתה בארץ על פני שטח של מעל ל-60.000 דונם עצי אורן ברוטיה ממקורות שונים מאוד אחד מהשני, דבר שניכר במופע (הפנוטיפ) של העצים שיש ביניהם הבדלים ניכרים.

אקולוגיה

מהמחקרים המועטים יחסית שנעשו במקומות שונים בחו״ל לגבי עמידות מין זה ליובש, אין אפשרות להסיק מהם מסקנות על התנהגות אורן ברוטיה בהשפעת התנאים הקשים יותר בארץ. למרות שמין זה, שאינו מין אנדמי בארץ, הוא כיום המין המחטני השני בחשיבותו בייעור בארץ, נעשה כאן רק מחקר מועט ביותר כדי לבדוק את מידת התאמתם של מקורות זרעים שונים (Provenances) מתחום האראל שלו לתנאים האקולוגיים היובשניים יותר בארץ.

סקר ראשוני שבדק את השפעת התנאים האקולוגיים על התפתחות הנטיעות שנעשה ביערות מנשה והכרמל [2] קבע, כי אופי הסלע, עומק הקרקע, המפנה וזמינות המים הם הגורמים המשפיעים ביותר על גדילת העצים. תוצאות אלו היוו זרז לביצוע מחקר מקיף

ומעמיק יותר שנעשה ביערות שניטעו בשנות השלושים של המאה העשרים בהרי מנשה, מגידו, דרום מזרח הכרמל ובאילנות [3]. המחקר מסכם את הנושאים העיקריים מהבחינה היערית כדלקמן: תחום הגידול האפשרי של אורן ברוטיה בארץ הוא באזור האקלים הים-תיכוני שמוגבל על ידי האיזוהיטה של 400 מ״מ גשם בשנה. קרינה חזקה מעקבת את הגידול ולכן נטיעה במפנים שכיוונם הוא בין מזרח לדרום מערב אינה רצויה. רצוי להימנע מנטיעה במדרונות תלולים. אורן ברוטיה מתפתח היטב על גבי סלע אב גירי, דולומיט ואו קרטון רצוי לא לטעת אותו על גבי נארי היוצר שכבות אטומות שאינן מאפשרות חדירת שורשים כאשר עומק קרקע קטן מ- 0.60 מ׳. בצעירותו אורן ברוטיה סובל מתחרות מצד העשביה על מים ואור.

המחקר של חת [3] הוכיח כי זמינות המים שמושפעת מסוג הקרקע ועומקה, מסוג סלע המצע ומידת הסידוק שלו, מעוצמת הקרינה וכן מצפיפות העומד, יש השפעה רבה על גדילת מין זה. זאת במיוחד בתנאי האקלים הים תיכוניים בארץ שהם יותר יובשניים מאשר ברוב בתי הגידול הטבעיים שלו. מחקר נוסף שנעשה בתחומי רמת הנדיב שבדרום הכרמל הראה כי לסוג הקרקע ולעומקה, למסלע ולפנות וגם לצפיפות העומד יש השפעה רבה על התפתחות עצי אורן ברוטיה [5].

מידת העמידות ליובש של אורנים ים תיכוניים וביניהם אורן ברוטיה נחקרה על ידי אופנהימר [54]. במחקרו הוא הצביעה על כך שאורן ברוטיה עמיד פחות ליובש מאורן ירושלים ואורן הצנובר. דבר שלטענתו תואם את האקלים הלח יותר בתחום תפוצתו בפינה הצפון מזרחית של אגן הים התיכון. אך אין לשכוח כי המחקרים האקולוגיים בארץ נעשו ביערות שהזרעים עבורם בוודאות יובאו לארץ ממקורות שונים (Provenance, אקוטיפים) שאינם ידועים ומשתנים משנה לשנה [62].

במסגרת המחקר על מחטניים ים-תיכוניים שרוכז על ידי ה-FAO [50], נאספו זרעים מעומדים טבעיים מרחבי האראל של אורן ברוטיה. הזרעים חולקו לכל מי שחפץ להשתתף במחקרים על מין זה. קבוצות מחקר שונות בדקו: את קצב ועוצמת הנביטה, התפתחות נבטים ושתילים, הבדלים מורפולוגיים ואנטומיים בשלבי התפתחות שונים במחקרים למיניהם מצאו כי קיימים הבדלים משמעותיים בין מקורות הזרעים (Provenances, Ecotypes) של אורן ברוטיה הגדלים בחלקות ניסוי אחידות במהלך היומי של פוטנציאל המים ובגרעון לרוויה במחטים ובתכונות נוספות שנבדקו [10, 13 , 14, 21, 25, 71]. מתוצאות המחקר של ויינשטיין [72, 73] ברור כי אקוטיפים שונים מגיבים במידה שונה

לתנאי הסביבה ולא רק בארץ. לאחרונה במסגרת מחקרים אקולוגיים-יערניים של הקהילה האירופאית הוכח קיומם של הבדלים ניכרים בין מקורות זרעים שונים בהתפתחות העצים בתנאי בית גידול אחידים וגם בתנאים אקולוגיים שונים [8, 28].

המגוון הגנטי

אורן ברוטיה הוא מין שעל פי הידע וההבנה הגנטית הנוכחית [17, 52] מורכב מארבע תתי-מין ולא כפי שהיה בעבר, שהם הוגדרו כמינים ניפרדים [48] והם:

1. <u>אורן ברוטיה, תת מין ברוטיה</u>

(*Pinus brutia* Ten., subsp. *Brutia*, Nahel 1983).

2. <u>אורן ברוטיה תת מין אלדריקה</u>

(*Pinus brutia* Ten., subsp. *eldarica* (Medw.) Nahel, 1983). תת מין זה גדל באופן טבעי בקווקז, הוא נחשב כעמיד מאוד ליובש. הוא נישתל באפגניסטן, פקיסטן ואירן.

3. <u>אורן ברוטיה תת מין פיטיוסה</u>

(*Pinus brutia* Ten., subsp. *phityusa* (Stevenson) Nahel, 1983). תת מין זה גדל באזור שבעת העתיקה כונה פיטיום ועתה מדינת גיאורגיה שלחופי הים השחור.

4. <u>אורן ברוטיה תת מין סטנקוויצי</u>

(*Pinus brutia* Ten., subsp. stankewizcii (Sukaezew) Nahel, 1983). תת מין זה גדל בחצי האי קרים שלחופי הים השחור.

בתחום האראל של *Pinus brutia* subsp. *brutia* נתגלו במשך השנים ארבע צורות פנוטיפיות הנבדלות באופן מובהק במבנה של כותרת העץ. על פי Boydak [12] ארבעת הזנים הם:

1. *P. brutia* Ten., var. agrophiotti, Papa. עצים עם כותרות עגולות ונוף צפוף שמזכיר את אורן הצנובר.
2. *Pinus brutia* Ten., var. pyramidalis, Selik. עצים עם כותרת צפופה ומאורכת שדומה למבנה הכותרת של ברוש מצוי מהזן הצריפי.
3. *Pinus brutia* Ten. var, densifolia, Yalt and Boydak. עצים עם כותרת רגילה אך הענפים נושאים צבירי מחטים.
4. *Pinus brutia* Ten. var pendulifolia Frankis. אשר תיאורו לא ברור לגמרי.

כתוצאה מברירה טבעית, המופעלת על ידי התנאים האקולוגיים השונים בבתי הגידול הטבעיים שבתחום האראל (תחום התפוצה הטבעי) של המין, נוצרה שונות גנטית בין ובתוך בתי הגידול השונים, המתבטאת בהבדלים מורפולוגיים, אנטומיים ופיזיולוגיים והבדלים

במבנה השרף ועוד; הספרות המדעית שהתפרסמה בנושאים אלו עד שנת 1994 סוכמה על ידי Schiller [63].

החשיבות ההולכת וגוברת של מין זה מהבחינה של שירותים אקולוגיים וחברתיים ומהבחינה הכלכלית כלומר, יצור עצה, יצרה דרישה להגדרה נאותה של ההבדלים בין מקורות הזרעים השונים (Provenances) מבחינה גנטית, מהבחינה של אופי הצמיחה, בעמידות ליובש, אך בעיקר עמידות לטמפרטורות נמוכות, שתאפשר לתחום ביתר דיוק את אזורי ההפצה הגיאוגרפים של זרעים שנאספים מעומדים ייחודיים ביערות ובמטעי אם לזרעים (Seed dispersal zones). דרישה זו יצרה פרץ של מחקרים המתארים את: המגוון הגנטי הכללי של המין, את הבדלים במגוון הגנטי והמבנה שלו בהשפעת הגובה מעל פני הים (בהקשר של טמפרטורת האוויר) ובהשפעת מרחקים אופקיים [18, 26, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 37, 38, 39, 41, 43].

לאחרונה הופנתה תשומת הלב לאפשרות שמעשי אדם דוגמת שרפות יער או ניצול יתר של עומדים עשויים לגרום לשינויים בלתי רצויים במגוון הגנטי של האוכלוסיות המתחדשות של אורן ברוטיה על כל המשתמע מכך. במחקר שנעשה ביערות של מין זה באיים היווניים בהם אירועי שרפות חוזרים על עצמם בתדירות של עשרות רבות בשנים נימצא, כי לא חלו שינויים בין דוריים במגוון הגנטי ובמבנה שלו. אך נמצאו שינויים במספר אללים נדירים וגם נמצאו עצי מכלוא בין אורן ירושלים ואורן ברוטיה בדור שהתפתח לאחר השריפה [7]. בדיקות של המגוון הגנטי בעומדים בלתי פגועים ובעומדים שכנים שנפגעו על ידי כריתות יתר, הראו כי בעומדים הפגועים קיימת עליה של-6% בכמות הגנים ההומוזיגוטיים לעומת כמותם בעומדים שלא נפגעו. תופעה זו מצביע על עליה ברמת ההפריה העצמית באוכלוסיה הפגועה [43].

מכלואים בין אורן ירושלים ואורן ברוטיה זוהו לראשונה בעזרת הבדלים מורפולוגיים באזור המפגש הגיאוגרפי של שני מינים אלו בצפון יוון [60], ומאוחר יותר בתחום המפגש של שני מינים אלו באזורים אחרים ביון [57, 59]. קיומם של מכלואים טבעיים בין שני מינים אלו שבא לידי ביטוי באון הכלאים, בעיקר בקצב הצמיחה [4] , היווה השראה למחקרים גנטיים, פיזיולוגים ויערניים רבים ומחקרים על האפשרויות להכלאות מכוונות [9, 51]. במחקרים אלו ואחרים נימצא כי הכלאות בין שני המינים מייצרות זרעים חיוניים רק כאשר אורן ירושלים מאביק את אורן ברוטיה, אך לא להפך (Unilateral

(incompatibility, תופעה המוכיחה את קיומו של מחסום גנטי מסוים בין שני המינים. היה עניין רב לזהות את ההבדלים בין עצי המכלוא להוריהם ואת השונות בקרב עצי המכלוא בעזרת המופע הפנוטיפי והמורפולוגיה של אצטרובלים, מחטים, קליפה, ובעזרת הרכב השרף והמבנה הגנטי [22, 23, 40, 45, 57, 58, 61].

בתחום התפוצה הטבעית של אורן ברוטיה בטורקיה מתקיימות שתי אוכלוסיות של אורן ירושלים האחת ליד העיר אדנה והשנייה באזור מוגלה דרום מערב טורקיה. נימצא ששתי האוכלוסיות נבדלות מאוד האחת מהשנייה. האוכלוסייה שליד אדנה מכילה סמנים גנטיים של אורן ברוטיה כתוצאה מהכלאות, בעוד שהאוכלוסייה שליד מוגלה לא הכליאה עם אורן ברוטיה, זאת כנראה כתוצאה מתנאי האקלים המקומיים הגורמים להפרדה במועדי הפריחה של שני המינים [70].

יעראות

היות ואורן ברוטיה אינו גדל באופן טבעי בארץ הרי שיש לבחון היטב את התפתחות העצים שמקורם בתנאים אקולוגיים שונים בתחום האראל של המין, כדי לברור מקורות זרעים שהעצים מהם יגדלו היטב בתנאים האקולוגיים בישראל. על כן נשתלו בחלקות ניסוי שתילים שמקור זרעיהם ב-14 יערות באזורים גיאוגרפיים ואקולוגיים שונים בתחום התפוצה הטבעי של אורן ברוטיה. בדיקות של התפתחות ושרידות העצים בחלקות אלו הראה כי קיים קשר הדוק ומובהק בין התנאים האקולוגים –שהעיקרי בהם הוא הגובה מעל פני הים במקור הזרעים- לבין התפתחות העצים בחלקות הניסוי בארץ [72, 73]. בהתאם לממצאים אלו מומלץ להשתמש בזרעים שנאספו בטורקיה בחלקות יער מובחרות בגבהים של עד 250 מ׳ לאורך חופי הים התיכון. אך מצד שני אזורים אלו היו נתונים מאז ימי קדם לניצול יתר וברירה דיס-גנית בגלל נגישותם הרבה לאוכלוסיה, דבר אשר גרם לירידה ברמת ההטרוזיגוטיות (המגוון הגנטי) של העצים [43]. אך על פי המחקר, המגוון הגנטי (ההטרוזיגוטיות) רב יותר ביערות הגדלים בגובה של 350-600 מ׳ מעל פני הים, מאשר ביערות הגדלים מתחת לגובה של 300 מ׳ מעל לפני הים [37]. מגוון גנטי רחב יותר מאפשר ברירה לשם התאמה טובה יותר לאיכות בית הגידול המיועד להינטע. אלא שעתה, לאחר כ-90 שנה של יבוא זרעים וגם איסוף מקומי ביערות ותיקים לשם ייעור, רצוי לברור עצי-זרעים בכלל היערות השונים ולהקים מהם מספר מטעי אם לזרעים, בהם העצים יעברו ברירה ומהנותרים יאספו זרעים לשם נטיעת יערות חדשים.

בדומה לאורן ירושלים, גם אורן ברוטיה מתחדש מזרעים לאחר שריפה ותהליכי הסוקצסיה מובילים את השטחים השרופים להשתקמות חברת הצומח וחזרתה עם הזמן למגוון כפי שהיה לפני השריפה [66, 67, 68, 69]. בין עם ההתחדשות היא לאחר שריפה או תוצאה מפעילות יעראית מכוונת לשם חידוש היער, הגורם שמשפיעה במיוחד על איכות וכמות ההתחדשות היא התחרות עם העשבייה. בדומה לבעיות בהתחדשות טבעית של אורן ירושלים כן הם הבעיות בהתחדשות של אורן ברוטיה, תוצאות התחרות על אור ומים והיחסים ביניהם קובעים את הצלחת ההתחדשות. הוכח במחקרים שונים כי התפתחות נבטים וזריעים שמקורם ביערות באזורים יובשניים טובה מאשר נבטים וזריעים שמקורם ביערות באזורים לחים כי הם עמידים יותר בתחרות על המים [10, 11, 12, 20].

ההתנהלות היעראית ביערות אורן ברוטיה בטורקיה סוכמה בשני מאמרים ובספר רחב הקף [11, 12, 23] לכן הדיון בנושא זה לא יורחב בפרק זה והמעוניינים מופנים לספרות המצוטטת שהיא בשפה האנגלית.

ספרות, מקור הציטוט

1. ויץ י., 1970. היער והייעור בישראל. הוצאת מסדה, רמת גן
2. חת ד., 1965. הגורמים המכריעים בהתפתחות עצי אורן והערכתם בעזרת כרטיסי ניקוב. ליערן **15**, עמ' 101-113.
3. חת, ד., 1968. גורמים אקולוגיים מכריעים ביעור אורן ברוטיה. חיבור לקבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית בירושלים 145 עמודים.
4. חת, ד., 1990. התפתחות מכלואי אורן ירושלים X אורן ברוטיה ביער גזר. *השדה* **73**, עמ' 465-467.
5. שילר, ג., פרבולוצקי, א., שוורץ-צחור, ר., יונתן, ר., אטינגר, ע., 2001. יער נטע אדם ברמת הנדיב: תוצאות והשלכות. *אקולוגיה וסביבה* **6**, חוברת 4-3, עמ' 222-2218.

6. Arbez M., 1974. Distribution, ecology and variation of Pinus brutia in Turkey. FAO *Forest Gen. Res. Info*. No. **3**, 21-33
7. Aravanopoulos F. A., Panetsos K.P., Skaltsoyiannes A., 2004. Genetic structure of *Pinus brutia* stands exposed to wild fire. *Plant Ecology* **171**, 175-183.
8. Bariteau M., Huc R., Vendramin G. G., (Coordinators), 2000. Mediterranean Pinus and Cedrus (MPC): Adaptation and selection of Mediterranean Pinus and Cedrus for sustainable afforestation of marginal lands. Commission of the European Communities, Directorat General for Agriculture, DGVI FII 3, Contract FAIR CT95-0097.

9. Bassiotis, C., 1972. Crossability of the Mediterranean pine-species of the sub-genus Diploxilon Koehen. *Ann. Agr. And For. Facukty Thessaloniki* 15, 223-285.
10. Boydak M., Dirik H., Tilki F., Calikoglu M., 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. *Tutk. J. Agric. Res*. **27**, 91-97.
11. Boydak M., 2004. Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten. –a review. *Plant Ecology* **171**, 153-163.
12. Boydak, M., 2007. Biology and Silviculture of Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.). Ankara, Turkey.
13. Calamassi R., Falusi M. and Tocci A., 1980. Variazione geografica e resistenza a stressidrici in semi di *Pinus halepensis* Mill. *Pinus brutia* Ten. and *Pinus eldarica* Medw. *Annali dell' Istituto Sperimentale per la Selvicoltura* **XI**, 195-230.
14. Calamassi R., Falusi M. and Mugnai L., 1987. Shoot morphology and growth pattern in seedlings of *Pinus brutia* provenances. *Can. J. For. Res*. **18**, 188-194.
15. Calamassi R., Puglisi S. R. And Vendramin G. G., 1988. Genetic variation in morphological and anatomical needle characteristics in Pinus brutia Ten. *Silvae Genetica* **37**, 199-206.
16. Critchfield W. B. and Little E. L., 1966. Geographic distribution of pines of the world. *USDA For. Serv. Misc. Publ***. 991**.
17. Conkle. M.T., Schiller, G. and Grunwald Clara, 1988. Electophoretic analysis of diversity and phylogeny of *Pinus brutia* and closely related taxa. *Systematic Botany* **13**, 411-424.
18. Choumane W., van Breugel P., Bazuin T.O.M., Baum M., Ayad G.W. and Amaral W., 2004. Genetic diversity of *Pinus brutia* in Syria as revealed by DNA markers. *Forest Genetics* **11**, 87-101.
19. Dangasuk O.G. and Panetsos K.P., 2003. Altitudinal and longitudinal variation in *Pinus brutia* Ten. Of Crete Islands, Greece: some needle, cone and seed traits under natural habitats. *New Forest* **27**, 269-284.
20. Esen D., Zedaker Sh. M., Seiler J.R. and Mou Pu., 2003. Growth responses of six seed sources of *Pinus brutia* Ten. (Turkish red pine) to herbaceous weed competition. *New Forests* **25**, 1-10.
21. Falusi M., Calamassi R., Tocci A., 1984. {Frost hardiness in *Pinus halepensis*, *Pinus brutia* and *Pinus eldarica* Medw. *Atti. Soc. Tosc. Sci. nat. Mem., Serie B***, 91**, 111-133.
22. Gallis A.T and Panetsos K.P., 1998. Use of cortical terpene to discriminate *Pinus brutia* (Ten.), *Pinus halepensis* (Mill.) and their hybrids. *Silvae Genetica* **46**, 82-88.

23. Gallis A.T., Lang K.J. and Panetsos K.P., 1998. Bud monoterpene composition in *Pinus brutia* (Ten.), *Pinus halepensis* (Mill.) and their hybrids. *Silvae Genetica* **47**, 71-74.

24. Gezer A., 1986. The Sylviculture of Pinus brutia in Turkey. CIHEAM-Opitions Mediterraneennes **86/1**, 55-66.

25. Grünwald C. and Schiller G., 1987. Needle xylem water potential and water saturation deficit in provenances of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. forêt méditerranéene **10** (2), 407-414.

26. Gulbab A.G. and Ozkurt N., 1998. [Isoenzyme diversity in Turkish Red pine (*Pinus brutia* Ten.) populations sampled from the Bolkar Mountains]. Technical Bulletin No **5**, Eastern Mediterranean Forestry Research Institue TARSUS, Turkey. 27 pp.

27. Iconomou N., Valkanas G. and Buchi J., 1964. Composition of gum turpentines of *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* grown in Greece. *J. of Chromatography* **16**, 29-33.

28. INCO-DC, 2001. Global, Physiological and Molecular Responses to Climatic Stresses of Three Mediterranean Conifers. International Cooperation with Developing Countries (1994-1998). Contract No. ERBIC 18CT 970-2000. Final Report.

29. Isik F and Keskin S. and McKeand S.E., 2000. Provenance variation and provenance-site interaction in *Pinus brutia* Ten.: Consequences of defining Breeding Zones. *Silvae Genetica* **49**, 213-223.

30. Isik F., Isik K. and Lee S.J., 1999. Genetic variation in *Pinus brutia* Ten. in Turkey: I. Growth, Biomass and stem quality traits. *Forest Genetics* **6**, 89-99.

31. Isik F. and Kaya Z., 1995. The pattern of genetic variation in *Pinus brutia* Ten. Populations sampled along a South to North transect in Taurus Mountains. J. Southwest *Anatolia Res. Inst. Antalya. Tech. Bull*. No **3**, 19-51.

32. Isik F., 2002. *In*: Global, physiological and molecular response to climatic stresses of three Mediterranean conifers. International Cooperation with developing Countries, Contract Number: ERBIC 18CT 970 200, Final Report, 153 pp.

33. Isik K., 1986. Altitudinal variation in Pinus brutia Ten.: Seed and seedling characteristics. *Silvae Genetica* **35**, 58-67.

34. Isik K. and Kara N., 1996. Altitudinal variation in *Pinus brutia* Ten. and its implication in genetic conservation and seed transfers in southern Turkey. *Silvae Genetica* **46**, 113-120.

35. Isik K. and Isik F., 1999. Genetic variation in *Pinus brutia* Ten. in Turkey: II. Branching and crown traits. *Silvae Genetica* **48**, 293-302.

36. Kandedmir E.G., Kandedmir I. and Kaya Z., 2004. Genetic variation in Turkish Red pine (Pinus brutia Ten.) seed stands as determined by RAPD markers. *Silvae Genetica* **53**, 169-175.

37. Kara N., Korol L., Isik K. and Schiller G., 1997. Genetic diversity in *Pinus bru*tia Ten: Altitudinal variation. *Silvae Genetica* **46**, 155-161.

38. Kaundun S.S., Lebreton Ph. And Fady B., 1998. Genetic variation in the needle flavonoid composition of *Pinus brutia* Var. *brutia* populations. *Bioch. Sys. Ecol*. **26**, 485-494.

39. Kaya Z. and Isik F., 1997. The pattern of Genetic variation in shoot growth of *Pinus brutia* Ten populations sampled from the Toros Mountains in Turkey. *Silvae Genetica* **46**, 73-81.

40. Korol L., Madmony A., Riov Y. and Schiller G., 1995. *Pinus halepensis* X *Pinus brutia* subsp. *brutia* hybrids? Identification using morphological and biochemical traits. *Silvae Genetica* **44**, 186-190.

41. Korol L., Shklar G. and Schiller G., 2002. Genetic variation within and among range-wide *Pinus brutia* Ten. provenances. *Forest Genetics* **9**, 233-242.

42. Kurt Y., Bilgen B. B., Kaya N., Isik K., 2011. Genetic comparison of *Pinus brutia* Ten. populations from different elevations by RAPD markers. *NOT. BOT. HORTI. AGROBO*. **39**, 299-304.

43. Kurt Y., Gonzalez-Martinez S. C., Alia R., Isik K., 2012. Genetic differentiation in *Pinus brutia* Ten. using molecular markers and quantitative traits: the role of altitude. *Ann. For. Sci***. 69**, 345-351.

44. Lise Y., Kaya Z., Isik F., Sabuncu R., Kandemir I. And önde S., 2007. The impact of over-explotation on the Genetic structure of Turkish red pine (Pinus brutia Ten.) populations determined by RAPD markes. *Silva Fennica* **41**, 211-220.

45. Michelozzi M., Squillas A.E. and Vendramin G.G., 1990. Monoterpene in needles and cortex of an artificial *Pinus brutia* Ten. X *Pinus halepensis* Mill. hybrid. J. Genet. and Breed. **44**, 241-246.

46. Mirov T.N.,1955. Relationships between *Pinus halepensis* and other Insignes pines of the Mediterranean region. *Bull. Res. Counc. Israel*, **5D**, 65-72.

47. Mirov T.N., 1961. Composition of gum turpentine's of pines. U.S.A. F.S., P.S-W Forest and Range Experiment Station, *Technical Bulletin* No. **1239**.

48. Mirov T.N., Zavarin E. and Snajberk K., 1966. Chemical composition of the turpentine's of some Eastern Mediterranean pines in relation to their classification. *Phytochemistry* **5**, 97-102

49. Mirov T.N., 1967. The Genus Pinus. Ronald Press, New York, NY.

50. Morandini R., 1976. Mediterranean Conifers. Forest Genetic Resources, information – **5**, 12-17. Forestry occasional paper 1976/1, Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

51. Moulalis D., Bassiotis C. and Mitsopoulos D., 1976. Controlled pollinations among pine species in Greece. *Silvae Genetica* **25**, 95-107.

52. Nahel I. 1983. Le pin BRUTIA (*Pinus brutia* Ten. Subsp. *Brutia). forét méditerranéenne* **2**, 165-172.

53. Ne'eman G. and Trabaud L. (Editors), 2000. Ecology, Biography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin., Backhuys Publishers, Leiden,.The Netherlands.

54. Ohsawa T. and Ide Y., 2008. Global patterns of Genetic variation in plant species along vertical and horizontal gradients on mountains. *Global Eco. Biogeogr*. **17**,152-163.

55. Oppenheimer H.R., 1967. Mechanisms of drought resistance in conifers of the Mediterranean zone and the arid West of the U.S.A. Final Report on Project No. A10-FS-7, Grant No. FG-Is-119. Part 1: Physiological and anatomical investigations. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agriculture, Israel.

56. Palmberg Cristal, 1975. Geographic variation and early growth in South-eastern semi-arid Australia of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten species. *Silva Genetica* **24**, 150-160.

57. Panetsos, K.P., 1975. Natural hybridization between *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* in Greece. *Silvae Genetica* 24: 163-168.

58. Panetsos K.P., Aravanopoulos F.A. and Scaltsoyiannes A., 1997. Genetic variation of *Pinus brutia* from Islands of the Northeastern Aegean Sea. *Silvae Genetica* **47**, 115-120.

59. Panetsos K.P., Scaltsoyiannes A., Aravanopoulos F.A., Dounavi K. and Demetrakopoulos A., 1997. Identification of *Pinus brutia* Ten., *Pinus halepensis* Mill. And their putative hybrids. *Silvae Genetica* **46**, 253-257.

60. Papajoanuou J., 1936. Über artbastarde zwischen *Pinus brutia* Ten. und *Pinus halepensis* Mill in Nordost chalkidiki (Griechelnland. *Forstwis. Cbl*. **58**, 194-205

61. Riva I. and Vendramin G., 1983. [Preliminary studies on artificial *Pinus brutia* Ten X *Pinus halepensis* Mill. Hybrid.] *Italia Forestale a Montana* **35**, 234-248.

62. Schiller G. and Genizi A., 1993. An attempt to identify the origin of *Pinus brutia* Ten. plantations in Israel by needle resin composition. *Silvae Genetica* **42**, 63 - 68.

63. Schiller G., 1994. Diversity among *Pinus brutia* and related taxa, -a review. *Orman Fakultesi Dergisi, series A*, **44**, 133-147.

64. Schiller G., 2000. Eco-physiology of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus. brutia* Ten. *In*: Ne'eman, G., and Trabaud, L. (Editors), Ecology, Biogeography and Management of Mediterranean Pine Forest Ecosystems (*Pinus halepensis* and *Pinus brutia*), Backhuys Publishers-Wil, R. Peters, Amsterdam..

65. Spencer J.D., 1976. Dry country pines: provenance evaluation of the *Pinus halepensis-P. brutia* complex in the semi-arid region of South-east Australia. *Australia For. Res*. **15**, 263-279.

66. Spanos I. A., Daskalakou E.N., Thanos C.P., 2000. Postfire, natural regeneration of Pinus brutia forests in Thasos island, Greece. *Acta Oecologica* **21**, 13-20.

67. Thanos C.A., Marcou S., Christodoulakis D. and Yannistaros A., 1989. Early post-fire regeneration in *Pinus brutia* forest ecosystems of Samos island (Greece). *Acta Oecologica* **10**, 79-94.

68. Thanos C.A. and Marcou S., 1991. Post-fire regeneration in Pinus brutia forest ecosystems of Samos island (Greece) 6 years after. *Acta Oecologica* **12**, 633-642.

69. Tsitsoni T., Ganatsas P., Zagas T. and Tsakaldimi M., 2004. Dynamics of postfire regeneration of Pinus brutia Ten. in an artificial forest ecosystem of northern Greece. *Plant Ecology* **171**, 165-174.

70. Tozkar C.O., Onde S., Kaya Z., 2009. The phylogenetic relationship between populations of marginally and sympatrically located *Pinus halepensis* Mill and *Pinus brutia* Ten. in Turkey, based on ITS-2 region. *Turkish J. Agr. & For*.**33** (4), 363-373.

71. Tzur A.,2010. Development of a fast selection method for drought tolerant Brutia pine (*Pinus brutia*) seed sources. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture Food and Environmental Sciences, the Hebrew University of Jerusalem, Rehovot.

72. Weinstein A., 1989a. Provenance evaluation of Pinus halepensis, P. brutia and P. eldarica in Israel. *For. Ecol. Manage*. **26**, 215-225.

73. Weinstein A., 1989b. Geographic variation and phenology of Pinus halepensis, P. brutia and P. eldarica in Israel. *For. Ecol. Manage*. **27**, 99-108.

2.4 אורן הצנובר (*Pinus pinea L*)

(תפוצה, אקולוגיה, אקו פיזיולוגיה ויחסי צמח-מים, מגוון גנטי, ריבוי, יעראות)

תפוצה

על-פי "Naturalis historia", שחוברה על ידי Gaius Plinius Secundus, שחי באימפריה הרומית בין השנים 23 עד 79 לספירה, אורן הצנובר שימש כמקור מזון לבני אדם וכונה האורן המבוית (*Pino domestico*). סביר מאוד להניח שהשימוש במין זה גם כעץ פרי הביא להפצתו כבר בעת העתיקה לאזורים שונים סביב אגן הים התיכון במידה כזו, שכיום אין ודאות לגבי מוצאו מהבחינה הגיאוגרפית. יש החושבים כי מוצאו מחצי האי האיברי (ספרד ופורטוגל) מפני ששטחי היערות של מין זה הם הגבוהים ביותר מבין כל האזורים באגן הים התיכון [22]. יש הטוענים כי מקורו במזרח אגן הים התיכון: טורקיה, יוון ולבנון, בהסתמך על תפוצת היערות של מין זה והמבנה הפיטוסוציאולוגי של הצומח בהם [12, 17]. מחקרים בתחום של הגנטיקה של אוכלוסיות עצי יער, שנעשו בשיטות מתקדמות [30, 31], ומחקרים בתחום הקשרים שבין האקולוגיה והאקלים [14] מצביעים על האפשרות שאורן הצנובר גדל בספרד לפני תקופת הקרח האחרונה ובלבנון זמן רב לפני הופעת האדם באזור. מחקר אקולוגי וגיאובוטני בדרום-מערב ספרד, אזור מרכזי של תפוצת אורן הצנובר בספרד, העלה כי יערות רבים בחבל ארץ זה הם טבעיים [23]. מחקר על מקצב הפעילות הקמביאלית בשתילים של מין זה (מקצב שמרני מהבחינה הביולוגית הקשור לתנאים האקלימיים של מוצא המין), הראה כי המקצב מותאם לתנאי אקלים הרריים, קרירים ולחים [20].

אקולוגיה

יערות טבעיים ויערות נטועים מזמנים קדומים, שהתחדשו מזריעה עצמית, ויערות נטועים בדורות האחרונים של אורן הצנובר באזור תפוצתו באגן הים התיכון, בעיקר בפורטוגל, ספרד, צרפת איטליה, לבנון וטורקיה גדלים על סלעי גיר קשה, דולומיט או אבן חול. כלומר, בקרקעות חסרות גיר פעיל ברמה גבוהה, דוגמת קרקעות חוליות (חמרה), טרה-רוסה ואדמות יער חומות אדומות. האקלים באזור תפוצתו מוגדר כ- Meso-Mediterraneane [32]. כלומר, תנאי אקלים לח ותת-לח [6]. במאות האחרונות נִטעו ועדיין ניטעים יערות ופסי בידוד של אורן הצנובר באזורים נִרחבים לאורך החופים, כדי לשמש מגן לשטחי

חקלאות, מגורים ומקום לנופש. השימוש במין זה נעשה כתוצאה מעמידותו הטובה יחסית לרסס מי-ים הנישא ברוח; אזורים אלו מצטיינים בקרקע חולית עמוקה ולחה והמפלס מי-תהום גבוה יחסית.

אקו-פיזיולוגיה ויחסי צמח – מים

למרות שתחום התפוצה העיקרי של אורן הצנובר הוא בתנאי אקלים לח ותת-לח, הרי שעל-פי אופנהימר [1, 25] מין זה עמיד במידה רבה ליובש, והוא שני ביכולת זו לאורן ירושלים, כלומר, הוא עמיד יותר מאורן ברוטיה; תופעה זו נִראית היטב בחלקת אורן הצנובר שביער יתיר.

לאחרונה נעשה ניסיון לבדוק האם, למרות השונות הגנטית הנמוכה במין זה, קיימים קווים (אקוטיפים) שעמידים מאחרים בתנאי יובש בקרקע [4]. נִמצא כי אכן בתנאי מעבדה קיימים הבדלים בין מקורות זרעים שונים (Provenances) בהתפתחותם של הנבטים בהשפעת עקת יובש. נבטים, שגודלי מזרעים שנאספו באוכלוסייה הגדלה בתנאי אקלים יובשניים, התפתחו טוב יותר בתנאי עקת מים מאשר נבטים שהתפתחו מזרעים שנאספו מאקוטיפים הגדלים באזורים לחים יותר.

מגוון גנטי

בהתאם לחלוקה של סוג האורן (Genus Pinus), אורן הצנובר הוא מין המהווה לבדו את תת-הסקציה פינאה (Subsection Pineae) שבמסגרת הסקציה פינאה (Section Pinea). על-פי Klaus [18], אורן הצנובר התפתח בתקופה השלישונית (הטרציאר) מאורן קדמון הדומה לאורן הקנרי (*Pinus canariensis*) של ימינו. אורן קדמון זה, שהתפתח באזור ההימלאיה שבאסיה, נדד (על סמך מאובנים וממצאים פלינולוגיים) לאירופה ולצפון-אפריקה, ונשאר לבסוף רק באיים הקנאריים. על סמך סימנים מורפולוגיים בזרעים ואופן התפתחות הנבטים, מין קדמון זה היה קרוב לוודאי גם מין המוצא לאורנים ים-תיכוניים נוספים דוגמת אורן ברוטיה, אורן ירושלים, אורן ימי ואחרים [18]. חיזוק לדעה זו נִמצא במחקר על הקִרבה הגנטית בין האורנים בעולם, שנעשה בעזרת בדיקת הד.נ.א בכלורופלסטים [19].

אפשר להניח כי השימוש באורן הצנובר כעץ פרי כבר בתקופות קדומות עורר תהליכי ברירה לשם הגדלת הניבה, הגדלת הפרי (אצטרובל וזרע) והקלה על איסוף הפרי (האצטרובלים). כלומר, ברירה של עצים אשר מאבדים מוקדם יחסית את הדומיננטיות של הציר המרכזי, מה שגורם להתפצלות רבה בנוף וליצירת הכותרת האופיינית למין זה.

המחקר על השונות הגנטית הכללית, וזו שבין ובתוך אוכלוסיות של אורן הצנובר שנחשבות כטבעיות במרחב תפוצתו הים-תיכונית, נעזר בשיטה של הרצת חלבונים תוצרי גנים בשדה חשמלי (Isoenzyme electrophoresis). נִמצא כי מתוך 37 אנזימים אשר נבדקו רק 27 נצבעו במידה שאפשרה זיהוי ורק שני אנזימים מתוכם היו בעלי שני אללים ויותר [11] והם: Menadione reductase (MNR-2), Malic enzyme (ME). על סמך תדירות האללים באנזים ME נקבע, כי קיימת שונות גנטית גבוהה יותר, יחסית, בין האוכלוסיות מאשר בתוך האוכלוסיות. תופעה ששונה מעצי אורן אחרים שנבדקו (למשל: אורן ברוטיה, אורן ירושלים, אורן קנרי ורבים אחרים) בהם השונות בתוך האוכלוסיות, כלומר, בין הפרטים המרכיבים את האוכלוסייה גבוהה מהשונות בין האוכלוסיות. כמו כן לא נִמצא קשר בין השונות הנובעת מהתדירות של האללים השונים לבין האזור הגיאוגרפי של האוכלוסייה שנבדקה. ייתכן שתופעה זו קשורה "באפקט המייסד" ("Founder effect"). מחקר גנטי בשיטות מתקדמות, המתבססות על שימוש במקטעי גנים [30], הראה גם הוא כי אורן הצנובר הוא מין "עני" מאוד מבחינה גנטית. כלומר, מין עם שונות גנטית בין הנמוכות ביותר במסגרת המחטניים $Hes = 0.015$. לשם השוואה, השונות הגנטית של אורן ירושלים [27], שגם הוא מין שאינו בעל שונות גנטית גבוהה בקרב האורנים, היא $Hes = 0.040$; והשונות באורן ברוטיה נעה בין $Hes = 0.271$ -- 0.118 .

השונות הגנטית והתפלגותה באורן הצנובר, ביערות שונים במרחבי ספרד, נחקרה בעזרת בדיקת הגנום של הכלורופלסטים (תורשה אימהית בלבד). המחקר העלה כי ההבדלים בין האוכלוסיות של מין זה נמוכים ביותר, ועיקר השונות נובע מהבדלים בין פרטים בתוך האוכלוסיות [15]. מחקר נוסף שנעשה בעזרת בדיקת מקטעי ד.נ.א מהכלורופלסטים [31] העלה כי השונות במין זה מאוד נמוכה נימצא כי קיימים רק ארבע הפלו-טיפים כאשר אחד נימצא בכל האוכלוסיות שנבדקו סביב אגן הים התיכון. פנוטיפ נוסף קיים בתדירות מאוד נמוכה נימצא בספרד, שני ההפלוטיפים הנוספים שקיימים בתדירות מאוד נמוכה נימצאים בלבנון. מחקר אחר שבדק גם הוא את מידת השונות

הגנטית בתוך ובין 22 מקורות זרעים שונים, שנאספו ממרחבי הארץ של המין, נעזר בשיטה של בדיקת מקטעי ד.נ.א (RAPD). התוצאות העלו כי השונות הגבוהה ביותר קיימת באוכלוסיות איטלקיות –והשונות הנמוכה ביותר היא באוכלוסיות בפורטוגל [10]. לאחרונה נעשו ניסיונות לבחון את רמת השונות הגנטית במין זה בעזרת שיטות ביוכימיות נוספות, כגון בחינת ההרכב של החומצות השומניות בזרעים של אורן הצנובר שנאספו באוכלוסיות שונות בתוניסיה [24]. במחקר זה נימצא כי בתכונות שנִמדדו השונות הגנטית היא נמוכה ביותר. נחקר גם ההרכב והכמות של החלבונים המשמשים כחומרי תִשמורת במגה-גמטופיט (אנדוספרם מדומה) בזרעים של אורן הצנובר [5]. הוכח במחקר זה כי קיימים הבדלים ברורים ומובהקים בהרכב החלבונים הנ״ל בזרעים שנאספו ביערות השונים בספרד. ייתכן כי זו שיטה אפקטיבית לזיהוי של השונות הגנטית בין האוכלוסיות.

קיימות מספר אפשרויות הגורמות להיווצרות שונות גנטית כה נמוכה באורן הצנובר, והם: הפיצול הטופוגרפי הרב של האוכלוסיות סביב אגן הים התיכון, פיזור זרעים מקומי מחוסר יכולת תעופה, פיזור זרעים למרחקים הגדולים מתחום השלך הכותרות דורש תיווך של בעלי-חיים (בעיקר ציפורים) עם יחס מוטואליסטי, הפריה עצמית במידה רבה, זמן יצירה והבשלה ארוכה של הזרע (שלוש-ארבע שנים) החושף את הזרע בעת התפתחותו והבשלתו להשפעות האקלימיות במשך התקופה, השקעה אנרגטית גבוהה בייצור הזרעים, איבוד זרעים רב עקב טריפה, וגיל גבוה יחסית בעת תחילת ייצור זרעים. מיני מחטניים אחרים, עם אצטרובלים סרוטיניים, מותאמים יותר לשריפה ומתחדשים מהר לאחריה. כלומר, חילופי דורות מהירים מאפשרים שיקום השונות הגנטית לאחר קיום צוואר בקבוק גנטי. לעומת זאת, באורן הצנובר האוכלוסיות עמידות יותר לשריפות כתוצאה מנוף גבוה וקליפה עבה, אך האוכלוסיות קטנות בסופו של דבר עקב שריפות חוזרות ונִשנות, דבר שאינו מאפשר שיקום השונות הגנטית. גורם נוסף לאוכלוסיות קטנות יחסית עשוי לנבוע מתחרות בין מינית חזקה. יש לציין כי למרות השונות הגנטית הנמוכה מאוד במין זה, הרי שהתכונה של פלסטיות פנוטיפית רבה אִפשרה לאורן הצנובר להתפשט לנישות אקולוגיות חדשות.

ריבוי

כפי שכבר הוזכר, השימוש הרב באורן הצנובר כעץ פרי מקִדמת דנא גרם למאמצים בלתי פוסקים לברירת מקורות זרעים, לקווים גנטיים ולעצים בודדים שמייצרים זרעים גדולים,

המקדימים בניבה ובעלי ניבה מוגברת, כדי לעמוד בדרישה ההולכת וגוברת ובערך הכלכלי העולה בהתמדה של יבולי הזרעים. מהמקורות שזוהו כמעולים יותר נאספו זרעים, אשר נִזרעו ו/או ששתיליהם נִשתלו כדי להקים יערות פוריים יותר. כמו כן, כדי להקדים את תחילת הניבה, וכדי לשמור על הקווים הגנטיים הפוריים, פותחו שיטות ריבוי וגטטיבי – הרכבות של אורן הצנובר על כנות של אורן הצנובר. כמו כן אורן הצנובר הורכב גם על כנות של מיני אורנים אחרים דוגמת אורן ברוטיה, אורן ירושלים, אורן ימי ועוד, כדי לאפשר נטיעת יערות של מין זה בתנאי בית גידול שוליים מבחינת הדרישות האקולוגיות של אורן הצנובר. למשל, נטיעה באדמות גיריות (אדמות בסיסיות) [7, 9, 13, 16, 26, 28]. נעשו גם ניסיונות רבים לברור ולהשתמש במיקוריזה מתאימה (מיקוריזה = פטרייה שמתקיימת בסימביוזה עם הצמח. כלומר, פטרייה הקשורה לשורשי הצמח ומספקת לו כימיקלים, יסודות קורט ומים, ומקבלת מהצמח מוטמעים) כדי לאפשר את נטיעת אורן הצנובר באדמות גיריות.

יעראות

תומפסון [29] מציין את קיומה של אוכלוסיית אורן הצנובר בשפלת החוף, שממנה, לדבריו, סופקו זרעים למצרים. זגייר [2] מציין יבוא של זרעי אורן הצנובר מלבנון בשנת 1780 לשם הקמת יער (על ידי זריעה ישירה) בחלקה ליד הכפר ירכא שבגליל המערבי; שרידיה של חלקת יער זו קיימים עד היום. עם קום המדינה היו בארץ גם מספר עצים בודדים גדולי ממדים (כנִראה מאוד מבוגרים)׳ שגדלו במקומות אחדים דוגמת חצר חאן אשר על כביש יפו-רמלה ממול לבית הספר החקלאי מקווה-ישראל.

אין בידינו ידע על מקורות הזרעים של חלקות יער אורן הצנובר, שניטעו על ידי המתיישבים הגרמניים (הטמפלרים) לקראת סוף המאה ה-19 [3]. בתחילת המאה ה-20, עם תחילתה של פעילות הייעור על ידי שני אגפי הייעור שפעלו בארץ-ישראל המנדטורית, הוחל גם בנטיעה ו/או זריעה של אורן הצנובר בחלקות יער. בהתאם לנתונים בדוחות הרשמיים של אגף הייעור של ממשלת המנדט, בשנים 1926 ועד 1935, נתקבלו ונרכשו זרעים מאיטליה, סוריה ולבנון לשם ייצור שתלי אורן זה או זריעה ישירה בשטח. לאחר הקמת המדינה ריבוי אורן זה נִשען מן הסתם בעיקר על מקורות זרעים מקומיים. לאחר מלחמת ששת הימים, בשנת 1967, התווסף יער מסעדה שברמת הגולן ליערות המספקים חומר ריבוי. יער זה נִשתל על ידי הסורים בעזרה טכנית צרפתית; מקורות הזרעים להקמתו אינם

ידועים לנו. על-פי רישומים חלקיים ולא מדויקים שבמחלקת הזרעים והמשתלות של אגף היעור של הקק״ל, יובאו בשנות השמונים והתשעים של המאה ה-20 זרעי אורן הצנובר מטורקיה ומארצות באירופה בהם הוא גדל.

כבר בתקופת ממשלת המנדט נתגלו בחלק מהנטיעות של אורן הצנובר תופעות של הצהבה (כלורוזיס) במחטים, המצביע על כך שהזריעה או הנטיעה נעשתה בשטחים בהם התנאים האקולוגיים **<u>אינם תואמים</u>** את התנאים הדרושים למין זה. תופעת ההצהבה יצרה התעניינות רבה בנושא של היחסים שבין אורן הצנובר ומידת הגיר הפעיל בקרקע ובסלעי גיר רכים. בחילופי מכתבים בין מנהל אגף הייעור של ממשלת ישראל, דר׳ עמיהוד גור, לבין מנהל אגף הייעור בקפריסין (בתיק על אורן הצנובר של אגף היעור המנדטורי שבגנזך המדינה) דובר על האפשרות למצוא בקפריסין חלקות יער או עצים בודדים הגדלים בתנאים של אחוזי גיר פעיל גבוה, בהן העצים אינם מראים סימני צהבון (כלורוזה) או סימני סבל אחרים. כנִראה שלא נימצא מקור שכזה כי אין המשך להתכתבות או ציון להעברת זרעים. לאחרונה נעשה ניסיון להבדיל בעזרת סימנים גנטיים בין שני הפנוטיפים שנִמצאו גדלים בקרקעות בהם יש אחוז גבוה של גיר פעיל, שהוגדרו על-פי צבע העלווה בעונת הקיץ כירוק-חסר כלורוזה, וכצהוב-כלורוטי. עד עתה נכשלו הניסיונות לאפיין הבדלים גנטיים בין שני הפנוטיפים הנ״ל

כפי שכבר נאמר, מוצא מין זה הוא מאזורים בהם האקלים הוא ים תיכוני לח עד לח למחצה, והקרקעות הן עמוקות ולחות, חומציות או ניטרליות. דבר זה מצביע על כך שיש להימנע מלטעת את אורן הצנובר בתנאי בית גידול שכוללים קרקע רדודה וברמה גבוהה של גיר פעיל. בארץ יש מספיק שטחים המתאימים מהבחינה האקולוגית לגידול אורן הצנובר, בהם מין זה עשוי למלא תפקיד יערני ראשון במעלה עם תום המחזור של היער החלוץ המורכב בעיקרו מאורן ירושלים, והסבתו ליער בר-קיימא מגוון ועמיד. הנושא מקבל מִשנה תוקף מאחר שהמטרה העיקרית של היערות בארץ אינה כלכלית (ייצור עצה או לחילופין פרי) אלא גיוון ונופש. אורן הצנובר יוצר עם הזמן יער המאפשר נופש בנוחות מרבית. מצד אחד תחתית היער פתוחה (בשל מרחק גדול בין העצים), ומצד שני חופת היער סגורה (בשל צורת הפִטרייה של נוף העץ), כלומר, כל תחתית היער מוצלת.

כפי שכבר הוזכר, אורן הצנובר ניטע בעבר וגם עתה במטרה לגוון את היערות המחטניים וללא כוונות כלכליות לגבי הפרי או העצה. עתה קיימות חלקות יער של מין זה בבתי גידול שונים מאוד זה מזה, מהגליל העליון ועד לאזור יתיר שבנגב. מקובל, שקצב

התפתחותו בשנים הראשונות איטי יחסית למיני האורן האחרים, אולם לאחר התבססותו הוא גדל מהר יחסית, וכבר בשלב מוקדם הוא יוצר נוף כדורי רחב.

מאז ימי קדם גידלו מין זה למטרות הפקת הזרעים, כלומר כעץ פרי, יותר מאשר להפקת עצה כחומר גלם לתעשיית העץ. הממשק של היערות (הברירה בין העצים ועוצמת הדילול) כוון לגרום להתפתחות מהירה של העצים ולהעלאת רמת הניבה, יותר מאשר להעלאת כמות העצה ואיכותה.

אורן הצנובר הוא מין בעל זרע מהגדולים בין סיוג האורן, הזרע חסר כנפיים, ועל כן הוא אינו מופץ על ידי הרוח אלא על ידי ציפורים ונברנים. גודלו של הזרע מאפשר את זריעתו בשטחים מיועדים לייעור לאחר הכנת קרקע קפדנית. במידה שקיים צורך לטעת את אורן הצנובר בקרקעות גיריות ובקרקעות שאינן בהתאם לדרישות האקולוגיות של המין, ראוי להקדיש את המאמץ ולטעת שתילים מורכבים, כאשר הכנה היא אורן ירושלים - רצוי ממקור זרעים מחצי האי הבלקני (הסבר לכך בפרק על אורן ירושלים). הרוכב רצוי שיהיה לו קו גנטי פורה מאוד של אורן הצנובר. רצוי להקדיש מאמץ זה למרות עלותו, היות שמשך חיי יער אורן הצנובר הוא מעל למאה שנים. אורן הצנובר, אשר מורכב על כנה של אורן ירושלים או ברוטיה, עשוי להוות צורה של "יער מישקי" שעיקרו ייצור הזרעים האכילים, עקב הקדמת מועד הניבה בעזרת ההרכבות.

ספרות, מקור הציטוט

1. אופנהיימר, ה., 1969. כיצד ניצלים עצי היער המחטניים שלנו מכיליון בעונה היבשה? *ליערן* **19**, עמ' 1-16.

2. זגייר, ע. 1992. זקני הכפר. *טבע וארץ* **252**, עמ' 17-19.

3. ליפשיץ, נ., ביגר, ג., 2000. נלבישך שלמת ירק; הייעור בארץ-ישראל, מאה שנים ראשונות 1850-1950. הוצאת ספרים אריאל, ירושלים, 265 עמודים.

4. מדמוני, ע., קפולניק, י., אהרון, ר., בן-משה, ע., משה, י., ברנד, ד., שוורץ, א., עצמון, נ. 2003. בחינת אקוטיפים של אורן הגלעין (הצנובר) לעמידות לעקת יובש בשיטה מהירה. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **3**, עמ' 24-29.

5. Alvarez J.B., Toledo M.J., Abellanas B. and Martin L.M., 2004. Use of megagametophyte storage proteins as markers of the genetic diversity in stone pine (*Pinus pinea* L.) in Andalucia, Spain. *Genetic Resources and Crop Evolu*. **51**, 621-627.

6. Barbéro M., Loisel R., Quézel P., Richardson D. M. and Romane F., 1998. Pines of the Mediterranean Basin. *In*: Richardson, D. M. (ed.) Ecology and Biogeography of Pinus, pp. 153- 170, Cambridge University Press.

7. Catalan-Bachiller G., 1990. Plantations of Pinus pinea in limestone zones for early production of edible seeds. *Ecologia Madrid* **4**, 105-120.

8. Conkle M.T., Hodgekiss P.D., Nuneeally B.L., and Hunter S.C., 1982. Starch gel electrophoresis of conifer seeds: a laboratory manual. USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Gen. Tech. Rep. PSW-**64**.

9. Cordeiro N.R. and Lopes L.M., 1992. Grafting of Pinus pines. *GDF-Informacao* **3**(10), 9-11.

10. Evaristo I., Seabra R.C. Baeta, J. and Pais M.S., 2002. Molecular characterization of provenances of *Pinus pinea* L. by RAPD (random amplified polymorphic DNA). *Silvae Lusitana* **10**, 53-61.

11. Fallour D., Fady B. & Lefevre F., 1997. Study on isozyme variation in *Pinus pinea* L.: Evidence for low polymorphism. *Silvae Genetica* **46**, 201-207.

12. Feinbrun, N., 1959. ,Spontaneous Pineta in the Lebanon. *Bull. Res. Coun. Israel*, **7D**, 132-153.

13. Gallardo-Martin, J. and Gallardo de Prado, J., 1991. Five studies on grafts in Pinus pinea. *Ecologia Madrid* **5**, 197-209.

14. Garzón, M. B., Sánchez de Dios, R. and Ollero H.S., 2007. Predictive modeling of tree species distribution on the Iberian Peninsula during the last glacial maximum and mid-Holocene. *Ecography* **30**, 120-134.

15. Gomes, A., Aguiriano, E., Alia, R. and Bueno, M.A., 2002. *Pinus pinea* L. Spanish genetics resources characterization by chloroplast microsatellite markers. *Investigacio Agraria, Sistemas y Recursos Forestales* **11**, 145-154.

16. Iktueren, S., 1975. Studies on a grafting technique for Pinus brutia. Ormancilik Arastma Enstitusu Yayinlari, Teknik Bulten 75 pp.

17. Kasapligil, B., 1978. Past and present pines in Turkey. Phytologia **40**, 99-153.

18. Klaus, W., 1989., Mediterranean pines and their history. *Plant* Systematics and *Evolution* **162**, 133-163.

19. Krupkin, A.B., Liston,A. and Strauss, S.H., 1996. Phylogenetic analysis of the hard pines (*Pinus* subgenus *Pinus*, Pinaceae) from chloroplast DNA restriction site analysis. *American J. of Botany* **83**, 489-498.

20. Liphschitz, N., Lev-Yadun, S and Waisel, Y., 1984. The annual rhythm of the lateral meristems (cambium and ohellogen) in *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L. *IAWA Bullitin n.s.* **5**, 263-274.

21. Little, E. L. Jr. & Critchfield, W.B., 1969. Subdivisions of the Genus Pinus. USDA *Forest Service Miscellaneous Publication* **1144**.

22. Mirov, N.T., 1967. The genus Pinus. Ronald Press.New York, 349 pp.

23. Martinez, F. and Montero, G., 2004. The *Pinus pinea* L. woodlands along the coast of South-western Spain: data for a new geobotanical interpretation. *Plant Ecology* **178**, 1-18.

24. Nizar, N., Abdelhamid, K., Fady, B. and Said, T., 2005. Fatty acids from seeds of *Pinus pinea* L.: composition and population profiling. Phytochemistry **66**, 1729-1735.

25. Oppenheimer, H.R., 1967. Mechanism of drought resistance in conifers of the Mediterranean zone and the arid west of the U.S.A. *Final report on Project No A10-FS, Grant No FG-Is:* 19. The Hebrew University of Jerusalem.

26. Parra-Ortum J-l., 1980. Establishment of seed orchards of Pinus halepensis and of P. pinea grafted onto P. halepensis rootstocks in province of Murcia, Spain. *Boletin de la Escacion Central de Ecologia* **9**(18), 15-23.

27. Schiller, G., Conkle, M.T., and Grünwald Clara, 1986. Local differentiation among Mediterranean populations of Aleppo pine in their isoenzymes. *Silvae Genetica*. **35**, 11-19.

28. Sing, R.V. and Mahajan, N.M., 1977. Grafting in conifers in Himachal Pradesh. India Forestry Research Institute and Folleges; Proceedings of the eleventh Silvicultural Conference 1980: 294-298.

29. Thompson, W. M., 1859. The Land and the Book. Harper, New York

30. Vendramin, G. G., 2007. An overview of phyto-geography studies on forest trees, with particular emphasis on Mediterranean conifers. Silva mediterranéenne. conference, Arezzo, Italy

31. Vendramin, G. G., Fady, B., Gonzalez-Martinez S.C., Sheng Hu, F., Scotti, I., Sebastiani, F., Soto, A. and Petit R. J., 2008. Genetically depauperate but

widespread: The case of an emblematic Mediterranean Pine. *Evolution* **62-3**, 680-688.

32. UNESCO-FAO, 1963. Bioclimatic carte of the Mediterranean Zone. *Arid Zone Research*. Pp.60 and 2 maps. UNESCO, Rome

2.5 אורן קנרי (*Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC.)

(הקדמה, תפוצה, אקולוגיה, אקו פיזיולוגיה ויחסי צמח-מים, מגוון גנטי, ריבוי)

הקדמה

ההתעניינות הגוברת במין זה בארץ ובאזורים אחרים בעולם בהם שורר אקלים ים-תיכוני נובעת ממִכלול התכונות שקיימות באורן זה, שמאפשרות לו עמידות רבה יחסית בתנאי יובש וקרינה חזקה, ובעיקר עמידות בשרֵפות. העמידות נובעת ממספר מאפיינים, כגון: קליפה עבה, אצטרובלים סרוטיניים (אצטרובלים שמהם יש פיזור זרעים רק לאחר אירועים בהם יש חום גבוה ולחות אוויר יחסית נמוכה ביותר, כפי שקורה מיד לאחר שרֵפת כותרות), ועוד. אך בעיקר מהיותו בעל תכונה נדירה בקרב האורנים והיא, שבמידה והעץ לא נִשרף כולו ורק העלווה והענפים הדקים נפגעו, הכותרת מוריקה שנית תוך פרק זמן קצר מפקעים החבויים בקליפה העבה של הגזע והענפים (פקעים אפיקורמיים). גם הגדם של גזע חיי שנכרת מגדל נצרים רבים, שגדֵלים בקצב גבוה. כך, עִקבות הפגיעה משוקמים תוך פרק זמן קצר יחסית לעומת הזמן הדרוש לשיקום חלקת יער בה גדלים מיני מחטניים אחרים [4, 21]. כל התכונות האלו הביאו לידי כך שהמין אוקלם באזורים שונים בעולם בהם קיימים תנאים יובשניים, ותדירות שֹרֵפות גבוהה כמו למשל באוסטרליה, דרום אפריקה, דרום אמריקה, ועוד.

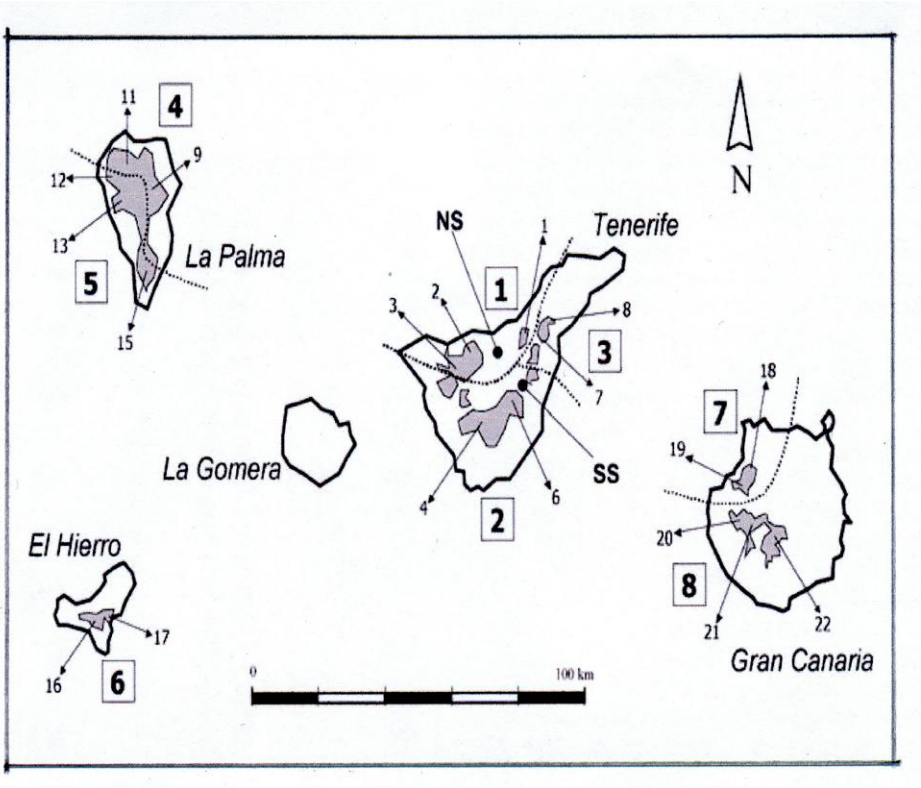
תפוצה

תחומי תפוצתו הטבעי (האראל) הנוכחי של האורן הקנרי הם חמישה מתוך שבעת האיים הקנריים, והם: גראן-קנריה, טנריף, לה-פלמה, אל-יירו ולה-גומרה, אשר ממוקמים באוקיאנוס האטלנטי במרחק 270 ו-580 ק״מ מערבית למרוקו שבאפריקה, בין קווי הרוחב $27^{0}45'$ ו- $29^{0}10'$ צפון, ובין קווי האורך $18^{0}00'$ ו- $14^{0}10'$ מערב. האיים הקנריים נוצרו כתוצאה מפעילות געשית בתקופות גיאולוגיות שונות, פעילות זו עדיין נמשכת ומהווה גורם אקולוגי רב משמעות [20]. הבידוד הגיאוגרפי של האיים הקנריים והתנאים האקולוגיים בהם (אקלים, גיאולוגיה וקרקע) [6] אִפשרו את קיומם עד ימינו של מיני צמחים שהם שרידים לחברות צומח מתקופות גיאולוגיות קדומות [2, 15]. אחד מהם הוא האורן הקנרי, שהוא שריד לאורן קדמון שהיווה מרכיב חשוב ביערות המחטניים שהשתרעו לאורך חופי אוקיאנוס התטיס (Tethys), מאזור ההימלאיה ועד מה שהיום הם חצי האי האיברי

ומרוקו שבצפון אפריקה, שהיו מאוחדות לפני היווצרות מעבר הגיברלטר [11]. שריד נוסף לאורן הקדמון הזה הוא אורן ארוך מחטים (*Pinus roxburghii* Sarg.), שגדל עתה באזור גיאוגרפי שהיווה את הקצה השני של תחום התפוצה הקדמוני, שהיה למרגלות ההימליה, במדינות: בוטן, נפאל, צפון הודו וצפון פקיסטן [12].

אקולוגיה

כל אחד מהאיים הקנאריים נוצר בתקופה שונה, וטווח הגילים של האיים נע בין פחות מ-1 ועד כ- 20 מיליון שנה. האיים הקדומים ביותר קרובים למרוקו הם: Lanzarote, Fuerteventura, לאחר מכן נוצרו Gran-Canaria, Tenerife והצעירים ביותר הם La-Palma, La-Gomera, El-Hiero. כל אי עבר ארועים גיאולוגיים שונים (פעילות געשית), אשר קבעו את פני השטח, את המבנה הכימי של הסלעים ואת מבנה הקרקע והתכונות הפיזיקליות והכימיות שלה. בנוסף לכך, המבנה הטופוגרפי, כלומר, השילוב של הגובה מעל פני הים והפנות של המדרונות ביחס לרוחות השולטות שכיוונן מצפון-מזרח לדרום-מערב, יצרו בשלושת האיים: גראן-קנריה, טנריף ולה-פלמה אזורים אקולוגיים השונים מאוד אחד מהשני בתכונותיהם, שנעים מאקלים סמי-ארידי ועד סוב-הומידי.



המפה הסכמטית מתארת את שטחי היער הטבעי של האורן הקנרי באיים השונים, את האזורים האקולוגיים (בספרות גדולות), ואת המקומות מהם נאסף חומר למחקרים אקולוגיים, גנטיים ופיזיולוגיים (מספרים קטנים). האי טנריף נחלק לשלושה אזורים אקולוגיים, האי לה-פלמה וגראן-קנריה נחלקים לשני אזורים כל אחד. בשני האיים הנותרים, שהם אל-היירו ולה-גומרה, יש בכל אחד אקולוגיה משלו, אך באחרון ישנם רק שרידים מועטים בלבד ליער שהיה באי בעבר. כך, שלמעשה אורן קנרי גדל עתה בשמונה אזורים אקולוגיים שגם בתוכם קיימים הבדלים ניכרים הנובעים מהגובה מעל פני הים ובהתאמה לכך כמות הגשמים, כמות הקרינה ועוצמתה, הטמפרטורה וסוג הקרקע [1, 3]. הייחודיות האקולוגית של האיים הקנריים, הכוללת את הפעילות הוולקנית התמידית מקֶדמת דנא, הגורמת לשרפות יער מחד-גיסא ולפגיעות פיזיות קשות בעצים כתוצאה ממטחי אבנים וסלעים מאידך-גיסא, שרפות יער הנְגרמות תדיר על ידי סערות ברקים ועל ידי האדם מאז המאה ה-15, היוו ומהווים גורם רב-משמעי בתהליכי הברירה האבולוציוניים, שהעדיפו תכונות מיוחדות של העצה באורן זה לעומת אורנים ים-תיכוניים אחרים, התומכות בהתחדשות וגטטיבית על ידי הנצה לאחר פגיעה קשה בעלווה, בכותרות ובגזע [3]. במחקר על תכונות העצה באורן הקנרי, נימצא כי מעל ל-40% מהמשקל היבש של עצת הגלעין (Heartwood) נובע מחומרים הניתנים למיצוי שעיקרם שרף, חומרים שומניים ופנולים. בעצת הירך (Sapwood) חומרים אלו מהווים רק 4% מהמשקל היבש. נִמצא כי בעצת הירך יש כמות רבה במיוחד (>15%-) של תאי פרנכימה חיים, האוגרים עמילן, בהשוואה לכמותם באורנים אחרים. קיים גם קשר ישיר בין כמות העמילן לבין כמות החומרים המשניים בעצה. הפעילות המטבולית הרבה המתקיימת בעצת האורן הקנרי קשורה לתכונה נוספת המייחדת אורן זה, והיא ההנצה וההתחדשות, וגם יכולת ההתנגדות לתוצאות הנובעות מחיגור הגזע (הסרת הקליפה, השיפה והקמביום מגזע העץ בצורה של טבעת מלאה או חלקית סביב הגזע).

התדירויות של תכונות פנוטיפיות, הקובעות את העמידות לשרֵפה של עצים (עובי הקליפה, כמות אצטרובלים סרוטינים, כמות זרעים באצטרובלים, שטח עצת הגלעין ביחס לשטח חתך רוחב העץ, ועוד) נבדקה בעצים הגדלים באוכלוסיות טבעיות שונות שבשמונת האקולוגיות השונות באיים הקנאריים [4]. התוצאות הצביעו על קשרים סטטיסטיים מובהקים בין כמות המשקעים השנתית לבין תדירות השרֵפות, כמות של עצים נושאי אצטרובלים סרוטיניים ועובי הקליפה. נמצא כי סך שטח חתך הרוחב של עצת הירך בעצים

הגדלים ביחידת שטח, הוא הסמן הטוב ביותר ל"איכות בית הגידול" (Site quality). בבתי גידול איכותיים עצים נושאי אצטרובלים סרוטיניים ועצים בהם הקליפה עבה (ללא קשר עם הקף הגזע ו/או גיל העץ) מופיעים בתדירות גבוהה לעומת תדירותם בבתי גידול שאיכותם פחותה. הדבר מוסבר בכך שבבתי גידול טובים יש התפתחות רבה של תת-היער המאפשר קיומם של שרפות בתדירות גבוהה, השרפות הם גורם ברירה אבולוציוני רב עוצמה. התכונות של קליפה עבה והנצה נחשבות לתכונות של אסטרטגיה אלטרנטיבית המשלימה את האסטרטגיה של אצטרובלים סרוטיניים בעמידות לשרפות יער במחטניים. באורן קנרי שתי האסטרטגיות מתקיימות בו זמנית, דבר שמעלה את רמת הכשירות להתמודד עם תופעת השרפות.

אקו-פיזיולוגיה ויחסי צמח –מים

היכולת של האורן הקנרי להתאים את עצמו לתנאים האקולוגיים השונים לחלוטין ואף מנוגדים, השוררים במרחקים קטנים יחסית באיים הקנאריים השונים. כלומר, מבתי גידול לחים מאוד ועד בתי גידול יובשניים סמי-ארידיים, זכו לאחרונה להתעניינות מרובה. ההבדלים בין בתי הגידול נובעים בעיקרם משילוב של: הגובה מעל פני הים, המיקום הטופוגרפי ביחס לרוחות השולטות המשפיעות על מידת הלחות בבית הגידול, ההרכב הכימי והמבנה הפיסיקלי של הקרקע שנוצרה מסלעים וולקניים.

המבנה האנטומי של המחטים באורן הקנרי והפעילות הפיזיולוגית בהם צריכים להתמודד עם תנאי סביבה המשתנים מגובה פני הים, ועד תנאים השוררים בגבול העליון של היער בגובה של כ-2,200 מטר. כלומר, מתנאים של רסס מי-ים מרובה הנישא ברוח ועד טמפרטורת אוויר נמוכה, קרינה חזקה במיוחד, ריכוזי אוזון גבוהים ויובש בגבהים שמעל ל- 1800 ~מ'. היובש נובע מכך שגבהים אלו הם בדרך כלל מעל לשִכבת העננים.

האורן הקנרי נושא בנדן (ברכיבלסט =Brachiblast) שלוש מחטים ארוכות יחסית. צורת כל מחט בחתך הרוחב היא משולש עם בסיס מקומר בצד החיצוני של המחט. הפיוניות שקועות מאוד באפידרמיס, ושעווה, שמחזירה היטב את הקרינה, מחסה את האפידרמיס ואת תאי הכניסה המיוחדים לפיוניות (Epistomatal chamber). בכך יש התאמה טובה למניעת איבוד מים, הגנה בפני קרינה אינטנסיבית רבת עוצמה וקרינת על-סגול (UV) [10]. בנוסף, הוכח כי הרִקמה המכאנית =הסקלרנכימה (Sclerenchyma), שמתחת לרקמת

האפידרמיס, תורמת לעמידות רבה בפני יובש ולשמירה על מִבנה המחט. בעצים הסובלים מעקת יובש מבנה המחטים משתנה, מתרבים מאוד התאים הסקלרנכימיים ברקמת ההיפודרמיס ובקרבת צרורות ההובלה, משתנה היחס שבין כמות תאי הפרנכימה התומכים בפוטוסינתזה לבין כמות תאי ההובלה (Vascular bundle). כלומר, היחס שבין כמות הרקמה המספקת לזו המסופקת משתנה וקטֵן. תופעה זו מראה כי ישנה השפעה רבה של תנאי הסביבה (יובש) על המבנה האנטומי וההסתגלות ליובש בעת התפתחות המחטים [10].

נעשה מחקר ארוך טווח [10] שעסק בשאלה כיצד משפיע הגובה מעל פני הים והתנאים האקולוגיים הנִלווים לכך על רמת נוגדני החמצון, המבנה של הכלורופלסטים והרכב הצבעים בהם ומידת הקליטה והפליטה של קרינה על ידי הכלורופיל (Chlorophyll fluorescence). נִמצא כי האורן הקנרי מסוגל לשנות את ריכוזי הצבעים והחומרים נוגדי חמצון בהתאם לתנאי בית הגידול. נמצא כי במחטֵי העצים הגדלים בגבהים שמעל לאלף מטר ישנה עלייה בכמות החומצה האסקורבית וירידה בכמות הכלורופיל, עלייה ביחס שבין כמות הקרטנואידים לכמות הכלורופיל, וירידה ביחס שבין α–קרוטן ל—β קרוטן. תופעות אלו מרמזות על פעילות חִמצון רבה כתוצאה מהתנאים האקולוגיים בגבהים אלו, אך ללא פגיעה במערכות הפיזיולוגיות. נִמצא כי המחטים של האורן הקנרי מסתגלות לתנאי הטמפרטורה, ומחטים שנִדגמו מעצים הגדלים בגובה רב, שם שוררות בחורף טמפרטורות מאוד נמוכות ואף טמפרטורות שמתחת לאפס, מראות הסתגלות טובה יותר לקור, ופחות טובה לטמפרטורות גבוהות מאשר מחטים מעצים שגדלים באזורים נמוכים וחמים יותר. בנוסף נִמצא כי השפעת הרסס הימי הנישא ברוח מגיעה עד לרום של כ- אלף מטר מעל פני הים. רסס זה גורם לעלייה בריכוזי יוני הנתרן והכלור במחטי האורן לעומת ריכוזם של יונים אלו בגבהים שמעל לאלף מטר, ובריכוזם של יונים אלו במחטים של אורנים ים-תיכוניים אחרים - אך ללא נזק לרקמות ולפעילות הפוטוסינטטית.

המהלך השנתי של הפעילות הפיזיולוגית, קרי עוצמת הדיות וחילופי גזים במין זה בהשפעת התנאים האקולוגיים, נחקרה בנקודה גיאוגרפית אחת באי טנריף, בגובה של 1,650 מ׳ מעל פני הים [10, 17]. בגובה זה עדיין קיימת השפעה רבה לערפיליות ולעננות הגבוהה בחודשי הקיץ אשר מקלה על עקת היובש ועוצמת הקרינה. המחקרים נעשו בשתי רמות: עוצמת חילופי הגזים נִמדדה בעזרת מכשיר אינפרה-אדום נייד, מידת הדיות של העץ השלם נמדדה בעזרת שיטת פולס החום. התוצאות הראו כי הטמפרטורה המיטבית לפוטוסינתזה

היא כ -25^0 C, שבה קצב הטמעה (Assimilation=A) של דו-תחמוצת הפחמן הוא גבוה, וקיימת רמה גבוהה של פוטוסינטזה ומוליכות הפיוניות (Stomatal conductance=g_s) מגיבה חזק לשינויים ברמת הגרעון בלחץ אדי המים באוויר (VPD). עלייה בגרעון זה מביאה לידי ירידה במוליכות הפיוניות, דבר המתבטא בהעלאת יעילות ניצול מים הפנימיים (A/g_s). הפעילות הפוטוסינטטית מתקיימת במשך כל השנה, והיא תלויה בתנאים המטאורולוגיים שבכל יום. פעילות גבוהה קיימת באביב ובסתיו. קיימים שינויים במהלך השנתי של היחס שבין מידת הפוטוסינתזה למידת הדיות (A/Tr), כלומר, ביעילות ניצול המים (Water Use Efficiency). יעילות זו גבוהה יותר בסתיו ובחורף ונמוכה יותר בקיץ. הדיות של העץ השלם נמדדה בעזרת שיטת פולס החום. נמצא כי למרות שינויים ברמת זמינות המים בקרקע, וברמת הגרעון בלחץ אדי המים באוויר, לא נמצאה תנודה שנתית ברורה בעוצמת הדיות היומית מפני שההשפעה של זמינות המים הנמוכה בקרקע בעונת הקיץ מרוככת על ידי לחות אוויר גבוהה ועננות. בכל אופן, ברמה נתונה של קרינה וגרעון בלחץ אדי המים באוויר, הדיות הייתה נמוכה באופן מובהק בעונה החמה והיבשה מאשר בשאר עונות השנה. הדיות השנתית הסתכמה ב-252.3 מ״מ, שהיא כמות מאוד נמוכה ביחס לאקו-סיסטמות ים-תיכוניות אחרות, דבר המראה על ההסתגלות של מין זה למיעוט מים בקרקע בעת של אוופוטרנספירציה פוטנציאלית גבוהה [14]. בנוסף לכך, סגירת הפיוניות החזקה, בתגובה לזמינות מים נמוכה בקרקע ולגרעון בלחץ אדי המים באוויר, גם מונעת את חדירת האוזון למחטים ובכך מפחיתה מאוד את ההשפעה של ריכוזי האוזון הגבוהים באוויר בעונת הקיץ [23].

מגוון גנטי

ראשית, נקדים ונאמר כי האורן הקנרי הקדמון מתקופת השלישון נחשב כמין מפתח בהתפתחות מיני אורנים שונים וביניהם המינים הים-תיכוניים הגדלים בחגורת היער הנמוכה דוגמת אורן ירושלים, אורן ברוטיה, אורן הצנובר, אורן ימי ואחרים, וגם מיני אורנים הגדלים בחגורת היער ההררית הגבוהה דוגמת אורן צמברה ועוד רבים אחרים [12].

ניתן לצפות כי באורן הקנרי, הגדל בחמישה איים שונים ובהם בתי גידול הנבדלים מאוד באקולוגיה שלהם [1, 3], תיווצר גם שונות פנוטיפית וגנטית רבה. במחקר על האורנים הים-תיכוניים ועל ההיסטוריה שלהם נמצא כי קיימת שונות רבה ביותר בתכונות

המורפולוגיות של האצטרובלים בהקשר לתנאים האקולוגיים בהם גדלו העצים (גובה מעל פני הים, הפינות של המדרון, כמות הגשמים ועוד). המחקר על השונות המורפולוגית של האצטרובלים בהקשר לתנאים האקולוגיים הורחב מאוד, אך לא הושגו מְמצאים מובהקים על הקשר בין הצורות המורפולוגיות של הקשקשים באצטרובלים, שהם כנראה סימן אבולוציוני, לבין התנאים האקולוגיים בהם גדלים העצים [7].

מחקר אשר השתמש בשיטה של הרצה בשדה חשמלי על ג׳ל עמילן של האיזו-אנזימים (חלבונים תוצרי גנים), והם: ACP, EST, GOT, SOD שהופקו מהמגה-גמטופיט (אנדוספרם מדומה) של זרעי אורנים שונים הגדלים בטרטוריה ספרדית (חצי האי האיברי ובאיים הקנאריים), הראה כי אפשרי להבדיל בין המינים שנחקרו בעזרת השוואה של מרחק הנדידה בג׳ל של החלבונים השונים [9]. מחקר נוסף בדק את המקור ואת גודלה של השונות הגנטית בתוך ובין 23 אוכלוסיות (Provenances) של אורן קנרי, שנבחרו כדי לייצג את מרחב התפוצה של המין בחמשה מהאיים הקנאריים ובשמונה האקולוגיות השונות שהוזכרו לע״ל [19]. גם במחקר זה נעשה שימוש בשיטה של הרצה בשדה חשמלי על ג׳ל עמילן, של חלבונים תוצרי גנים (איזו-אנזימים) שהופקו מהאנדוספרם המדומה של זרעים, שנאסף מלא פחות מ- 25 עצים בכל אוכלוסייה שנִדגמה. נבדקה השונות בקרב 16 אנזימים (גנים) שונים ובהם 32 אתרים (loci). מְמצאי המחקר מצביעים על כך שעיקר השונות הגנטית במין זה מצויה בתוך האוכלוסיות. למרות הפיזור הרב, יחסית, של גנים בעזרת האבקה שנישאת עם הרוחות בתוך ובין האיים, דבר שאמור היה לגרום לאחידות במבנה הגנטי, נִמצאו הבדלים בין איים בכמות האללים ״הפרטיים״. נִמצא שבכל אי המבנה הגנטי שונה, תופעה שנובעת מכמות הגנים המונומורפיים (גנים בהם רק אלל אחד) באוכלוסיות. כמו כן הוכחה ההשפעה הרבה של התנאים האקולוגיים על התדירות של האללים בגנים השונים [13]. ההבדלים בין האיים ובתוך האיים בין האקולוגיות השונות, הם תוצאה של הברירה הטבעית המופעלת על ידי הכוחות האקולוגיים המקומיים, שהם חזקים דיים כדי שכל אי ובתוכו כל אזור אקולוגי יתאפיין בווריאציה גנטית משלו, זאת למרות הסעה מרובה של אבקה.

מחקר, שבדק את השונות הגנטית באורן קנרי על ידי בדיקת מקטעים של הד.נ.א. שבכלורופלסטים (תורשה זכרית) בעזרת ״מיקרו-סטליטים״ (cpSSR), מצא כי האיים הקנאריים אוכלסו באורן קנרי ממקור בודד, מכיוון שההבדלים בין האיים בד.נ.א. זה

קטנים מאוד וקיימים הבדלים יחסית ניכרים בין אוכלוסיות שעל אותו האי. התפוצה של מִקטעי ד.נ.א מסוימים באי טנריף וגרן-קנריה מעידים על החשיבות הרבה של התפרצויות געשיות בתקופת הפליאוקן והקוואטרנר, כמו גם על החשיבות של הסעה ארוכת טווח של אבקה על המבנה הגנטי של אוכלוסיות אורן קנרי [9]. במחקר אחר, אשר השתמש גם הוא בבדיקת מקטעים של הד.נ.א. שבכלורופלסטים בעזרת "מיקרו-סטליטים" (cpSSR), נמצא כי השונות הגנטית באיים מושפעת מאוד מהשינויים בגודלן של האוכלוסיות בעקבות פעילות געשית, שבתחילה גורמת לצמצום משמעותי בגודלן של האוכלוסיות, ולאחר מכאן מאפשרת שוב התפשטות רבה מתוך השרידים שנותרו בתוך השטחים שהתפנו [16].

ריבוי

מתיאור התכונות הייחודיות לאורן הקנרי ניתן להסיק כי אפשרי לחדש ו/או לרבות מין זה בדרכים וגטטיביות ובעזרת זרעים. כבר הוזכר פעמים מספר כי באורן זה קיימת התכונה של חידוש וגטטיבי מעיניים החבויות עמוק בקליפה. למטרות שימור גנטי ו/או למטרות השבחה ומטעֵי אם לזרעים אפשרי לרבות אורן זה גם בעזרת השימוש בתרביות רקמה מהקוטולידונים [18].

חידוש טבעי קיים מזריעה עצמית בשטחי היער ובשטחים הפנויים מיער, כתוצאה משרֵפה ו/או כריתה, בעזרת פיזור זרעים רב מאצטרובלים סרוטיניים ומאצטרובלים רגילים. אמנם השרֵפה גורמת לפתיחת האצטרובלים הסרוטיניים, אך חום האוויר בעת השרֵפה אינו מוסיף ואינו גורע ממידת הנביטה שלאחר מכן [5].

ספרות, מקור הציטוט

1. Blanco-Andray, A., Castroviejo-Bolibar, M., Fraile-Sanchez, J-L., Gandullo-Gutierrez, J-M., Munoz-De La Fuente, L-A. Sanchez-Palomares, O., 1989. Estudio Ecologico Del Pino Canario. Ministerio de Agricultura Pesca Y Alimentacion, Instituto Nacional Para La Conservacion De La Naturaleza, Madrid, Spain. Pp 190

2. Bramwell, D., 1976. VI. The Endemic Flora of the Canary Islands: Distribution, Relationships and Phytogeography. *In*: Kunkel G. (Ed), Biogeography and Ecology in the Canary Islands. Dr. W. Junk b.v. Publishers, The Hague, Pp 207-239.

3. Climent-Maldonado, J., Gil-Sanchez, L., De Tuero Y De Reyna, M., 1996. Las regions de procedencia de *Pinus canariensis* Chr.Sm.ex DC. Ministerio de Agricultura Pesca Y Alimentacion, Instituto Nacional Para La Conservacion De La Naturaleza, Madrid, Spain.Pp 45.

4. Climent, J., Tapias, R., Pardos, J.A. and Gil, L., 2004. Fire adaptation in the Canary Islands pine (*Pinus canariensis*). *Plant Ecology* **171**, 185-196.

5. Climent, J.M., Aranda, I., Alonso, J., Pardos, J.A. and Gil, L., 2006. Developmental constrains limit the response of Canary Island pine seedlings to combined shad and drought. *For. Ecol. Manage*. **231**, 164-168.

6. Escudero, A., Sanz, M.V., Pita, J.M. and Perez-Garcia, F., 1999. Probability of germination after heat treatment of native Spanish pines. *Ann. For. Sci*. **56**, 511-520.

7. Fernandopulle, D., 1976. V. Climatic Characteristics of the Canary Islands. *In*: Kunkel G. (Ed), Biogeography and Ecology in the Canary Islands. Dr. W. Junk b.v. Publishers, The Hague, Pp 185-206

8. Gil, L., Climent, J., Nanos, Mutke, S., Ortiz, I. and Schiller, G., 2002. Cone morphology variation in *Pinus canariensis* Sm. *Plant Syst. Evol*. **235**, 35-51.

9. Gomez, A., Gonzalez-Martinez, S.C., Collada, C., Climent, J. and Gil, L., 2003. Complex population genetic structure in the endemic Canary Island pine revealed using chkloroplast microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet*. **107**, 1123-1131.

10. González-Andrés, F., Pita, J-M., Ortiz J-M., 1999. Identification of Iberian and Camnarian species of the genus *Pinus* with four isoenzyme systems. *Bioch. Syst. Ecol*. **27**, 235-242.

11. Jimenez, M.S., Luis, V.C., Peters, J., González-Rodriguez, A.M. and Morales, D., 2005. Ecophysiological studies on *Pinus canariensis*. *Phyton* (Austria) **45**, 169-177.

12. Klaus, W., 1982. Ein *Pinus canariensis* Smith- Zapfenfund aus dem Ober-Miozen Pannon des Wiener Beckens. *Ann. Naturhist. Mus. Wien*. **84**, 79-84.

13. Klaus, W., 1989. Mediterranean pines and their history. *Plant Syst. Evol*. **162**, 133-163.

14. Korol, L., Gil, S.L., Climent, M.J., Zehavi, A. and Schiller, G., 1999. Canary Islands Pine (*Pinus canariensis* CHR.SM.EX. DC). 2. Genen flow among native populations. *Forest Genetics* 6, 277-282.

15. Luis, V.C., Jiménez, M.S., Morales, D., Kuffera, J. and Wieser, G., 2005. Canopy transpiration of a Canary Island pine forest. *Agri. For. Meteo*. **135**, 117-123.

16. Mercer J., 1980. The Canary Islanders, their prehistory conquest and survival. Rex Collingd, London.

17. Navascusés, M., Vaxevanidou, Z., Gonzales-Martinez, S.C., Climent, J., Gil, L. and Emerson, B.C., 2006. Chloroplast microsatellites reveal colonization and metapopulation dynamics in the Canary Island pine. *Molecular Ecology* **15**, 2691-2698.

18. Peters, J., Morales. D. and Jiménez, M.S., 2003. Gas exchange characteristics of *Pinus canariensis* needles in a forest stand on Tenerife, Canary Islands. *Trees* **17**, 492-500.

19. Pulido, C.M., Harry, I.S. and Thorpe, T., 1990. *In vitro* regeneration of plantlets of Canary Island pine (*Pinus canariensis*). *Can. J. For. Res*. **20**, 1200-1211.

20. Schiller, G., Korol, L., Ungar, E.D., Zehavi, A., Gil, S.L. and Climent M.J., 1999. Canary Islands Pine (*Pinus canariensis* CHR.SM.EX. DC). 1. Differentiation among native populations in their Isoenzymes. *Forest Genetics* **6**, 257-276

21. Schmincke, H.U., 1976. IV. The Geology of the Canary Islands. *In*: Kunkel G. (Ed), Biogeography and Ecology in the Canary Islands. Dr. W. Junk b.v. Publishers, The Hague, Pp 160-184

22. Tapias, R., Climent, J., Pardos, J.A. and Gil, L., 2004. Life history of Mediterranean pines. *Plant Ecology* **171**, 53-68.

23. Wieser, G., Peters, J., Luis, V.C., Morales, D. and Jiménez, M.S., 2002. Ecophysiological studies on the water relations in a *Pinus canariensis* stand, Tenerife, Canary Islands. *Phyton* (Horn, Austria) **42**, 291-304.

24. Wieser, G., Luis, V.C. and Cuevas, E., 2006. Quantification of ozone uptake at stand level in a *Pinus canariensis* forest in Tenerife, Canary Islands: An approach based on sap flow measurements. *Envir. Pollu*. **140**, 383-386.

2.6 ברוש מצוי (*Cupressus sempervirens* L.)

(תפוצה, אקולוגיה, אקו פיזיולוגיה ויחסי צמח-מים, מגוון גנטי, ריבוי)

תפוצה

משפחת הברושיים כוללת כ-25 מיני ברוש הגדלים ביבשות: אסיה, אפריקה, אירופה ואמריקה הצפונית והמרכזית. תפוצה עולמית זו דומה לטבעת המקיפה את כדור הארץ. במזרח אסיה מיני ברושים גדלים בין קווי הרוחב 20^0 ו- 37^0 צפון, ובאזור ההימלאיה בין קווי הרוחב 27^0 ו- 35^0 צפון. באמריקה ברושים גדלים ברצועה גיאוגרפית הנמשכת מפנמה באמריקה המרכזית ועד מדינת אורגון אשר בצידה המערבי של ארצות הברית כלומר, בין קווי הרוחב 8^0 ו- 35^0 צפון [10]. אזור תפוצתו הטבעית (האראל) של הברוש המצוי הוא מזרח אגן הים התיכון בין קווי הרוחב 27^0 ו- 37^0 צפון. כלומר,יוון (אזור הפלופונס), איים בים האגאי, כרתים, קפריסין, דרום-מערב ודרום טורקיה, סוריה, לבנון, ישראל, ירדן, אירן, וגם אזור קירינאיקה שבלוב [65]. מחקר גנטי רחב הקף על השונות הגנטית בברוש מצוי באיטליה ומזרח אגן הים התיכון [11] העלה כי מין זה כבר גדל בתחום איטליה בתקופת הפליסטוקן. הברוש המצוי, בייחוד הצורה (הפנוטיפ) הצריפית שלו, הופץ בעולם וגדל באזורי אקלים הומולוגיים, בהם הוא ניטע בעיקר למטרות נוי.

באגן הים התיכון גדלים עוד שני מיני ברוש;

<u>האחד</u>, ברוש דופרזיאנה (*Cupressus dupreziana* A. Cammus) שאוכלוסייה שרידית קטנה שלו (Relic population), המונה מספר עשרות צמחים, גדלה בוואדיות שבאזור ההררי שבלב הסהרה על הגבול שבין אלג׳יריה ולוב (Tassili- n'Ajjer). על סמך השרידים נקבע כי בעבר גדל ברוש זה גם ברמת Hoggar שבאלג׳יר [24].

<u>השני</u>, ברוש אטלנטי (*Cupressus atlantica* Gaussen) שגדֵל בהרי האטלס של מרוקו [20]. על-פי הימצאותם בהתאמה בברוש מצוי, בברוש דופרזיאנה ובברוש אטלנטי, של אותם החומרים בהרכב השרף בעלווה וביחסים הכמותיים ביניהם, וכן במבנה השעווה המכסה את העלווה [40, 41, 42] וסמנים גנטיים נוספים [45], נקבע כי שני מינים אלו קרובים מאוד לברוש המצוי ואפשרי להתייחס עליהם כתתי-מין שלו. ייתכן שהם שרידים (רליקטים) שנתהוו כתוצאה משינויים אקלימיים חוזרים ונשנים שהיו בתקופת הפליסטוקן וההולוקן

בצפון-אפריקה, שגרמו לבידוד אוכלוסיות ברוש מצוי, שגדלו באזורים שונים בצפון-אפריקה משאר אזור התפוצה של המין [15, 19]. כתוצאה מניתוק הקשרים הגנטיים נִמנעו חילופי גנים, וחלו עם הזמן שינויים והתאמות לתנאים האקולוגיים המקומיים. ההבדלים המורפולוגיים מתבטאים בצבע העלווה, שהיא בעלת גוון כחול בברוש אטלנטי ואצטרובלים קטנים בהרבה בברוש דופרזיאנה [10, 54].

אקולוגיה

התפוצה הגיאוגרפית של האוכלוסיות השרידיות של הברוש המצוי משתרעת בין קווי האורך 20^0 עד 60^0 מזרח, וקווי הרוחב 32^0 ועד 38^0 צפון. כלומר, מיוון ולוב ועד אירן, ומגובה פני הים ועד גבהים של 1,600 מ׳ מעל פני הים בכרתים ; זו עדות לכך שלברוש יש את היכולת לגדול בתנאי בית גידול שונים ומגוונים. כלומר, בצירופים שונים של תנאי האקלים, (הטופוגרפיה, הגיאולוגיה והקרקע) [14, 65]. הברוש המצוי עמיד בפני טמפרטורות נמוכות עד כדי -25^0 C [46] תודות ליכולת הפיסיולוגית שלו לשמור על מאזן הפחמימות למרות הירידה ברמת הפוטוסינתזה. דבר זה מתאפשר על ידי הפסקת הצמיחה וירידה ברמת הנשימה [28]. יכולת זו מאפשרת לברוש לגדול בגבהים ובאזורים ים-תיכוניים צפוניים באירופה, כלומר, למרגלות האלפים באיטליה. על-פי לב-ידון [4] מִקצב צמיחת הברוש המצוי תואם את תנאי האקלים באזור הים התיכון בכך שהוא מפסיק את הפעילות הקמביאלית בקיץ ובחורפים קרים. הפעילות הקאמביאלית מתחילה בסתיו ובחורף, וממשיכה באביב עד תחילת הקיץ, כל זה בהתאם לתנודות השנתיות בתנאי האקלים. מעבר לכך, קיימת התאמה של מקצב הצמיחה למיקרו-אקלים של בית הגידול, כלומר, לגובה מעל פני הים ולמפנה [58].

אקו-פיזיולוגיה ויחסי צמח - מים

מכיוון שהברוש המצוי הוא מין מזרח ים-תיכוני, מין הגדל בבתי גידול החשופים לתנודות חריפות ברמת המשקעים, עולה שאלת עמידותו לתנאים יובשניים. גדילתו של הברוש באזורים מדבריים, דוגמת מִנזר סנטה קתרינה ובוואדי אל-ארבעין שבסיני, אינה מרמזת בהכרח על עמידות ליובש, כי הברושים נִטעו שם בתנאים של נאת מדבר. מחקרים שנעשו במחטניים ים-תיכוניים על התכונות האנטומיות-פיזיולוגיות של העלווה, העצה בענפים, בגזע ובשורשים והקשר של מבנה זה לתכונות הובלת המים, הוכיחו כי הברוש המצוי הוא

מין סביל ליובש (Drought tolerant), והוא בעל שליטה רבה על פתיחת הפיוניות השקועות שמוגנות בשעווה. על כן הוא מדיית בכמות מועטה בהשוואה למחטניים ים-תיכוניים אחרים, גם כאשר אין מחסור במים בקרקע [3, 7, 37]. בדיקות הדיות של ברוש מצוי בתנאי משתלה הראו כי הוא בעל יכולת לקיים רמת דיות גבוהה יחסית מבלי לגרום למתחים בעמוד המים שבצינורות ההובלה בעצה ברמה שיגרמו לניתוקו ולכניסת אוויר (Embolism) [21, 22].

למרות הסבילות ליובש של הברוש המצוי [1, 37], הרי שעקת מים ממושכת גורמת לשינויים במיום הרקמות, ולשינויים בהרכב השרף בעלווה ובקליפה עד כדי היעלמות מרכיבים (חומרים) שונים מהשרף כתוצאה מפירוקם על ידי פעילות מטבולית. מחסור זה עשוי לחשוף את הצמחים לפגיעה של פטריות כי המרכיבים החסרים הם פונגיצידים יעילים [60]. בדיקות הראו כי עקת יובש מעודדת מאוד את ההתפתחות של הפטריות Diplodia pinea f.sp.cupressi ו- Pestalotiopsis funereal, בעוד שעקה שכזו מעקבת את ההתפתחות של הפטרייה Seiridium cardinale. אך זו האחרונה מתפתחת היטב בתנאים של לחות גבוהה באוויר, כפי שהיא נוצרת בתנאים של עמקים סגורים חסרי אוורור מספיק (לדוגמה, עמק בית שערים). פטריות אלו משפיעות על תנועת המים בצינורות ההובלה (Tracheids) עד כדי הפסקתה כתוצאה מסתימת הגמצים (Pit membranes) שביניהם על ידי התפטיר [33, 34, 35].

התמותה הנרחבת של עצי ברוש מצוי מהפנוטיפ האופקי, לעומת מיעוט התמותה של עצים מהפנוטיפ הצריפי, שאירעה בעקבות הבצורות הקשות מאוד בחורפים 1998/9-1999/00, שבהם ירדו 140 ו-150 מ״מ גשם בהתאמה באזור הנגב הצפוני הוכיחה כי בתנאי שדה ויער שני הפנוטיפים שונים בהתנהגותם הפיזיולוגית ומכאן בעמידותם ליובש [53] (ובפרק על יער ומים) .

מיגוון גנטי

בקרב מיני הברושים נפוצים מופעים שונים של הנוף (פנוטיפים): צורות שיחיות, עצים עם צורות נוף סגורות לגמרי (הענפים גדלים כלפי מעלה וצמודים אחד לשני = צורה צריפית), עצים עם צורות נוף פתוחות (הענפים מתפשטים לצדדים בניצב לגזע הראשי = צורת נוף אופקית), כמובן צורות ביניים הנובעות מהכלאות בין הפנוטיפים [59].

במין ברוש מצוי יש שני פנוטיפים מוגדרים (צורות, מופעים של כותרת העץ), האחד, פנוטיפ אופקי שבו הענפים נִפרסים בזווית של כ~90^0 ביחס לגזע, והשני פנוטיפ צריפי שבו הענפים גדלים במקביל לגזע וצמודים אליו. קיימות צורות ביניים רבות כתוצאה מהפריה הדדית. בכל חלקות היער השרידיות (לא נטועות) במרחבי האריאל של מין זה גדל רק הפנוטיפ האופקי (var. horizontalis) ואין בנִמצא הפנוטיפ הצריפי (var. pyramidalis = var. stricta) . מבין הסברות השונות על היווצרות הפנוטיפ הצריפי יש שטוענים כי הוא מוטציה שנמצאה וטופחה כבר בתקופות היסטוריות קדומות במזרח התיכון [12]. סימוכין נוספים הם התיאורים של גן העדן (פרדס = Paradise), כפי שהם מופיעים בציורים ובשטיחים פרסיים עתיקים המכילים גם עץ (ברוש?) שצורתו היא צריפית.

נחקרו היחסים שבין צורת נוף העץ ממנו נאספו זרעים לנוף הצאצאים [13], התוצאות הראו בבירור כי הפנוטיפ הצריפי הוא פנוטיפ רצסיבי, כלומר, האללים של הגנים הקובעים את צורת הנוף הם אללים רצסיביים, בעוד שהצורה האופקית הטהורה היא הדומיננטית. כלומר, שני האללים הם הדומיננטיים. פנוטיפים (צורות נוף), שאינן חד-משמעיות אלא "מעורבות", יש בהם שני אללים, אחד רצסיבי והשני דומיננטי. שימוש בשיטות גנטיות מתקדמות של בדיקת הד.נ.א. (RAPD) ובשיטות של בדיקת חלבונים תוצרי גנים בשדה חשמלי (Isoenzyme electrophoresis), העלה כי קיימים הבדלים בין שני הפנוטיפים (צורות הנוף) במִבנה הגנום ובתדירותם של אללים באנזימים השונים [26, 51].

לתנאים האקולוגיים של בית הגידול השפעה רבה על התפתחות נוף העצים במסגרת פנוטיפ מוגדר [23, 48]. כלומר, קיימת השפעה על גובה העץ ועל הקוטר/ההיקף של כותרת העץ בגבהים שונים מעל פני הקרקע. למשל, בגובה 1/3, 1/2, 2/3 מגובה העץ. דוגמה ברורה להשפעת התנאים האקולוגיים על התפתחות הכותרת אפשר למצוא, למשל, בהשוואת צורת הכותרת הצריפית של הברושים הגדלים ביער "שער הגיא" לאלו הגדלים במושבה ראש פינה הוותיקה.

הפטרייה *Seridium cardinala*, שהוחדרה מארה"ב לצרפת בתקופת מלחמת העולם השנייה, התפשטה עם הזמן לאזורים נוספים סביב אגן הים התיכון, היא פגעה קשות באוכלוסיות הנטועות של הברוש המצוי. בנוסף, היו גם תופעות של קרה יוצאת דופן בעוצמתה באיטליה, שגרמו לתמותה מבדלת בנטיעות של ברוש מצוי [43] שניטע בה כבר

בתקופות האימפריה הרומית [36]. החשיבות הגננית, הנופית והתרבותית, ומכאן הכלכלית של הברוש המצוי, בעיקר של הפנוטיפ הצריפי, באזורים הים תיכוניים של אירופה, היוו זרז למחקרים על השונות הגנטית בברוש מצוי, ולניסיונות הרבים למצוא גנומים עמידים למחלות השונות. ניתן להניח כי יכולתו של הברוש המצוי להתקיים ולהתרבות באופן טבעי, בצירופים הרבים של התנאים האקולוגיים השונים במרחבי האראל שלו [65], קשורה קרוב לוודאי להיווצרותם של אקוטיפים המותאמים לתנאי בית הגידול הייחודיים בכל אזור ואזור. נחקרה גודלה של השונות הגנטית, שבתוך ושבין אוכלוסיות שרידיות הגדלות במקומות גיאוגרפיים שונים ביוון וטורקיה [38, 39, 44]. התוצאות הראו כי השונות הגנטית הנִצפית (Hobs) בתוך האוכלוסיות האלו, שהן קטנות בהיקפן, היא 0.326 (32.6%). שונות זו גבוהה מהשונות שבין האוכלוסיות. כלומר, למרות גודלן המוגבל של האוכלוסיות הטבעיות הן מצליחות לשמור על שונות גנטית גבוהה. לעומת זאת, באוכלוסיות הנטועות למטרות נוי, משברי רוח ויערות, השונות הגנטית נמוכה בהרבה כתוצאה מירידה בכמות האללים הנדירים (Rare alleles). תוצאה זו מצביעה על כך שהנטיעות מתבססות על איסוף זרעים מהורים בודדים או אפילו מהורה יחיד. תוצאות המחקרים מצביעות גם על קיומו של קשר סטטיסטי חיובי בין גודלה של השונות הגנטית הנִצפית (Hobs) באוכלוסיות הטבעיות לבין מיקומן הגיאוגרפי מבחינת קווי האורך במרחבי האראל של המין (R^2=0.88**). כמו כן נִמצא שהתדירות של אללים באנזימים פולימורפיים משתנה בהתאם למיקום הגיאוגרפי של האוכלוסיות, וקיים קשר סטטיסטי בעל מתאם (R) חיובי מובהק בין המרחק הגנטי המחושב שבין האוכלוסיות (D) לבין המרחק הגיאוגרפי (בק״מ) שבין האוכלוסיות. נחקר גודלה של השונות הגנטית בין ובתוך 22 אוכלוסיות שונות של המין ברוש מצוי מכרתים, קפריסין, האי קוס, האי רודוס, האי סמוס, אירן, ירדן, סוריה, טורקיה וישראל [27]. נִמצא כי ניתן לחלק את האראל של מין זה, כלומר, לקבץ את האוכלוסיות שנבדקו בהתאם לפרמטרים הגנטית שלהם לשלוש תת-קבוצות, והם:

1. קבוצה צפונית-מזרחית, הכוללת אוכלוסיות מאירן, סוריה, ואזור הרי הטאורוס (אנטליה) שבטורקיה;
2. קבוצה של מזרח הים האגאי, הכוללת אוכלוסיות מהאיים קוס וסמוס יחד עם אוכלוסיות ממערב טורקיה שלחופי הים האגאי;
3. קבוצה שלישית, הכוללת אוכלוסיות מהאי כרתים, קפריסין, רודוס וירדן. לקבוצה זו משתייכים גם הנטיעות של ברוש מצוי בישראל. ניתן להסיק מכך כי זרעי ברוש מצוי

(הפנוטיפ האופקי והצריפי) הובאו בתקופות היסטוריות לארץ מאזורים ומקומות הנכללים בקבוצה השלישית.

מחקר על השונות הגנטית בברוש מצוי שנעשה בשיטות מתקדמות של מיקרו-סטליטים [11] העלה כי השונות הגנטית באוכלוסיות הטבעיות בכלל אזור תפוצתו הולכת ופוחתת ממזרח למערב (בדומה לפחיתת השונות הגנטית ממזרח למערב באורן ירושלים). בנוסף נמצא במחקר כי אוכלוסיות הברוש באיטליה נחשפו "לצוואר בקבוק" אשר גרם לשונות גנטית נמוכה, להקטנת עושר האללים ולהגדלת ההבדלה בין האוכלוסיות.

ממצאים ארכיאולוגיים מצביעים על כך שהברוש המצוי גדל בארץ בעבר [29, 32], אלא שבניגוד להשערות שונות [2, 8], אין עתה, וכנראה גם לא היה בעבר הקרוב, שריד לאוכלוסיות טבעיות. עצם נוכחותו של הפנוטיפ הצריפי בכל אתר ואתר במרחבי ישראל מאפשר להסיק כי הייתה במקום פעילות נטיעה בעבר. האוכלוסיות (היערות) הטבעיות נִכרתו קרוב לוודאי כבר בתקופות היסטוריות קדומות יחסית [4], כי צורתו של הגזע והתכונות הפיסיקליות של עצת הגזע מאפשרות מגוון נרחב של שימושים (בניית מבנים, קירוי גגות, בניית אוניות וריהוט, קורות לחיזוק מִכרות מצד אחד וחומר בעֵרה מצד שני). קרוב לוודאי שאותן אוכלוסיות שרידיות של הברוש המצוי במרחבי הארֶאל שלו התקיימו לאורך תקופות היסטוריות כתוצאה מהמיקום המיקרו-טופוגרפי, שהקשה מאוד על גרירת העץ הכרות מהמקום, ומכאן שהדבר ייתר את הכריתה. בנוסף לכך חוסר האפשרות או הכדאיות לרעות במקום עקב קשיי הטופוגרפיה, הריחוק ממקום יישוב, האיכות הנמוכה של המרעית, ו/או קדושתו של המקום, אִפשר את קיומו של תהליך החידוש הטבעי במשך הדורות.

בתחילת המאה העשרים גדלו בארץ רק מספר מועט יחסית של עצי ברוש שגילם רב. רובם משתייכים לפנוטיפ הצריפי ומיעוטם לפנוטיפ האופקי. הם גדלו וגדלים עדיין בהר הבית, בגן בית-הבהאי שבעכו שליד קיבוץ עברון, בחצר המסגד הגדול של עכו, ועוד. נִבדקה הקִרבה הגנטית, בעזרת בדיקת מִבנה השרף כסמן גנטי, בין עצי הברוש המצוי אשר גדלים בנטיעות הראשונות שנעשו בארץ בינם לבין עצמם ובינם לבין העצים המבוגרים שכבר גדלו כאן [49]. עבור המחקר נִדגמו 493 עצים מהם 139 מהפנוטיפ הצריפי, 251 מהפנוטיפ האופקי, 47 עצים בעלי צורת ביניים ו-56 עצים מפנוטיפ לא מוגדר. התוצאות הראו, שעשרים ושתיים האוכלוסיות שנִדגמו, שנִטעו רובן בסוף המאה ה-19 ותחילת המאה ה-20 - נחלקות לשישה קיבוצים שונים, והם:

1. יער קריית-ענבים, יער בן-שמן ויער משמר-העמק (כולם יערות שנִשתלו על ידי הקק״ל);
2. העצים בהר הבית, המנזר האיטלקי בנצרת, בית-לחם הגלילית ואלוני-אבא;
3. הגן הבהאי שליד עכו, כפר-תבור, נצרת;
4. יער שער הגיא, שרונה שליד תל-אביב (הקריה) ובני-עטרות (=ווילהלמה של הטמפלרים);
5. המנזר היווני-אורתודוקסי שבהר התבור והמושבה ראש פינה הישנה.
6. אוכלוסיות עצי ברוש שלא נמצאו קשרים ביניהם גדלים: במושבה הגרמנית בירושלים, ביער ואדי אל קוף, במסגד הגדול בעכו, בתחנה המנדטורית לחקר החקלאות ביריחו, בתחנה הירדנית לחקר החקלאות ביריחו, במקווה-ישראל, במנזר סנטה קתרינה ובוואדי אל-ארבעין בסיני, הברושים שמסביב לחדר האוכל בקיבוץ כפר-גלעדי (״ברושי הברון״), הברושים המהווים את הגדר החיה שבין בית החולים ״הדסה״ הר-הצופים לבין הגן הבוטני של האוניברסיטה העברית בהר הצופים והברושים בתחנת הרכבת בלוד.

מחקרים נוספים שנעזרו בבדיקות הרכב השרף בעלווה כסמן גנטי הצביעו על הבדלים ברורים ומובהקים במבנה השרף בין עצים פגועים ושאינם פגועים על ידי הפטריות Seridium cardinale, Diplodia pinea [47, 52]. כלומר, קיים הבדל גנטי בין עצים הנפגעים על ידי הפטריות לאלו שאינם נפגעים.

נעשתה בדיקה, שנעזרה בשיטה של הרצת חלבונים תוצרי גנים בשדה חשמלי (Isoenzyme electrophoresis), על מנת לקבוע את יחסי הקרבה הגנטית בין 15 מהאוכלוסיות שנטעו עם תחילת פעולות הייעור בארץ [51]. התוצאות נִבדלות במידה מסוימת מאלו שהתקבלו בעזרת בדיקות מבנה השרף שהוזכרו קודם לכן. ייתכן שההבדלים בין תוצאות שני אופני המחקר נובעים מכך שלתנאי הסביבה, בהם גדלים העצים, יש השפעה על מבנה השרף בעלווה של הברוש המצוי [50], לכן יחסי קרבה או מרחק גנטי אינם משקפים רק הבדלים גנטיים בין פרטים ואוכלוסיות, אלא גם השפעות נוספות הנובעות מתנאי הסביבה שבהן גדֵלות האוכלוסיות השונות. לכן, במקרה של הברוש המצוי אמינות תוצאות המחקר שנעשו בעזרת בדיקת חלבונים תוצרי גנים שבזרעים עולות על אלו שנעשו בשיטות אחרות.

ריבוי

הברוש המצוי הוא חד ביתי ודו-מיני, כלומר, אותו העץ (הצמח) מגדל אצטרובלים נקביים על ענפים צעירים ואצטרובלים זכריים על ענפים מבוגרים יותר. צמחים צעירים תמיד מגדלים אצטרובלים נקביים אשר מואבקים מעצים מבוגרים. היחס שבין גידול אצטרובלים נקביים לזכריים מושפע מאוד מתנאי האקלים (כנראה זמינות מים). ככל שגוברת העקה, פוחתת כמות האצטרובלים הנקביים. כלומר, יש ירידה בהפניית המשאבים הדרושים לרבייה [5, 31].

סקירות יערניות וניסיונות משתלה שנעשו בארץ הראו כי שני הפנוטיפים של הברוש המצוי בארץ אינם נבדלים בתגובתם ובגדילתם בהשפעת תנאי ההארה, זמינות המים בקרקע, סוג הקרקע וכו׳. אחוז גבוה של גיר פעיל בקרקע גורם לעיכוב הצמיחה והתפתחות הצמחים הצעירים. התפתחות השורשים מהירה, השורש השיפודי עשוי לצמוח לעומק של 0.5 מ׳ תוך שנה ולעומק של 2.0 מ׳ תוך שנתיים. בתנאי יער הצמיחה המהירה ביותר היא על אדמת רנדזי׳ינה חומה, היא עשויה להגיעה לכדי 0.49 מ״ק לדונם בשנה, בעוד שהצמיחה בחלקות יער הנטועות על אדמת טרה-רוסה היא רק 0.37 מ״ק לדונם בשנה. הצמיחה בחלקות יער הנטועות בקרקע ליתוסול חום, קרקעות חומות לסיות ורגוסולים חוליים (יורדת לכדי 0.23 מ״ק לדונם בשנה. הצמיחה מעוכבת מאוד באדמות רנדזינה בהירה שמוצאן מחוואר. הסקר הראה כי בחלקות יער בהם גדלים שני הפנוטיפים (הצריפי והאופקי), הפנוטיפ הצריפי גבוה מהפנוטיפ האופקי, אך הקף הגזע בגובה החזה (1.30 מ׳ מפני הקרקע) בפנוטיפ האופקי גדול מזה של הפנוטיפ הצריפי [62, 63, 64].

בשנות השישים זוהתה התחדשות טבעית (על ידי זרעים) ביערות, בחורשות ובסביבת משברי רוח רק במקומות בודדים, שבהם התקיים צירוף של תנאים אקולוגיים וזמינות זרעים מספקת. כלומר, בתנאי לחות מספקת וחוסר תחרות על ידי עשבייה [12]. גם מחקרו של Zeide [61] הצביע על כך שזמינות המים היא גורם מכריע לנביטה של זרעי הברוש. במחקר שבדק את ההתחדשות הטבעית של הברוש המצוי בארץ [5] נמצא כי התחדשות טבעית מתקיימת בסוגי הקרקעות השונים במדינה בתנאים של חוסר תחרות על ידי צמחייה עשבונית, בתנאי לחות מספקת ביערות ובחורשות שבהן עוצמות הרוח מופחתות מאוד, דבר שגורם לזרעים הקלים וחסרי הכנפיים של הברוש ליפול קרוב לצמחי האם, שם מתקיימת עיקר ההתחדשות. כתוצאה מסחף זרעים או אצטרובלים על ידי מים ורוח קיימת גם התופעה של התחדשות במרחק ניכר ממקור הזרעים. אחוז הנביטה של זרעים מעצים צעירים הוא נמוך מאוד אפילו בתנאים המיטביים שבמשתלה: 4% נביטה בזרעים מעצים

שגילם 6 שנים לעומת 38% נביטה בזרעים מעצים שגילם 20 שנה [7]. על פי לב –ידון [5] שיעור התמותה של נבטים של הברוש המצוי בטבע הוא גבוה, על פי חישוביו נחוצים כ-50,000 זרעים על מנת שנבט אחד יתבסס ויתפתח לזריעה. לשם יצירת כמות זרעים שכזו נדרשים מעל ל-300 אצטרובלים נקביים, לכן כדי לייצור כמות זרעים מספקת עבור התחדשות טבעית יש צורך שהעצים יהיו בעלי כותרות גדולות. אך הברוש גם יוצר אצטרובלים שנשארים חיים וסגורים שנים רבות (אצטרובלים סרוטיניים), הם נפתחים רק בהשפעת החום והיובש הרב שנוצר בעת שרפת יער או שרב קשה במיוחד [30].

החשיבות התרבותית, הגננית והנופית הגדולה של הברוש המצוי גרמה להתגבשות הרצון לרבות עצים מרשימים בצורתם ו/או עמידים במיוחד למחלות הגורמות להתנוונות סרטנית דוגמת Seridium cardinale, Diplodia pini, Pestalotiopsis funereal. רצון זה התבטא במחקרים על התנאים המאפשרים ריבוי וגטטיבי של עצים נִבחרים [9, 16, 55, 56, 57]. המחקרים הראו כי מידת ההשתרשות (%) של הייחורים ואיכות ההשתרשות (כמות וגודל השורשים הנוצרים) קשור לגנוטיפ של עץ האם. כלומר, ישנם עצים שהייחורים שלהם אינם משתרשים כלל או בכמות מְזערית לעומת ייחורים מעצים אחרים, וכל הטיפולים שמטרתם לזרז ולהעלות את אחוז ההשתרשות אינם מועילים. קצב ההשרשה ואיכותו מושפעים מאוד גם מאיכות מצע ההשרשה, מטמפרטורת המצע, מלחות האוויר, מטמ' האוויר ומחומרי השרשה (אוקסינים וכדומה). בתנאים מיטביים אפשר להשיג אחוז השרשה גבוה בתוך שלושה עד ארבע חודשים.

ספרות, מקור הציטוט

1. אופנהיימר, ה., 1969. כיצד ניצלים עצי היער המחטניים שלנו מכילִיון בעונה היבשה. *ליערן* **19**, עמ' 1 -16.
2. זהרי מ., 1980. נופי צומח של הארץ. עם עובד, תל-אביב.
3. חת ד., 1974. פוטנציאל מים וגרעון לרוויה בברוש מצוי, ברוש אטלנטי ואורן ירושלים. *ליערן* 24, עמ' 38-43.
4. לב-ידון ש., 1986. אקולוגיית צמיחת האורך והרוחב של ברוש מצוי (Cupressus sempervirens L.) עבודה לתואר מוסמך, המחלקה לבוטניקה, אוניברסיטת תל-אביב. 158 עמ'.
5. לב-ידון ש., 1988. התחדשות טבעית של ברוש מצוי בישראל. רתם, *כתב עת לנושאי בוטניקה בארץ-ישראל* מס' 28, עמ' 61-64.

6. קרשון ר., 1960. ניסיונות באיסוף זרעים ושיטות משתלה לגידול ברוש מצוי. המכון לחקר הייעור, אילנות, עלון מס׳ **11**.

7. קרשון ר., 1965. הטרנספירציה של הברוש המצוי ושל ברוש אטלנטי. **ליערן 15**, 76-74.

8. שמידע א. ורבינוביץ א., 1973. מציאות בוטניות. *טבע וארץ* **15**, עמ׳ 209-210.

9. שמלה מ. 1986. ריבוי וגטטיבי של ברוש מצוי (Cupressus sempervirens L.). עבודת גמר לתואר מוסמך במדעי החקלאות. האוניברסיטה העברית ירושלים, הפקולטה לחקלאות ברחובות. 68 עמ׳.

10. Allemand P. 1979. Relations phylogenetiques dens le genere *Cupressus* (Cupressaceae). *In*: Grasso, V. and Raddi, P. (Editors). Il Cipresso Malattie e Difeesa. Comunita Economica Europea, AGRIMED, Firenze, pp 51-67.

11. Bagnoli F., Vandramin G. G., Buonamici A., Doulis A. G., Gonzalez-Martinez S.C., La Port N., Magri D., Raddi O/. Sebastiani F. and Fineschi S., 2009. *Is Cupressus semperbirense* native in Italy? An answer from genetic and palaeobotanical data. Mol. Ecol. **18**, 2276-2286.

12. Bolotin M., 1964a. Contribution to the arboreal flora of Israel: *Cupressus sempervirens* L. *La-Ya'aran* **14**, 137-142.

13. Bolotin M., 1964b. Segragation in progenies of *Cupressus sempervirens* L. *La-Ya'aran* **14**, 46-48.

14. Brofas G., Karetsos G., Dimopoulos P. and Tsagari C., 2006. The natural environment of *Cupressus sempervirens* in Greece as a basis for its use in the Mediterranean region. *Land Degrad. and Develop*. **17**, 645-659.

15. Butzer W.K., 1972. Environment and Archeology: An Ecological Approach to Prehistory. Methuen & Co Ldt, London. Pp703.

16. Capuana M., Giovannelli A. and Giannini R., 2000. Factors influencing rooting in cutting propagation of Cypress (Cupressus sempervirens L.). *Silvae Genetica* **49**, 277-281

17. Couppis T.A., 1954. Some notes on the Mediterranean cypress, Cupressus sempervirens, found in Cyprus. *The Empire Forestry Review* **33**, 71-73.

18. Dallimore F.L.S., 1931. The Cypresses. *Empire Forestry Journal* **10**, 37-47.

19. Danin A., 1999. Desert rocks as plant refugia in the Near East. *The Botanical Review* **65**, 93-170.

20. Ferrandes P., 1979. Les Cypres Africains.. *In*: Grasso, V. and Raddi, P. (Editors). Il Cipresso Malattie e Difeesa. Comunita Economica Europea, AGRIMED, Firenze, pp 45-49.

21. Froux F., Huc R., Ducry M. and Dreyer E., 2002. Xylem hydraulic efficiency versus vulnerability in seedlings of four contrasting Mediterranean tree species (*Cedrus atlantica, Cupressus sempervirence, Pinus halepensis and Pinus nigra*). *Ann. For. Sci*. **59**, 409-418

22. Froux F., Ducry M., Dreyer E. and Huc R., 2002. Vulnerability to embolism differs in root and shoots and among three Mediterranean conifers: Consequences for stomatal regulation of water loss? *Trees* **19**, 137-144.

23. Goggen J.F. and Maier R.J., 1973. Heritabilities of growth and crown characteristics of Arizona Cypress. *Silvae Gentica* **22**, 162-164.

24. Grosser, von D., Fengek, D. and Schmidt, H., 1974. Tamrit-Zypresse (*Cupressus dupreziana* A. Camus). *Forstw. Cbl*. **93**, 191-207.

25. Hofmann, A., 1943. Die Zypresse auf den ägäischen Inseln. *Zeitschrift für Weltforstwirtschaft* **10**, 246-258.

26. Harfourche A.L., Aravanopoulos F.A., Doulis A.G. and Xenopoulos S., 2000. Identification of RAPD markers associated with crown form in *Cupressus sempervirens* by bulked segregant analysis. *Forest Genetics* **7**, 171-178.

27. Korol L., Kara N., Isik K. and Schiller G., 1997. Genetic differentiation among and within natural and planted *Cupressus sempervirens* L. eastern Mediterranean populations. *Silvae Genetica* **46**, 151-155.

28. Larcher W. and Thomaser-Thin W., 1988. Seasonal changes in energy content and storage patterns of Mediterranean sclerophylls in a northernmost habitat. Acta *OEcologia (OEcol. Plant.)* **9**, 271-283.

29. Lev-Yadun S. and Weinstein-Evron M., 1993. Prehistoric wood remains of *Cupressus sempervirens* L. from the Natufian layers of El-Wad cave, Mount Carmel, Israel. Tel Aviv, *Journal of the Institute of Archeology of Tel Aviv University* **20**(1), 125-130.

30. Lev-Yadun S., 1995. Living serotinous cones in *Cupressus sempervirens*. Int. J. Plant. Sci.**156**, 50-54.

31. Lev-Yadun S. and Liphschitz N., 1987. The ontogeny of gender of *Cupressus sempervirens* L. *Bot. Gaz*. **148**, 407-412.

32. Liphschitz N. and Biger G., 1989. *Cupressus sempervirens* in Israel during antiquity. *Israel J. Bot*. **38**, 35-45.

33. Madar Z., Solele Z. and Kimchi M., 1989. Effect of water stress in Cypress on the development of canker caused by Diplodia pinea f. sp. Cupressi and Seiridium cardinale. *Plant Disease* **73**, 484-486

34. Madar Z., Solele Z. and Kimchi M., 1991. Pestalotiopsis canker of cypress in Israel. *Phytopara*. **19**, 79-81.

35. Madar Z., Solele Z. and Sztejnerg A., 1990. The effect of *Diplodia pinea* f. sp. Cupressi and *Seridium cardinale* on water flow in cypress branches. *Plant Pathol*. **37**, 389-398.

36. Makkonen O., 1968. The nurseries of the ancient Romans. *Silva Fennica* **2**, 126-130.

37. Oppenheimer H.R., 1970. Drought resistance of Cypress and Thuya branchlets. *Israel J. Bot.* **19**, 418-428.

38. Papageorgiou A.C., Panetsos K.P. and Hattemer H.H., 1994. Genetic differentiation of natural Mediterranean Cypress (*Cupressus sempervirens* L.) populations in Greece. *Forest Genetics* **1**, 1-12.

39. Papageorgiou A.C. and Finkeldey R., 2005. Genetic differences between autochthonous and breeding populations of common Cypress (*Cupressus sempervirens* L.) in Greece. *Eur. J. Forest Res*. **124**, 119-124.

40. Pauly G., Yani A., Piovetti L. and Bernard-Dagan Colette, 1983. Volatile constituents of the leaves of *Cupressus dupreziana* and *Cupressus sempervirens*. Phytochemistry **22**, 957-959.

41. Piovetti l., Yani A., Combaut G. and Diera Anne, 1981a. Waxes of *Cupressus dupreziana* and *Cupressus sempervirens*. *Phytochemistry* **20**, 1135-1136.

42. Piovetti L., Fransisco C., Pauly G., Benchabane O., Bernard-Dagan Colette and Diara Anne, 1981b. Volatile constituents of *Cupressus dupreziana* and the sesquiterpenes of *Cupressus sempervirens*. *Phytochemistry* **20**, 1299-1302.

43. Raddi P. and Panconesi A., 1989. Genetic variability of tolerance to cold in *Cupressus sempervirens* progenies. *Silvae Genetica* **38**, 168-172.

44. Raddi S. and Sumer S., 1999. Genetic diversity in natural *Cupressus sempervirens* L. populations in Turkey. *Biochem. Syst. and Ecol*. **27**, 799-814.

45. Rushforth K., Adams R.P., Zhong M., Ma X-qiang, Pandey R.N., 2003. Variation among *Cupressus* species from the eastern hemisphere based on Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs). *Biochem. Syst. and Ecol*. **31**, 17-24

46. Sakai A. and Larcher W., . Frost survival of plants; Responses and adaptation to freezing stress, Mediterranean Sclerophylls, pp 196-200. Springer, Berlin,

47. Santini A. and Camussi A., 2000. The environmental effect on crown shape of common cypress clones in the Mediterranean countries. *Ann. For. Sci*. **57**, 277-286.

48. Santini A., Camussi A. and Raddi P., 1997. Genetic variability of canker resistance trait in Cupressus sempervirens L. progenies. *J. Appl. Genet*. **38**, 453-461.

49. Schiller G., 1990. Variation in resin composition of Italian Cypress (*Cupressus sempervirens* L.) grown in Israel. *Silvae Genetica* **39**, 89-95.

50. Schiller G., 1993. Foliage resin composition of *Cupressus sempervirens* L. as affected by environmental factors. *Silvae Genetica* **42**, 297-303.

51. Schiller G. and Korol L., 1997. Electrophoretic analysis within *Cupressus sempervirens* L. growing in Israel. *Israel J. Plant Sci*. **45**, 1-8.

52. Schiller G. and Madar Z., 1991. Variation in foliage resin composition within the Italian cypress (*Cupressus sempervirens* L. species complex and its relation to canker diseases. *Eur. J. For. Path*. **21**, 179-184

53. Schiller G., Moshe Y. and Ungar D.U., 2004. Transpiration of *Cupressus sempervirence* L. as influenced by canopy structure. *Israel J. Plant Sci*. **52**, 9-19.

54. Silba, J., 1981. Revised generic concept of Cupressus L. (Cupressaceae). *Phytologia*, **49**, 390-399.

55. Spanos K.A., Pirrie A. and Woodward S., 1997. Micropropagation of *Cupressus sempervirens* L. and Chamaecyparis lawsoniana (A. Murr.) Par. *Silvae Genetica* **46**, 291-295.

56. Spanos K.A., Pirrie A. and Woodward S., 1999. The effect of fertilizer and sheding treatments on rooting efficiency in cuttings of Cupressaceae. *Silvae Genetica* **48**, 248-254.

57. Stankovqa T. and Panetsos K., 1997. Vegetative propagation of *Cupresus sempervirens* L. of Cretan origin by softwood cuttings. *Silvae Genetica* **46**, 137-144.

58. Stankova T., Stankov H. and Panetsos K., 1997. Seasonality in the primary growth of *Cupressus sempervirens* L. *Silvae Genetica* **48**, 53-68.

59. Vidiaković M., 1991. Conifers, morphology and variation. Grafički Zavod Hrvatske, Croatia. Pp 755

60. Yan, A., Pauly G., Faye M. Salin F. and Gleizes M., 1993. The effect of a long-term water stress on the metabolism and emission of terpenes of the foliage of *Cupressus sempervirens*. *Plant, Cell Environ*. **16**, 975-981.

61. Zeide B., 1977. Germination of Cypress seeds in the field. *For. Eco. Manage*. **1**, 141-147.

62. Zohar Y., 1984. Autecology of *Cupressus sempervirens*. Agricultural Research Organization, Department of Forestry, Scientific activities 1980-1984, special publication No' 228, pp 10-11.

63. Zohar Y., 1985. Above ground biomass tables for Italian Cypress from Israel. *forét mediterranéenne* **7**, 75-80.

64. Zohar Y. and Karschon R., 1984. General volume table for Italian Cypress in Israel. *Leafl. Dep. For. Agric.Res. Organ*. Ilanot No' **76**.

65. Zohary M., 1973. Geobotanical Foundation of the Middle East.Gustave Fischer Verlag, Stutgart

3.0 מיני עצי החורש/היער רחבי העלים העיקריים

אלון התבור

אלון מצוי

אלת המסטיק

3.1 מבוא

פרק זה מסכם ידע יעראי שנוסף בעשרים השנים האחרונות על מספר מינים עיקריים בחורש/יער רחב העלים בארץ, שמפוזר בין מקורות רבים, שרצוי לדעת על מנת למשק את החורש/יער רחב עלים בצורה טובה יותר. בכך הוא משלים את הפרסום מאת פרבלוצקי, לחמן ופולק, 1992. "החורש הים-תיכוני, רקע כללי-סיכום ספרות"

הפרסומים המדעיים הרבים על צמחי החורש/יער רחבי העלים בישראל (אלונים, אלות, אשחרים, *קטלב, בר-זית בינוני, ער אציל, אדר סורי*, מיני ורדניים שונים ועוד) מתרכזים בעיקר בהרכבן של חברות הצמחים בהקשר לתנאי בית הגידול (אקלים, טופוגרפיה, מסלע, קרקע) והם לא יפורטו כאן. רובם של המחקרים בענייני ממשק החורש/יער הם בעניין ההשפעות של רעית צאן ובקר על שימור המגוון הביולוגי, הקטנת הביו-מסה הצמחית ליחידת שטח, נובע מכך הקטנת סכנת השריפות, הקטנת הפגיעה בהתחדשות הטבעית ובצמיחת הזריעים, השיחים והעצים [1—8].

לעומת זאת, הידע על צמחי החורש/יער רחב העלים בארץ מנקודת מבט יעראית הוא זעום היות ונושאים דוגמת המגוון הגנטי ונושא ההשבחה עבור נטיעות, אקו-פיזיולוגיה ועמידות ליובש, דרכי ממשק יער ועוד, כמעט ולא נחקרו בקרב המינים השונים בתנאים המזרח ים-תיכוניים. למשל, עד היום כמעט ולא בוצעו מחקרים מנקודת מבט יעראית בשאלות הבאות:

1. מה הם התנאים האקולוגיים המיטביים הדרושים לחידוש טבעי מזרעים של צמחי החורש/יער רחב העלים ?
2. מה הם אפשרויות והדרכים היעראיות ל-"הסבה" או שינוי של החורש ממצבו הנוכחי - שהוא קיבוץ של נצרים תוצאה של התחדשות לאחר כריתה, שריפה, ורעיה- ליער רם ?. זאת בעזרת התחדשות מזרעים על פי הידע היעראי המקובל, המבוסס בעיקר על עצי יער צפוניים יותר. התחדשות שכזו עשויה ליצור עצים זקופים בעלי צמיחה חזקה לאורך זמן, לעומת התחדשות על ידי נצרים שבתחילה צמיחתם מהירה מאוד אך גם יורדת תוך פרק זמן של שנים מועטות.

ספרות, מקור הציטוט

1. Blondel J., Aronson J., 1995. Biodiversity and ecosystem function in the Mediterranean basin: Human and non-human determinants. *In*: Davis G W., Richardson D M., (Eds.), Mediterranean-Type Ecosystems: The Function of Biodiversity. Ecological Studies 109. Springer-Verlag, Berlin, pp 43-119.

2. Dufour-Dror J-M., 2007. Influence of cattle grazing on the density of oak seedlings and saplings in a Tabor oak forest in Israel. *Acta Oecologica* **31**, 223-228.

3. Gutman M., Henkin Z., Holzer Z., Noy-Meir I., Seligman N., 1991. Beef Cattle Grazing to creat Firebreaks in a Mediterranean oak Maqius in Israel. Proceedings IV international Rengland Congress, Montpellier, April 22-26..

4. Henkin Z., Gutman M., Aharon H., Perevolotsky A., Ungar E D., Seligman N G., 2005. Suitability of Mediterranean oak woodland for beef herd husbandery. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **109**, 255-261.

5. Kaplan D. and Gutman M., 1996. Effect of thinning and grazing on tree development and the visual aspect of an oak forest on the Golan Heights. *Israel J. of Plant Sci*. **44**, 381-386.

6. Nave Z., Whittaker R H., 1979. Structural and floristic diversity of shtubland and woodlands in northern Israel and other Mediterranean areas. *Vegetatio* **41**, 171-190.

7. Noy-Meit I., Oron T., 2001. Effect of grazing on geophytes in Mediterranean vegetation. *Journal of Vegetation Science* **12**, 749-760.

8. Perevolotsky A., Seligman N., 1998. Role of grazing in Mediterranean rangland ecpsystems. *Bioscience* **98**, 1007-1017.

3.2 *אלון מצוי*,

(*Quercus coccifera* L. subsp. *calliprinos* (Webb.) Holemboe)

האלון המצוי הוא מין סקלרופילי ירוק עד שמוגדר עתה כתת-מין של *אלון קוקציפרה* שנפוץ באזורים ים-תיכוניים יובשניים בדרום אירופה ובצפון אפריקה [25, 33, 50]. תת-מין זה גדל במזרח אגן הים התיכון, מישראל עד טורקיה ויון, וכנראה גם בכרתים ובסיציליה, באזורים בהם שורר אקלים ים תיכוני וכמות גשמים היא מעל 400 מ״מ גשם בממוצע רב-שנתי. שני תתי-המין נִבדלים אך במעט במורפולוגיה של העלווה [29], במורפולוגיה של גרגירי האבקה [27], בסמנים גנטיים [40, 45]. *לאלון קוקציפרה* יש מופע של שיח נמוך בעוד *שלאלון המצוי* יש גם מופע של עץ [26], הדמיון הגבוה בין שני תתי-המין הנ״ל בפרמטרים מורפולוגיים, גנטיים, בפרמטרים של ריבוי וצמיחה, מאפשר להסיק מסקנות מתוצאות של מחקרים ב*אלון קוקציפרה* גם עבור *האלון המצוי*, ולהיפך.

האלון המצוי משיר את עלים שגילם מעל שנה בתחילת הקיץ עם העלייה במתח המים בצמח כתוצאה מעלייה במתח המים בקרקע, בעקבות הירידה בקיבול המים בקרקע ובמסלע; כלומר, כתוצאה מהתייבשות בית הגידול. מין זה הוא בעל שונות פולימורפית רבה, ובארץ זוהו חמישה מופעים מורפולוגיים שונים של צורת העלווה והבלוטים [1, 48]. המופע הפנוטיפי הנפוץ ביותר של *האלון המצוי* הוא שיחי או של עץ נמוך קומה (3-5 מ׳) ולו גזעים רבים. רק לעיתים המופע הוא של עץ גבה קומה בעל גזע בודד [13]. לתופעה זו יש הסברים אחדים:

1. טבעם של מרבית העצים הגדלים בתנאי אקלים ים-תיכוניים ברחבי העולם וגם בארץ (אזורים בהם האש היא גורם אקולוגי חשוב) הוא שהתחדשותם, לאחר פגעי טבע ואו שרפות, היא בעזרת נצרים הפורצים מצוואר השורש ואו מהשורשים שבהם הצמחים אוגרים חומרי מזון.

2. ברירה דיסגנית קשה ביותר (ברירה במנוגד לברירה על ידי תהליכים טבעיים) שנעשית על ידי האדם מזה חמשת אלפים שנה. כלומר, כריתה מועדפת של הגזעים הישרים, הבריאים, הגבוהים, (שסביר שהגנום שלהם מוטה צמיחה, ולכן גם מייצרים מעט בלוטים), והשארתם של אלו שאינם מתאימים למטרות ניצול העץ כחומר בניה. כריתות חוזרות ונשנות של החליפין (הגזעים) מבתי שורש, שגידלו עצים ישרי גזע וגבוהים, גרמו עם הזמן להתנוונות ומוות של פרטים אלו ולהיעלמותם. תופעה זו גרמה וגורמת לשינויים בהרכב הגנטי של האוכלוסייה [36], המתבטא בהעלמות אללים ייחודיים, בהקטנת ההטרוזיגוטיות והמגוון הגנטי, וכניראה בעלייה בתדירות של הגנוטיפים התומכים בייצור בלוטים רב על

חשבון גדילה. התופעה של יצור בלוטים רב (אשר צורכת אנרגיה רבה מאוד מהעץ שאינה מושקעת בצימוח) היא בעלת ערך עבור אנשי המרעה במיוחד בשנים מועטות גשמים בהם המרעית דלה והבלוטים הנאכלים על ידי הצאן והבקר הם תוספת מזון מבוקשת, יתכן שעודדו התפשטות פנוטיפיות שיחית עבור יצור בלוטים רב.

3. הרס בתי גידול כתוצאה מסחף הקרקע בעקבות הכריתות והשרפות, והקטנת קיבול המים והכימיקלים בשִכבת הקרקע שנותרה. סיבה זו אינה נופלת בחשיבותה מהראשונה.

4. על-פי פירוש שמו של *אלון קוקציפרה* הוא "האלון נושא החרקים". אלון זה שימש לגידול כנימה בשם *Kermococcus vermilio*, שממנה הפיקו בעבר צבע אדום יוקרתי לצביעת בדים (הצבע האדום של הטוגות שלבשו הסנטורים של רומא). כדי להקל על איסוף הכנימות משקו את החורשים כנראה על ידי גיזום, כדי שלא יגבהו מעבר לגובה הברך [26]..גם בארץ ישנן כנימות על אלון מצוי, אלון התבור ואלון התולע מהן ניתן להפיק צבע אדום [24] והספרות המצוטטת במאמר הנ"ל. על כן אין לשלול את האפשרות כי כפי שנעשה הממשק בחו"ל כן הוא נעשה במידה מסוימת גם בחורש של אלון מצוי בארץ, לשם הקלה על איסוף "היבול" של הכנימות הדרושות להפקת הצבע המבוקש, ולדבר זה יש כמובן השלכות על המגוון הגנטי של המין.

מחקר בוטני- אקולוגי בישראל הראה ש*האלון המצוי* הוא המין השולט בחברת הצמחים; ומהווה את עמוד השִדרה במרבית תצורות החורש והיער רחב העלים הגדלות בבתי גידול המתאימים *לאלון* בחבל הים-תיכוני בישראל [6, 7, 47, 48]. מין זה הוא מרכזי בשלוש תצורות חורש/יער, שהרכבן הפיטו-סוציולוגי משתנה בהתאם לתנאים האקולוגיים [1]: התצורה הגלילית אשר בהרכבה נִכללים מינים הגדלים בבתי גידול לחים; התצורה הטיפוסית כפי שהיא בכרמל ובשומרון, והתצורה השלישית שגדֵלה בשפלה הפנימית ובדרום הרי יהודה, שענייה יותר במינים וכוללת מינים מהבתה העמידים יותר ליובש דוגמת *בר-זית בינוני*.

היות ש*האלון המצוי* גדל באופן טבעי בבתי גידול, שנבדלים בתנאים האקולוגים שבהם, והבדירה הטבעית מביאה לידי ביטוי גנטי את ההבדלים שבין בתי הגידול, ולכך משמעות יערית מובהקת, נעשה מחקר על המגוון הגנטי במין זה בתוך ובין 24 אוכלוסיות בארץ ובירדן [43] (ראה גם פרק חמישי בספר זה, "יעראות מוכוונת על ידי השונות הגנטית"). *האלון* מתפשט באופן טבעי בעזרת הפצת בלוטים על ידי בעלי חיים (נברנים ועורבנים) גם בתוככי יערות החלוץ המחטניים שניטעו ובגרו והתנאים האקולוגים בהם מאפשרים את התבססות *האלון המצוי* [4, 5, 12].

התופעה שבתוך יערות האורנים מתפשטים מיני אלונים ידועה בכל אזורי המגע שבין יערות אורנים ואלונים בחצי הכדור הצפוני [35]. בבתי גידול יובשניים, בין עם כתוצאה

ממבנה המסלע, או עקב פחיתה בכמות הגשמים הרב שנתית הממוצעת, *האלון המצוי* מוחלף על ידי *בר-זית בינוני* כמין המרכזי בחורש (ראה לדוגמא את מִקרה רמת הנדיב אשר בכרמל) [3, 15, 20]. במשך שנים נעשו מחקרים על מנת להבין את התנאים האקולוגיים המשפיעים על הישרדות הבלוטים, הנביטה ההתפתחות ושרידות הנבטים [2, 8, 10, 12, 18, 23, 30, 37]. נמצא שבלוטי *האלון* מאבדים תוך זמן קצר את חיוניותם בתנאים יובשניים, על מנת לנבוט הם זקוקים למחסה ששומר עליהם מפני התייבשות. האנדוספרם הגדול מספק חומרי מזון לנבט בעיקר לשם פיתוח מערכת שורשים מעמיקה, דבר שמאפשר *לאלון* להתפתח בתנאים של רמת הארה נמוכה יחסית במקומות מוצלים דוגמת שיחים, אבנים וסלעים.

סמוכה וחבריו [14] , במאמרם "מקצב התחדשות עצי חורש בהרי יהודה", מסכמים שני מחקרים שנעשו כדי לבדוק את קצב ההשתקמות והגדילה של החורש על מרכיביו הרבים בהרי יהודה והשפלה הפנימית בהתאם לתנאים האקולוגיים. נִמצא כי קיימים הבדלים משמעותיים ביותר בין מפנים דרומיים לצפוניים בקצב ההשתקמות של החורש, ובתוכו שיחי *האלון המצוי*. עיקר ההבדל נובע מהתופעה של התבססות נבטים רבה יותר במפנים הצפוניים לעומת הדרומיים, ולא כתוצאה מקצב הצימוח של עצי *האלון* או שיחים ממינים אחרים שאינו מושפע מהמפנה. גם כאשר בדקו את קצב השתקמות הבתה והחורש בכרמל הגיעו לתוצאות דומות [34]. שמיר [22] בדק את הדינאמיקה של התפתחות והשתקמות חורש *אלון מצוי* בהרי יהודה. הוא מצא כי עם הפסקת הרעיה *האלון* מסוגל להתאושש ממצב שיחי מדוכא ולהתפתח למצב של שיח גדול או עץ קטן באופן די מהיר.

מחקרים אחדים נעשו בארץ בתחום של הפיזיולוגיה והשימוש במים על ידי *האלון המצוי*. מחקרים באנטומיה של *האלון* מלמדים כי משק המים של *האלון המצוי* נִשען על מערכת הובלת המים בעצה, שבנויה מטראכאות שהן בעלות קוטר של עד 160 µm ואורך ממוצע של 360 µm, שמפוזרות בתחומי הטבעת השנתית (Diffuse porous) [28]. קליטת המים נעשית באמצעות מערכת שורשים המסוגלת -בהתאם לליתולוגיה (המבנה וההרכב של המסלע) -לחדור בסדקי המסלע לעומק רב שמעל ל-8 מ' [6, 7]. מכאן, שלממשק החורש הטבעי, ובתוכו *האלון המצוי*, בשטחים רבים בחבל הים תיכוני במדינה [החורש והגריגה משתרעים על כ-850,000 דונם] עשויה להיות חשיבות גם מהבחינה ההידרולוגית [17, 19, 38, 39, 41, 42, 44, וגם פרק רביעי וחמישי בספר זה].

מחקרים העוסקים בממשק יעראי של החורש, שעיקרו *אלון מצוי*, הם מועטים, מכיוון שלמינים אלו אין כמעט חשיבות כלכלית עקב האיכות הירודה של הגזעים, שהם בדרך כלל קצרים מאוד, מפותלים ומתפצלים, דבר שאינו מאפשר את ניצולם באופן תעשייתי ליצירת תוצרים איכותיים, אלא רק ייצור פחם עץ, תוצרת עץ מעובדת ידנית, חומרי בורסקאות (טאנינים לעיבוד עורות). המחקרים התרכזו בהשפעת הפחתת התחרות בצורה של דילול נצרים בכל בית שורשים וגיזום כדי לעצב גזע מרכזי על התפתחותו [10, 11, 21, 22]. נימצא כי בשנה הראשונה לאחר פעולות הדילול והגיזום העצים מגיבים בצימוח נמרץ לגובה, עוצמת הצימוח הזה פוחתת בצורה חזקה בשנים הבאות. מחקרים ופעולות נוספות שנעשו התרכזו בשאלה האם אפשרי למשק את החורש/יער רחב עלים בעזרת רעיה לשם הפחתת הביומאסה הצמחית, בכך להפחית את עוצמת השרפות, גם לעצב את נוף השיחים ולעודדם להתפתח בצורה של עץ רם המאפשר מעבר ביער/חורש [31, 32]. ראה גם פרק רביעי וחמישי בספר זה.

ספרות, מקור הציטוט

1. אבישי מ., 1967. מחקר טקסונומי-גיאוגרפי באלונים של המזרח הקרוב. עבודת גמר לתואר מוסמך, המחלקה לבוטניקה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
2. אשד י., 1991. ריבוי אלונים מקומיים מבלוטים וייחורים. עבודת גמר לתואר מוסמך, הפקולטה למדעי החקלאות המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות.
3. בן-חור מ., 2008. התכונות ההידרולוגיות של הסלע המשפיעות על התפתחות הצומח הטבעי ברמת הנדיב. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **10**, עמ' 31-25.
4. גולדרינג י., 1977. התחדשות הצומח הטבעי ביערות אורן נטועים. עבודת גמר לתואר מוסמך, המחלקה לבוטניקה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
5. דופור-דרור, ז-מ, 2008. ניתוח מאפייני אוכלוסיות אלון מצוי ביערות אורנים באזור המרכז - בחינת תפקידן ביצירת יער בר-קיימא. דו"ח מסכם למחקר 04-125-7-90, הוגש לאגף הייעור של הקרן הקיימת לישראל.
6. הר נ., 2000. גורמים ותהליכים המכוונים את תפוצת חורש *האלון המצוי* בצפון הארץ על סלעי אבן, דולומיט וקרטון מחבורת יהודה ועבדת. נתונים, הנחות ותהליכים מוצעים. המחלקה לקרקע ומים/ מטעים וצמחי נוי, הפקולטה לחקלאות התזונה ומדעי הסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
7. הר נ., 2008. מבנה מערכת קרקע והסלע, והדינמיקה של משק המים בבית הגידול כגורמים אקולוגיים עיקריים בתפוצת אלון התבור והאלון המצוי באזור אלונים –מנשה. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור, האוניברסיטה העברית בירושלים.

8. ויזל י, ופרידמן י., 1960. בעיות בנביטה והתחדשות האלון המצוי. *ליערן* **9** (3-4): עמ' 13-10.

9. ויינשטיין א., 1984. יבול בלוטי האלון המצוי והתפתחות הזריעים בחורש הטבעי. *ליערן* **34**, עמ' 4-1.

10. ויינשטיין א., 1985. השפעת דילול וגיזום על התפתחות חורש טבעי של אלון מצוי בכרמל. *רתם, כתב עת לנושאי שדה הוטניים בארץ ישראל* **18**, 79-92.

11. ויץ,י., 1970. היער והיעור בישראל. הוצאת מסדה, 622 עמודים..

12. חריף י., 1974. התפתחות מרכיבי הגריגה והחורש הראשיים בשנתם הראשונה וחשיבותה בקביעת הטורים הסוקצסיוניים בהרי יהודה. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור, האוניברסיטה העברית בירושלים.

13. טפר א., 1997 הגורמים המשפיעים על עיצוב צורת הגידול של האלון המצוי. עבודת גמר לתואר מוסמך. המחלקה לבוטניקה, האוניברסיטה העברית בירושלים

14. סמוכה י., ליטב מ., פיין פ., ויזל י.,1980. מקצב התפתחות עצי חורש בהרי יהודה. *ליערן* **30** (1-2), 15-6.

15. פולק, ג., שוורץ-צחור ר., 2003. הביולוגיה והאקולוגיה של בר-זית בינוני - סקירת ספרות וסיכום מחקרים ברמת הנדיב. החברה להגנת הטבע ויד הנדיב. 59 עמ'.

16. פרבלוצקי א, לחמן א, פולק ג., 1992. החורש הים-תיכוני, רקע כללי - סיכום ספרות. הוצאת החברה להגנת הטבע וקרן יד הנדיב, 152 עמ'.

17. רוזנצביג ד., 1977. מודל לחישוב מאזן המים באגן היקוות קרסטי בהתאם להרכב הצומח שלו ובחינתו באגן כברי. האגף לשימור קרקע וניקוז, יחידת המחקר, משרד החקלאות, פרסום מקדים מס' 6.

18. רייזמן-ברמן א., בן-יאיר ש., בוקן ב., 2010. יער או פער? התבססות האלון המצוי ביערות ישראל. *אקולוגיה וסביבה* **1**, עמ' 46-38.

19. שחורי ע., 1966. אבפוטרנספירציה בשטחי חורש, אורן ומרעה באזור קרסטי בכרמל. דו"ח מחקר מס' 5, האגף לשימור קרקע, משרד החקלאות.

20. שילר ג, אונגר ד י, כהן י., 2001. ידיעת שיעור הדיות כגורם מכוון בממשק אקוסיסטמה ים-תיכונית- מקרה רמת הנדיב. *אקולוגיה וסביבה* **6**, עמ' 176-170.

21. שמידע א., שמיר צ., וינברגר מ.,1998. חלקת מחקר נחל נחש, דו"ח מחקר שש שנתי 1993-1998. מוגש לועדת מחקרים של הקק"ל.

22. שמיר צ., 1985. דינמיקה של התפתחות חורש אלון מצוי בהרי ירושלים-צמיחה, התחדשות ויבול בלוטים. *רתם, כתב עת בנושאי שדה בוטניים בארץ ישראל* **18**, 93-112.

23. Alon G., Kadmon R., 1996. Effect of successional stages on the establishment of *Quercus calliprinos* in an East Mediterranean Maquis. *Israel J. Plant Sci*. **44**, 335-345.

24. Amar Z., Gottlieb H., Varshavsky L., and Iluz D., 2005. The Scarlet Dye of the Holy Land. *BioScience* **55**, 1080-1083.

25. Bianco P., and Schirone B., 1985. On Quercus coccifera L. s.l.: Variation in reproductive phenology. *Taxon* **34**, 436-439.

26. Blondel J. and Aronson J., 1999. Biology and wildlife of the Mediterranean region. Oxfored University Press, New York, 328 p.

27. Colombo P.M., Lorenzoni F.Ch., Grigoletto F., 1983. Pollen Grain morphology supports taxonomical discrimination of Mediterranean oaks (Quercus, Fagaceae). *Plant. Sys. Evol*. **141**, 273-284.

28. Fan, A., Werker, E., and Bass, P., 1986. Wood Anatomy and Identification of Trees and Shrubs from Israel and Adjacent Regions. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, p221.

29. Gentile S., Gastaldo P., 1976. [*Quercus calliprinos* Webb. and *Quercus coccifera* L.: researches on the leaf anatomy and taxonomical and chorological considerations. *Giorn. Bot. Ital*. **110**, 89-115.

30. Grünzweig J., Carmel Y., Riov J., Sever N., McCreary D D., and Flather C H., 2008. Growth, resource storage, and adaptation to drought in California and eastern Mediterranean oak seedlings. *Can.J. For. Res*. **38**, 331-342.

31. Gutman M., Henkin Z., Holzer Z., Noy-Meir I., Seligman N., 1991. Beef Cattle Grazing to creat Firebreaks in a Mediterranean oak Maqius in Israel. Proceedings IV international Rengland Congress, Montpellier, April 22-26..

32. Henkin Z., Gutman M., Aharon H., Perevolotsky A., Ungar E D., Seligman N G., 2005. Suitability of Mediterranean oak woodland for beef herd husbandery. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **109**, 255-26

33. Jalas J. and Suominene J., 1976. Atlas Florae Europeae, Distribution of vascular plants in Europe, 3; Salicaceae to Balanophoraceae. Helsinki.

34. Kadmom R. and Harari-Kremer R., 1999. Landscape scale regeneration of disturbed Mediterranean maquis. *J. Vegetation Sci*. **10**, 393-402.

35. Klötzli F., 1975. Okologische Besonderheiten Pinus-reicher Waldgesellschaften. *Schweiz. Z. Forstw*. **126**, 672-710.

36. Ledig T.F., 1992. Human impact on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos* **63**, 87-108.

37. Oppenheimer H R., 1940. Etudes sur le probleme de la reconstitution des chenales an *Palestine. Pal. J. Bot. Rehovoth* **3**, 105-143.

38. Oppenheimer H. R., 1947. Studies on the water balance of unirrigated woody plants. *Palestine J. Bot., Rehovot serie* **6**(1), 63-77.

39. Oppenheimer H. R., 1953. An experimental study on ecological relationships and water expenses of Mediterranean forest vegetation. *Palestine J. Bot., Rehovot series* **7**, 103-124.

40. Paffetti D., Vettori C., Giannini R., 2001. Relict populations of *Quercus calliprinos* Webb. On Sardinia Island identified by chloroplast DNA sequences. *For. Genet***. 8**, 1-11.

41. Rosenzwig, 1972. Study of difference in the effects of forest and other vegetative covers on Water-yield, Research report No 33, Agricultural Research Organizarion, the Volcani Center.

42. Schiller G, Ungar E. D., Yosef M., Cohen S. and Cohen Y., 2003. Estimating water use by sclerophyllous species under East-Mediterranean climate. 2. The transpiration of *Quercus calliprinos* Webb. in response to silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management* **179**, 483-495.

43. Schiller G., Sjkler G., Ungar D. U., Al-Omaru A., Zyadin A.F., Korol L., 2006. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks: 3. Quercus calliprinos Webb. In Israel and Jordan. *Israel J. Plant Sci*. **54**, 137-148.

44. Schiller G., Ungar D.U., Cohen S., Herr N., 2010. Water use by Tabor and Kermes oaks in their respective habitats in the lower Galilee region of Isrel. *For. Ecol. Manage.* **259**, 1018-1024/

45. Toumi L., Lumaret R., 2010. Genetic variation and evolutionary history of holly oak: a circum –Mediterranean species-complex [Quercus coccifera L// Q. calliprinos (Webb.) Holmboe, Fagaceae]. *Plant Sys. Evol*. **290**, 159-171/

46. Wilkie M l., 2010. Global Forest Resources Assessment, Israel Country Report, 52 p. FAO Forest Department, Rome

47. Zohary M., 1960. The Maquis of *Quercus calliprinos* in Israel and Jordan. Bull. Res. Counc. of Israel **9D**, 51-72.

48. Zohary M., 1961. On the oak species of the Middle-East. Bull. Res. Counc. of Israel **9D**(4), 161-186.

49. Zohary M., 1962. Plant life of Palestine, Israel and Jordan. The Ronald Press Co. New York

50. Zohary M., 1973. Geobotanical Foundations of the Middle East. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart.

3.3 אלון התבור (*Quercus ithaburensis* Dec.)

אלון התבור הוא מין נשיר, בדרך כלל עץ רם חד-גזעי הגדל לגובה של בין 8 ל-10 מ׳ ושעשוי גם לגדול לגובה של 20 מ׳. *אלון התבור* מקורב, כנראה בדרגה של תת מין, *לאלון מקרולפיס* (*Q. macrolepis*) שבעבר כונה *Q. aegilops* ואו *Q. vallonea*. *אלון התבור* מצטיין במגוון מורפולוגי גבוה שמתבטא בעיקר בצורה וגודל הבלוטים והספלולים ובמידה פחותה בצורת העלים [26]. מין זה הוא תרמופילי שגדל עד לרום של בין 1000- 800 מ׳ מעל פני הים, בגולן 1000 מטר בערך [1]. בחורש מעורב הוא מעדיף מפנים דרומיים על פני צפוניים.

שטח היער הנוכחי המצומצם של מין זה בארץ הוא תוצאה של כריתה והרס יערות חוזר במשך אלפי שנים, תהליך שהגיע לשיאו בתחילת המאה ה-19, עת נִכבשה הארץ על ידי מצרים; ההרס נימשך בעת מלחמת העולם הראשונה בתחילת המאה ה-20, על ידי האימפריה העותומאנית, עד שכמעט ולא נותר מהם שריד [8, 13]. בארץ נותרו ריכוזים אחדים מצומצמים יחסית בהיקפם שגדלים ברמת הגולן (יער יהודיה), צפון בקעת הירדן למרגלות החרמון, הגליל התחתון, אזור אלונים שפרעם, הכרמל, השומרון ושפלת החוף [11]. ישנם עוד קיבוצים קטנים אך רבים, שנוצרו כנִראה בעזרת הפצת בלוטים בעיקר על ידי העורבני (ציפור המטמינה בלוטי אלונים); ריכוזים אלו עשויים לגדול בהיקפם עם הזמן על ידי חידוש טבעי.

לממשק יער *אלון התבור* בשטחים רבים בחבל הים תיכוני במדינה עשויה להיות משמעות גם מהבחינה ההידרולוגית, היות והעץ הבודד מדיית כמות מים רבה מאוד בהשוואה *לאלון המצוי* ומיני עצי חורש אחרים הגדלים באותו בית גידול [19, 22, 23; ראה גם פרק רביעי וחמישי בספר זה]. משק המים של *אלון התבור* נִשען על מערכת הובלת המים בעצה שבנויה מטראכאות, שהן בעלות קוטר של עד 250 µm ואורך של בין -260-540, ובממוצע 360 µm, אשר מרוכזות בצורת טבעת בתחומי הטבעת השנתית (Ring porous) {14}. קליטת המים נעשית באמצעות מערכת שורשים אשר בבתי גידול מסולעים מתפשטת בחללים מלאי אדמה שבתוך הסלע הנקבובי המכוסה נארי. סלע שכזה מסוגל להעביר כמויות מים רבות [4, 5, 6] ועם כל הדרישה הרבה שלו למים הרי שמבין האלונים הים תיכוניים הנשירים, *אלון התבור* הוא המין העמיד יותר ליובש, לכן מומלץ לנטיעה בבתי הגידול המתאימים [24, 25]. היקף השטחים בהם הקרקעות, המסלע וטווח הטמפרטורות תואמים את הדרישות האקולוגיות של המין ומאפשרים את גדילתו הוא רב מאשר היקפם

של השטחים בהם הוא גדל עתה. לכן יש מקום לטעת מין זה בקנה מידה נרחב. באזורים בהם תכונות הקרקע והסלע מאפשרים את אספקת המים הרבה הנדרשת לו, דוגמת קרקעות בשפלת החוף מצפון לתל אביב ועד למרגלות הכרמל, על גבי המסלע הנקבובי המאפשר אחסון והעברת מים רבה כפי שקיים באזור טבעון-שפרעם, בכרמל, בגליל התחתון ובגולן [5, 6, 7]. היות שאוכלוסיות *אלון התבור* גדלות בבתי גידול ששונים בתנאים האקולוגים והברירה הטבעית מביאה לידי ביטוי גנטי את ההבדלים שבין בתי הגידול, נעשה מחקר על המגוון הגנטי במין זה בתוך ובין 16 אוכלוסיות [16, התוצאות מפורטות בפרק חמש "יעראות מוכוונת על ידי המגוון הגנטי"].

כפי שנאמר בפרק על *האלון המצוי* גם ביערות *אלון התבור* לא נעשו מחקרים יעראיים מפני ש*אלון התבור* כשלעצמו אין כמעט חשיבות כלכלית עקב האיכות הירודה של הגזעים שהם בדרך כלל קצרים מאוד, מפותלים, מתפצלים ועוד, מה שאינו מאפשר את ניצולם באופן תעשייתי ליצירת תוצרים איכותיים, אלא רק לייצור פחם עץ, תוצרת עץ מעובדת ידנית וחומרי בורסקאות (טאנינים לעיבוד עורות). אך היות ויערות אלון התבור הם מסוג של יער-פארק, בדרך כלל מורכב ממספר קטן של עצים גדולים עם תת יער עשבוני אשר משמש למרעה, המחקרים המועטים על ממשק ביער *אלון התבור* קשורים בעיקר להשפעות הרעיה על ההתחדשות הטבעית, התפתחות הזריעים, השתקמות לאחר שריפה [9, 11, 15, 15]. לאחרונה גברה ההתעניינות בנביטה ובהתפתחות של אלון התבור בתוך יערות מחטניים, והממשק הדרוש לשם קידום התפתחות הזריעים ויצירת יער מעורב [7].

ספרות, מקור הציטוט

1. אבישי מ., 1967. מחקר טקסונומי-גאוגרפי באלונים של המזרח הקרוב. עבודת גמר לתואר מוסמך. האוניברסיטה העברית בירושלים.

2. אייג א.,1935. מחקר היסטורי פיטו-סוציולוגי של יערות Quercus Aegilops באי"י בהווה ובעבר. הטבע והארץ כרך **ג'** חוברת ב': עמ' 112-115 : חוברת ד': עמ' 209-215 ; חוברת ה'-ו': עמ' 328-334 ; חוברת ז': עמ' 388-39 ; חוברת ח': עמ' 444-448.

3. אליאב א.,1985. שימוש בבלוטי אלון התבור למאכל. *לתם, כתב עת לנושאי שדה בוטניים בארץ ישראל* **14**, עמ' 72-73.

4. הר נ., 1998. מסלע וקרקע כגורם אקולוגי של תפוצה והתפתחות ביער אלון התבור באזור אלונים-שפרעם. עבודה לתואר מוסמך, הפקולטה למדעי החקלאות המזון ואיכות הסביבה.

5. הר נ., 2000. מסלע וקרקע כגורם אקולוגי ביער אלון התבור באזור אלונים-שפרעם. *אקולוגיה וסביבה* **6**, עמ' 25-42.

6. הר נ., 2008. מבנה מערכת הקרקע והסלע והדינמיקה של משק המים בבית הגידול כגורמים אקולוגיים בתפוצת אלון התבור והאלון המצוי באזור אלונים-שפרעם. עבודה לשם קבלת תואר דוקטור. האוניברסיטה העברית בירושלים.

7. קופר, א., 2011. תנאי קרינה ביער מחטני נטוע והשפעתם על התפתחות ותפקוד אלון התבור

עבודת גמר, הפקולטה למדעי החקלאות המזון והסביבה של האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות.

8. קרשון ר., 1982. סנגוריה על התורכים - מחקר על השמדת יערות אלון התבור בשרון הדרומי. *ליערן* **32**, עמ' 53-50 ; 59-54 (באנגלית).

9. ריזמן-ברמן א, בוקן ב, חנקין ז, קפלן ד., 2011. השפעות השריפה ורעית בקר על ההתחדשות וההתאוששות של יער אלון התבור לאחר שריפה פראית: האם נחוצה התערבות ממשקית יערנית? דו"ח מחקר מוגש להנהלת ענף היער של הקק"ל.

10. Bush R M., Smouse P E. and Ledig F T., 1987. The fitness consequences of multiple-locus heterozygosity: The relationship between heterozugosity and growth rate in pitch pine (Pinus rigida Mill.). *Evolution* **41**, 787-798.

11. Dufor-Dror J-M and Ertas A., 2004. Bioclimatic perspectives in the distribution of Quercus ithaburensis Decne. Subspecies in Turkey and the Levant. *J. Biogeogr*. **34**, 461-474.

12. Dufour-Dror J-M., 2007. Influence of cattle grazing on the density of oak seedlings and saplings in a Tabor oak forest *in Israel*. *Acta Oecologica* **31**, 223-228.

13. Eig A.,1933. A historical-phytosociological essay on Palestinian forests of *Quercus aegilops* L. ssp. *ithaburensis* (Desc.) in past and present. *Beihefte Bot. Centralbl., Bd LI. Abt. II, Heft* **1**, 225-272.

14. Fan, A., Werker, E., and Bass, P., 1986. Wood Anatomy and Identification of Trees and Shrubs from Israel and Adjacent Regions. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, p221.

15. Kaplan D., 2005. The Enigma of the establishment of *Quercus ithaburensis* park forest in northern Israel: Co-Evolution of wild-boar and men. *Wildl. Biol. in Pract*. **1**, 95-107

16. Kaplan D, and Gutman M., 1999. Phenology of *Quercus ithaburensis* with emphasis on the effect of fire. *For. Ecol. Manage*.**115**, 61-70.

17. Korol L, Shklar G. and Schiller G., 2005. Tabor oak in Israel, genetic diversity within and between populations. *Forest Genetics* **11**, 317-323.

18. Ne'eman G., 1993. Variation in leaf phenology and habit in *Quercus ithaburensis*, a Mediterranean deciduous tree. *J. of Ecology* **81**, 627-634.

19. Oppenheimer, H.R., 1949. The water turn-over of the Valonea oak. *Palestine J. Bot., Rehovot series,* **7**, 171-179.

20. Schiller G, Herr N, Shklar G, and Korol L., 2005. Diversity assessment of leaf phenology variation in *Quecus ithaburensis* Decne. By RAPD. *Israel J. Plant Sci.* **53**, 75-78.

21. Schiller G., Shklar G. and Korol L., 2003. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks in Israel. 1. Tabor oak (*Quercus aegilops* L. *ssp. ithaburensis* [Decne] Boiss.). *Israel J. of Plant Sci.* **51**, 1-10.

22. Schiller G, Shabtai C., Ungar E. D., Moshe Y. and Herr N., 2007. Estimating the water use by sclerophyllous species under East-Mediterranean climate. III. Tabor oak forest sap flow distribution and transpiration as related to site factors. *For. Ecol. Manage.* **238**, 147-155

23. Schiller G., Ungar E. D., Shabtai C and Herr N., 2010. Water use by Kermes and Tabor oaks growing in their respective habitats in the Lower Galilee region of Israel. *For. Ecol. and Manag.*, Doi:10.1016/j.foreco.2009.12.00823.

24. Siam A,M.J., Radoglou K.M., Noitsakis B., Smiris P., 2008. Physiological and gtowth responses of three Mediterranean oak species to different water availability regims. J. of Arid Envir. **72**, 583-592.

25. Siam A.M.J., Radoglou K. M., Noitsakis B., Smiris P., 2009. Differences in ecophysiological responses to summer drought between seedlings of three deciduoud oak species. *For. Ecol. Manage***. 258**, 35-42.6

26. Zohary M., 1961. On the oak species of the Middle East. *Bull. Res. Counc. of Israel*, **9D**(4), 161-186

3.4 אלון התולע (*Quercus boissieri* Raut.)

מין זה שהוא מין נשיר נפוץ במזרח אגן הים התיכון בהרים שבדרום מזרח טורקיה ועד אירן {3}, עיקר תפוצתו בארץ הוא ברמת הגולן ובגליל העליון, באזורים בהם כמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת גבוהה מ- 600 מ״מ, על קרקע יער חומה-מונטמורילוניטית מגניונית (רבינוביץ-וין, 1986). עם הירידה בעוצמות הכריתה של מין זה, אשר גדל מהר יחסית לגובה ומגדֵל קורה ישרה, הוא שוב מתפשט על ידי זריעה עצמית של בלוטים בבתי הגידול המתאימים לו, ויוצר חברות אחדות: *אלון התולע ופטל לביד*; *אלון התולע ושלהבית דביקה*; *אלון התולע ואגס סורי* [1]. באזורים אחרים בארץ *אלון התולע* גדל במקומות בהם התנאים האקולוגים מספקים את דרישותיו, אך לא כמין שולט אלא כמין נִלווה, בעיקר בחברת *אלון מצוי*, למשל; בפסגת הר המוחרקה, באום-ריחן ובהר סנסן. *אלון התולע* עמיד לשרפה יותר טוב מ*אלון מצוי* כתוצאה מקליפה עבה על פני הגזע והענפים, משם הוא מתחדש. מעבר לידע על תנאי בית הגידול בהם גדל *אלון התולע* אין בישראל מידע נוסף על מין זה.

בגלל חשיבותו הגדלה מבחינה יעראית של *אלון התולע* הן בגליל ובגולן, אך גם בבתי גידול מתאימים באזורים אחרים בארץ, והאפשרות להרבות בנטיעתו, נוצרה התעניינות במגוון הגנטי של מין זה על מנת להצביע על מקורות לאיסוף חומר ריבוי משובח מבחינה גנטית נעשה מחקר על השונות הגנטית בקרב מין זה בארץ [2], התוצאות מובאות בפרק חמש על ״יעראות מוכוונת על ידי השונות הגנטית״.

ספרות, מקור הציטוט

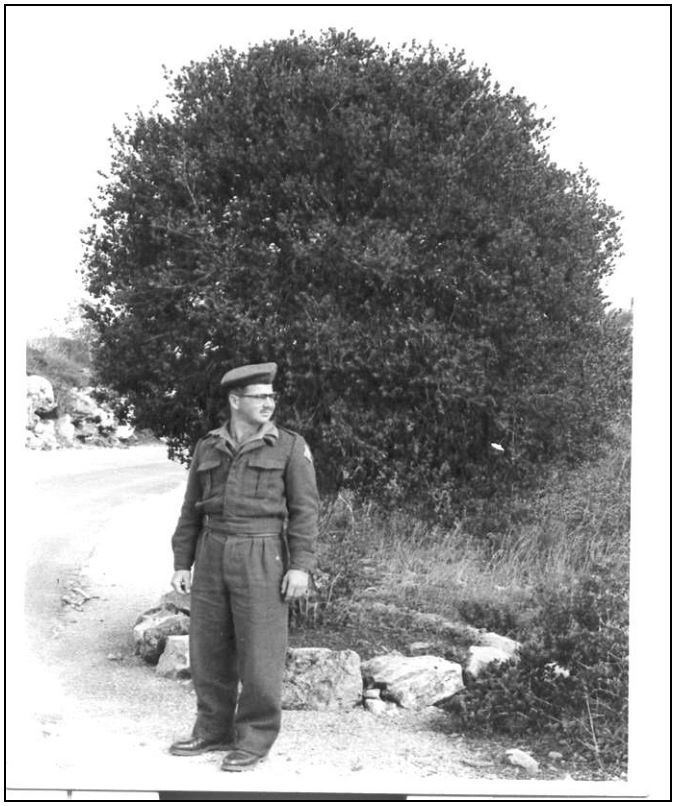
1. רבינוביץ-וין א., 1986. סלע-קרקע-צומח בגליל. הוצאת הקיבוץ המאוחד/רשות שמורות הטבע

2. Schiller G, Shklar G, and Korol L., 2004. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks in Israel.2. Quercus boissieri Reut. Israel J. Plant Sciences **52**, 315-322.

3. Zohary M., 1973. Geobotanical Foundations of the Middle East. Gustave Fischer Verlag Stuttgart . Vol 2, pp 359.

3.5 בר-זית בינוני (*Phillyrea latifolia* L)

בר-זית הוא שיח גדול או עץ נמוך קומה, ירוק-עד, סקרופילי (בעל עלים נוקשים), ממשפחת הזייתיים, שתפוצתו היא כלל ים-תיכונית. בארץ הוא נפוץ כמין נִלווה ביערות ובחורשים ים-תיכוניים [22]. לבר-זית בינוני תחום אקולוגי רחב מאוד באופן יוצא מהכלל והוא גדל בסוגים שונים של בתי גידול ומגוון אתרים [2]. בית הגידול האופייני ביותר הוא המדרונות היובשניים הנהנים מקרינה, במיוחד סלעי גיר. יחד עם זאת הוא גדֵל גם בקרקעות חצציות, סחף חרסיתי, רנדזינות וחול מיוצב הן באור שמש מלא והן בתנאי צל, בבתי גידול יובשניים וגם בגדות נחלים ונהרות, בצורה של שִׂיחייה נמוכה, אך גם כתת-יער ביערות פתוחים של מיני *אורן*: *אורן ירושלים*, *אורן ברוטיה* ו*אורן שחור* בטורקיה. בהקשר עם המגוון הגדול של בתי גידול, הרי שהתפוצה הגיאוגרפית אינה מוגבלת רק לקִרבת חופי הים כמו רוב החורשים, אלא חודרת דרך עמקי נחלים ונהרות גם לאזורים פנימיים. יחד עם זאת, טווח הרום אינו גדול ולרוב הוא מופיע בתחום שבין פני הים ועד גובה של 600 מ', אך ישנם מקומות שבהם הוא מופיע בגבהים גבוהים של עד 1,300 מ' (באנטוליה).



צילום משנת 1958 מראה את המחבר ליד עץ *בר-זית* בינוני.

העץ גדל ברמת הנדיב והושמד בשריפה של שנת 1980. גיל העץ כגיל החייל שבתמונה.

שינויי האקלים החזויים באזור אגן הים התיכון, הכוללים עלייה בטמפרטורות, ירידה בכמות הגשמים, אך עלייה בעוצמתם ועוד [5], עשויים להשפיע על הרכב חברות הצומח בבתי הגידול השונים. הצפי לתרחיש שכזה, החל כבר בשנות התשעים של המאה העשרים, הוליד סִדרה ארוכה של מחקרים אקו-פיזיולוגיים במינים המרכזיים המרכיבים את היערות והחורשים הים-תיכוניים הגדֵלים במדינות אירופה וצפון אפריקה. כמות המחקרים בתחום האקו-פיזיולוגי, הכוללים בנוסף לאלונים גם את *הקטלב*, *אלת המסטיק*, *ליגוסטרום*, *הרדוף הנחלים*, *רוזמרין* ואת *הבר-זית* הם רבים. נִמצא כי *בר-זית בינוני* הוא בעל תכונות פיזיולוגיות המאפשרות לו עמידות ליובש שעולה על זה של אלונים ים-תיכוניים, דוגמת *אלון אילקס* (*Q. ilex*), *קטלב* (*Arbutus unedo*) ומינים אחרים [4, 6, 7, 8 , 9, 16, 17, 18, 20, 21].

לעומת זאת, כמות המחקרים הקשורים בהשפעת שינויי אקלים על הצמחייה במזרח אגן הים התיכון, ובמיוחד בארץ, ותשומת הלב שנִתנה למינים העיקריים המרכיבים את החורש דוגמת *האלון המצוי*, *אלון התבור חרוב מצוי*, *קטלב*, *אשחר ארץ-ישראלי* או *אשחר רחב עלים*, *ער אציל*, *אלה ארץ-ישראלית*, *אלת המסטיק*, *אלה אטלנטית* ומינים אחרים היא דלה ביותר. מחקר אקו-פיזיולוגי בצמחי החורש, שכולל גם את *הבר-זית*, נעשה כבר בשנות הארבעים והחמישים על ידי פרופ׳ אופנהיימר [10, 11, 12, 13, 14, 15]. המְמצאים העיקריים ממחקרים אלו הראו ששורשי *הבר-זית* חודרים בסדקים שבסלעים לעומק רב, וביכולתו להעלות את הערך האוסמוטי של מוהל התאים לרמות גבוהות של עד כ- 5-6 MPa, עלוותו עמידה בגירעון לרוויה של עד 50%~. כל התכונות הללו מאפשרות לו דיות כל השנה [3, 19] (ראה גם פרק רביעי בספר זה) ומכאן גם פעילות הטמעה בתנאי בית גידול שהם יובשניים מדיי עבור האלון המצוי. לכן מין זה מחליף עתה ועשוי להחליף בעתיד, במידה שתנאי בית הגידול ישתנו ויורעו כתוצאה משינוי אקלימי, את *האלון המצוי* כמין המהווה את עמוד השִדרה של החורש בבתי גידול יובשניים בתחום התפוצה של החורש הים תיכוני. *בר-זית* עשוי לצמוח ולהיות עץ בגובה לא רב, כפי שנִראה בצילום, בעזרת טיפולים בגזע המרכזי והכחדה חוזרת ונִשנית במרווחי זמן קצרים של הנצרים הפורצים מצוואר השורש [1]. *בבר-זית* קיים מגוון מורפולוגי, שעשוי להיות קשור למגוון גנטי במין זה. רצוי על כן להסב תשומת לב למין זה גם מהבחינה של המגוון הגנטי בתוך ובין אוכלוסיות שגדלות בבית גידול שונים בתכונותיהם ברחבי הארץ, על מנת לדעת מי הן האוכלוסיות בהן

המגוון הגנטי הוא הגבוהה ביותר כדי לאסוף שם חומר ריבוי. כי מגוון גנטי רב מאפשר ברירה והתאמה טובה לתנאי בית הגידול.

ספרות, מקור הציטוט

1. גטריידה ש., פרבולוצקי א., 1991. השפעת טיפולים ממשקיים על צימוח שיחי בר-זית בינוני (Phillyrea latifolia) ברמת הנדיב דו"ח מחקר מס' 6. החברה להגנת הטבע וקרן יד הנדיב.
2. פולק, ג., שוורץ-צחור ר., 2003. הביולוגיה והאקולוגיה של בר-זית בינוני - סקירת ספרות וסיכום מחקרים ברמת הנדיב. החברה להגנת הטבע ויד הנדיב. 59 עמ'.
3. שילר ג., אונגר ד י., כהן י., 2001. ידיעת שיעור הדיות כגורם מכוון בממשק אקוסיסטמות ים-תיכוניות - מקרה רמת הנדיב. *אקולוגיה וסביבה* **6**, עמ' 170-176.

4. Borghetti M, Magnani F., Eabrizio A., Saracino A., 2005. Facing drought in Mediterranean post-fire community: tissue water relation in species with different life traits. *Acta Oecologica* **25**, 65-72.
5. IPPC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. *In*: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K B., Tignor M., Miller H L.,(eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
6. Martinez-Vilalta J., Piñol J., Beven K., 2002a. A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean. *Ecological Modeling* **155**, 127-147.
7. Martinez-Vilalta J., Prat E., Oliveras I., Piñol J., 2002b. Xylem hydraulic properties of roots and stems of nine Mediterranean woody species. *Oecologia* **133**, 19-29.
8. Martinez-Vilalta J., Mangiron M., Ogaya R., Sauret M., Serrano L., Peñuelas J., and Piñol J., 2003c. Sap flow of three co-occuring Mediterranean woody species under varying atmospheric and soil water conditions. *Tree physiology* **23**, 747-758.
9. Ogaya R., Peñuelas J., Martinez-Vilalta J., Mangiron M., 2003. Effect of drought on diameter increment of Quercus ilex, Phillyrea latifolia, and Arbutus unedo in a holm oak forest of NE Spain. *For. Ecol. Manage*. **180**, 175-184.

10. Oppenheimer H R., 1947. Studies on the water balance of unirrigated woody plants. *Palestine. J. Bot., Rehovot Ser*. **6**, 63-77.

11. Oppenheimer H R., 1951. Summer drought and water balance of plants growing in the Near East. *J. Ecology* **39**, 356-362.

12. Oppenheimer H R., 1953. An experimental study on ecological relationships and water expenses of Mediterranean forest vegetation. *Palestine J. Bot. Rehovot Ser*. **8**, 103-124.

13. Oppenheimer H R., 1955. Pénétration active des eacines de buissons Méditerraneens dans les roches calciares. *Bull. Res. Coun. Israel* ***5D***, 219-222.

14. Oppenheimer H R., 1957. Further obserevations on root penetration into rock and their structure. *Bull. Res. Coun. Israel* **6D**, 18-26.

15. Oppenheimer H R., 1963. Zur kenntins kritischer Wasser-Sattigungsdefficite in Blattern und ihrer Bestimung. *Planta* **60**, 51-69.

16. Peñuelas J., Filella I., Piñol J. and Siscart D., 2000. Effects of sever drought on water and nitrogen use by *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*. *Biologia Plantarum* **43**, 47-53.

17. Peñuelas J., Lloret F., Montoya R., 2001. Sever drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *For. Sci.* **47**, 214-218.

18. Resco de Dois V., Fischer Ch., Colinas C., 2007. Climate change effects on Mediterranean forests and preventive measures. *New Forests* **33**, 29-40.

19. Schiller G., Ungar E D., Cohen Y., 2002. Estimating the water use of a sclerophyllous species under an East-Mediterranean climate. 1. Response of transpiration of Phillyrea latifolia L. to site factors. *For. Ecol. Manage*. **170**, 117-126.

20. Serrano L., Peñuelas J., Ogaya R., Save R., 2005. Tissue- Water relations in two co-occurring evergreen Mediterranean speciesin response to seasonal and experimental drought conditions. *J. Plant Res*. **118**, 263-269.

21. Serrano L. and Peñuelas J., 2005. Contribution of physiological and morphological adjustments to drought resistance in two Mediterranean tree species. *Biologia Plantarum* **49**, 551-559.

22. Zohary M., 1962. Plant life of Palestine-Israel and Jordan. Ronald Press, New York.

3.6 אלות

מבוא

חמשה מיני *אלה* גדלים בארץ [28], מתוכם חשיבות יערית יש רק לשלושה: *אלת המסטיק* ו*אלה ארץ ישראלית* בחבל הים תיכוני במדינה, *ואלה אטלנטית* בחבל הים תיכוני ובחבל היובשני למחצה (האירנו-טורני).

תשומת לב רבה מאוד הופנתה למחקרים על היחסים שבין כנימות וצורת העפצים במיני האלות ובבתי גידול שונים, למחקרים על התכונות הרפואיות של חומרים כימים שונים וחומרים נדיפים ואו "המסטיק" באלות השונות, ולמחקרים על היחסים שבין הכנה (בדרך כלל *אלה אטלנטית*) והרוכב (*אלה אמיתית* = P. vera). פרק זה יסכם רק את הידוע בתחום הגנטי, האקולוגי והפיזיולוגי, היות ושלושת מיני האלה הנ"ל הם מרכיב אקולוגי חשוב במידה זו או אחרת בבתה ובחורש/יער רחב העלים בחבל הים תיכוני והאירנו-טורני (סמי-ארידי), וכתת יער ביערות המחטניים שניטעו.

מחקרים אחדים נעשו כדי לבדוק את הקירבה הגנטית של מיני אלה ים-תיכוניים. Kafkas and Perl-Treves [14] הראו במחקרם בו נעשה שימוש במקטעי DNA (RAPDs) כי מצד אחד קיימת קירבה גנטית בין *האלה האטלנטית (P. atlantica)*, *אלה חינג'וק* (*P. khinjuk*) *ואלה אמתית* (*P. vera*) , ומצד שני - בין *אלה ארץ ישראלית* (*P. palaestina*) *אלת המסטיק* (*P. lentiscus*) *ואלה טרבינטוס* (*P. terebinthus*) . המחברים טוענים כי המרחק הגנטי בין *אלה ארץ ישראלית ואלה טרבינטוס* הוא קטן מאוד והמין הראשון הוא למעשה תת מין או זן של המין השני. מחקר נוסף [15] שהשתמש במקטעי DNA הראה גם הוא על הקירבה הגנטית הרבה שבין *אלה ארץ ישראלית ואלה טרבינטוס* ושני אלו נבדלים במידה ניכרת *מאלת המסטיק*. במחקרם של Golan-Goldhirsh et al. [11] שנעזר מקטעי DNA, נמצא שכל הדגימות ששימשו במחקרם התפלגו לשתי קבוצות; קבוצה אחת הייתה מורכבת רק מהדגימות של אלת המסטיק, בעוד שהקבוצה השנייה התפלגה לשתי תת קבוצות: האחת שכללה את שני המינים, *אלה ארץ ישראלית ואלה טרבינטוס*. השנייה כללה את שלושת המינים: *אלה אטלנטית*, *אלה חינג'וק ואלה אמיתית*. במחקרם גם נימצא כי *אלה ארץ ישראלית ואלה טרבינטוס* דומים מאוד מבחינה גנטית וכך גם *אלה אמיתית ואלה חינג'וק*. במחקר אחר נעשה ניסיון להשתמש

ברמת הנגיעות של 13 מיני כנימות יוצרות עפצים בסוג אלה כדי לבדוק את הקירבה הגנטית של מיני אלה שונים [13]. רמת הנגיעות של מיני אלה שונים במיני הכנימות השונות יצרה הבדלה ברורה בין מיני אלות ירוקות עד ואלות מהעולם החדש. בשאר מיני האלה רמת הנגיעות הבדילה היטב בין שתי קבוצות של מינים: האחת כללה את המינים *אלה אמיתית*, *אלה אטלנטית* ועוד, הקבוצה השנייה כללה את המינים *אלה חינג'וק*, *אלה טרבינטוס*, *אלה ארץ ישראלית* ועוד.

א. אלה ארץ ישראלית (*Pistacia paleastina* Boiss).

תפוצתה הכללית של האלה הארץ ישראלית היא באגן הים התיכון המזרחי. מין נשיר זה הוא מרכיב קבוע בחורש של *אלון מצוי- אלה ארץ ישראלית* בארץ וכך היה גם בעבר הרחוק [17]. בארץ, מין זה נפוץ בכל שטחי החורש והגריגה בצפון הארץ, במרכז ובמזרח [1]. אלה זו גדלה על פני מצוקים ומיפנים צפוניים, על קרקעות טרה רוסה ורנדזינה וגם על בזלת, היא גדלה מגובה פני הים ועד כ-1500 מ' [30]. התחדשות טבעית נמצאה רק במקומות מוצלים ועשירים ברקבובית. צורת הצמח של אלה זו נעה בין שיח לעץ שעשוי להיות גדול, כפי שנימצא ליד מקומות קדושים אחדים במדינה [2]. התפתחות הצמח בצורת שיח או עץ קשורה לעיתים קרובות בנגיעות של כנימה יוצרת עפצים דמויי בננה בקודקוד הצמיחה של הענף או ענפים מובילים בנוף הצמח, דבר שגורם להתפתחות ענפים צדדיים רבים וגדילת הצמח בצורת שיח [16]. *לאלה* זו חשיבות אקולוגית בכך שהיא מין נשיר שעליו אינם גילדנים ועל כן הם עשויים לקדם פעילות מחזור חומר אורגני בשכבת הנשר שעל פני הקרקע, דבר שמאוד רצוי מהבחינה היעראית.

ב. אלה האטלנטית (*Pistacia atlantica* Desf)

אלה זו היא עץ נשיר שגדל בתחום הפיטו-גאוגרפי האירנו-טורני (ערבתי, סמי-ארידי) המשתרע מהרי האטלס שבצפון אפריקה ועד איראן ומרכז אסיה. אלה זו גדלה ביערות ערבתיים פתוחים, קיומה בתחומי ישראל וסיני היא עדות לתנאים אקלים יותר לחים בעבר הרחוק [30]. עצי מין זה עשויים להגיע לגיל של מאות שנים ולגודל ניכר. בארץ *אלה* זו גדלה במרחבי הר הנגב בבתי גידול סלעים האוגרים מים בסדקי הסלעים המלאים בקרקע, למרגלות מצוקים ובואדיות. היא גדלה גם בגליל התחתון, בבקעת קדש, בצפון עמק החולה

וברמות מנשה. ההתעניינות ב*אלה האטלנטית* נובעת בעיקר כי היא מהווה את הכנה שעליה מרכיבים את אלת הבוטנה (*P. vera*) שהיא *האלה האמיתית*. *האלה האטלנטית* מתפתחת לאט, העץ עשוי להגיע לגיל גבוה ומימדים גדולים, ההתחדשות הטבעית מועטה כתוצאה מההשפעות הקשות של התנאים האקולוגים בבתי הגידול [10]. אגף היעור של הקק״ל מנסה לגדל מין זה בחורשות ברחבי הארץ, אך במיוחד בנגב, אך ללא הצלחה יתרה. זאת מפני שמין זה למרות שהוא גדל בערבות ובמדבריות בנגב ובסיני הרי שהוא גדל שם בגומחות לחות ומערכת השורשים שלו (למרות שלא נחקרה) היא בודאי ענפה ומעמיקה.

ג. *אלת המסטיק* (*Pistacia lentiscus* L.)

למין זה חשיבות רבה היות והוא נפוץ מאוד סביב אגן הים התיכון בבתה, בגריגה ובחורשים הגדלים מגובה פני הים ועד כ- 500 מ׳ גובה, במגוון בתי גידול ששונים מאוד זה מזה בתכונות אקלימיות וקרקעיות ובהרכב חברות הצומח שבהן, למשל חברת *החרוב אלת המסטיק*. מין זה הוא ירוק עד דבר המרמז על האפשרות שמוצאו מאזור של אקלים טרופי. צורת הצמח משתנה משיח נמוך ומשתרע ועד עץ שגובהו כ- 4 מ׳ [30]. מין זה נחקר רבות בעיקר מההיבט של חומרי טבע (חומרים נדיפים ושרף ומההיבט הרפואי [3, 4]. באין מזון אחר, עיזים ובקר אינם בוחלים *באלת המסטיק*. לאלה זו חשיבות רבה בשיקום מערכות גריגה וחורש שנפגעו, במיוחד באזורים יובשניים על סלעי משקע ימי (גיריים). *אלה* זו מתחדשת מנצרים לאחר שריפה וגם מזרעים, אלא שתופעת הפרטנוקרפיה במין זה היא נרחבת ומכאן מיעוט הזרעים הפוריים. תופעה שמגבילה את עיבוי הכיסוי של שטחים בהם קיימת סכנת סחף קרקע על ידי מים ורוח ונמנעת התפשטות מין זה לבתי גידול מופרים בעזרת זרעים פוריים. עקב החשיבות הרבה של מין זה בשיקום מערכות אקולוגיות ים תיכוניות נעשה מחקר על מנת לזהות אקוטיפים נקביים בעלי פוריות גבוהה ומיעוט פרטנוקרפיה כדי להוות גרעין רביה עבור שיקום [19].

כפי שכבר נאמר, חלקם של בתי הגידול בהם גדלה *אלת המסטיק* הם מאוד יובשניים. תופעה שיצרה התעניינות בשאלה האם המין נחלק לאקוטיפים אשר תכונותיהם האקו-פיסיולוגיות השונות מאפשרות עמידות ברמה שונה בפני מיעוט מים בבתי הגידול ? Szwarcbaum (Shaviv) [22] במחקרו על אקולוגיה (Autecology) של *אלת המסטיק* הגיעה למסקנה כי האוכלוסיות הגדלות בבתי גידול ששונים בתנאים האקולוגים שבהם, הם

למעשה אקוטיפים שיש להם הסתגלות למשל לתנאי יובש בקרקע ובאוויר בעזרת ריבוי פיוניות, עמידות בפוטנציאל מים גבוה בנצר, פעילות הטמעה (פוטוסינתזה) בתנאי טמפרטורת אויר גבוהים. אוכלוסיית הגלבוע פיתחה תכונות אלו, בעוד שאוכלוסיות הכרמל וחוף הים אינן מגלות הסתגלות ליובש וחום. נכונות ההשערה ש*אלת המסטיק* נחלקת לאקוטיפים, או שיש במין זה התבטאות פנוטיפית בהתאם לתנאים האקולוגיים השונים נבדקה על ידי .Nahum et al [20]. עבור מחקר זה נדגמו שש אוכלוסיות שגדלות בבתי גידול ששונים מאוד מהבחינה האקולוגית (נחל כזיב, התורען, הכרמל, הגילבוע, חדרה, ובית גוברין), ושלוש אוכלוסיות בקפריסין. נמצא כי האוכלוסיות הישראליות נבדלו באופן מובהק אחת מהשנייה בפרמטרים מורפולוגיים (נפח השיח, מספר העלעלים ופוטנציאל המים עם הזריחה) שהיו בהתאמה לתנאים האקולוגים בכל בית גידול (גשם שנתי וטמפרטורה שנתית ממוצעת). לעומת זאת, לא נמצאו הבדלים מובהקים בגודלה של השונות הגנטית בין האוכלוסיות ולא בין הארצות (ישראל וקפריסין). 69% מהמגוון הגנטי הכללי (מהשונות הגנטית) של המין נימצא בתוך האוכלוסיות, 22% מהשונות נובע מהבדלים בין שתי הקבוצות ישראל - קפריסין, 9% מהמגוון הגנטי נובע מהבדלים בין אוכלוסיות שבתוך שני הקיבוצים הגיאוגרפיים. מעבר גנים בין האוכלוסיות הוא גבוהה ולא נמצאו סימנים לבידוד כתוצאה ממרחק בין האוכלוסיות. כמו כן, לא נמצאו סימנים גנטיים המעידים על הבדלים בין האוכלוסיות שקשורים לתנאים האקולוגיים השונים. מכאן, שההבדלים המורפולוגיים והפיזיולוגיים בין האוכלוסיות שנדגמו בישראל נובעים מפלסטיות פנוטיפית. ניראה שהיכולת של אלת המסטיק לבטא פנוטיפים שונים בתגובה לשונות בתנאים האקולוגיים היא תכונה של הסתגלות במין שבו קיימת זרימה אינטנסיבית של גנים. בדיקות בשיטות גנטיות, מורפולוגיות, וביוכימיות של המגוון הגנטי ב*אלת המסטיק* בישראל, קפריסין, תוניס וספרד נעשו על ידי .Barazani et al [6]. החוקרים מצאו שונות מורפולוגית רבה בין המקורות השונים מבלי קשר למוצאם הגיאוגרפי. גם בדיקות הרכב וכמות החומרים הארומאטיים (מונוטרפנים, ססקווי-טרפנים ועוד) הראו הבדלים בין המקורות אך ללא יחס למוצאם הגיאוגרפי. לעומת זאת שימוש במקטעי DNA בשיטת RAPD הראה על שוני רב בין אוכלוסיית המין בישראל מזו אשר בקפריסין ועל קירבה יחסית בין האוכלוסיות אשר בספרד לאלו אשר בתוניס. החוקרים מסכמים שהשונות הכימית, הגנטית והמורפולוגית הרבה כנראה שמאפשרת למין זה לגדול בהצלחה

במגוון רחב של בתי גידול. המגוון הגנטי ב*אלת המסטיק* בספרד ובמרוקו ניבדק בעזרת בדיקת מקטעי DNA בשיטת ה-RAPD על ידי Werner et al [27]. נימצא כי אוכלוסיות *אלת המסטיק* בדרום מזרח ספרד שונות מאוד מאלו הגדלות במרוקו, ומסקנתם היא שאין לטעת שתילים שמוצאם ממרוקו בספרד.

ההתראות זה שנים רבות על האפשרות לשינויי אקלים כלל עולמיים, אשר באזור אגן הים התיכון יתבטאו במגמת התייבשות, היוו גורם מדרבן למחקרים על דרכי התגובה ודרכי הסתגלותם של מיני צמחים ים-תיכוניים שגדלים ביער, בחורש ובגריגה לירידה בכמות הגשמים השנתית, שינוים בעוצמת הגשמים וחלוקתם בעונה הגשומה, עליה בטמפרטורת האוויר כלומר, בדיות ועוד. בין המינים אשר נחקרו ונעשו ביניהם השוואת על עוצמת התגובות הפיזיולוגיות והפנולוגיות למצבי עקה נימצאים: *אלת המסטיק*, *אלון אילקס*, *אלון השעם*, *הדס מצוי*, *בר-זית בינוני*, *רוזמרין*, *קטלב אונדו*, *אורן ירושלים*, *ערער אדום*, *חרוב*, *זית בר* ועוד.

יערות *אורן ירושלים* ניטעו בעבר באזורים רבים סביב אגן הים התיכון ובמקומות אחרים. מתוכם רבים סובלים מאוד בהתפתחותם כתוצאה מחוסר טיפול נאות אשר גרר בעקבותיו גם קיפאון בתהליכים אקולוגיים דוגמת כניסת מינים טבעיים לבית הגידול והפיכת יערות האורן החד מיניים ליערות רב מיניים. מחקרים הראו כי הגורם המונע התפשטות *אלת המסטיק* כתת יער ביערות *אורן ירושלים* נטועים ובלתי מטופלים (מדוללים) היא התחרות [18]. מצד אחר Filella and Penuelas [8] הוכיחו כי עצי *אורן ירושלים* גדולים (מבוגרים) הגדלים בודדים בחורש, תורמים למאזן המים של שיחי *אלת המסטיק* הגדלים בקרבתם המידית בעונת היובש, על ידי העלאת מים משכבות קרקע וסלע עמוקות לשכבות קרקע עליונות והפרשתם ממערכת השורשים (Hydraulic lift); תופעה התורמת לגדילה טובה יותר ומכאן למפל בהתפתחות שיחי *אלת המסטיק* עם המרחק מעצי האורן. לעומת זאת במחקר על היחסים בין *אלת המסטיק* *לערער אדום* (Juniperus phoenica) באזור חולי ויובשני בספרד, נימצא כי *אלת המסטיק* מסוגלת לנצל מי תהום מלוחים וגם מעלה אותם ומפרישה מהשורשים לקרקע בשכבות עליונות. הערער מנצל רק את המים המתוקים בקרקע בעונת החורף ואינו נהנה מתוספת הרטיבות הנגרמת על ידי *אלת המסטיק* והוא מצמצם את פעילותו הפיזיולוגית.

נבדקה השפעת רמת זרחן וחנקן בקרקע על המורפולוגיה של הצמח והתכונות ההידרולוגיות של מערכת השורשים ב*אלת המסטיק* [24]. ירידה ברמות החנקן גרמה לצמצום הצטברות הביומאסה העל קרקעית אך ללא פגיעה בהצטברות ביומאסה תת-קרקעית או שינוים במורפולוגיה של השורשים. מחסור בזרחן גרמה להקטנת שטח העלווה, אך ללא שינוי בכמות הביומאסה העל-קרקעית. אורך שורשים, שטח פני השורשים ויחס אורך שורשים לשטח עלווה היו גבוהים בצמחים עם מחסור בזרחן מאשר בצמחי ביקורת. מחסור בחנקן ובזרחן הקטינו את מוליכות המים בשורשים; לעומת זאת לא קטנה מוליכות המים ביחס ליחידת שטח עלווה. כלומר, לא קטנה היכולת של הצמח לספק מים לעלווה, תופעה בעלת השלכות על העמידות ליובש של צמחים צעירים והתבססותם. השוואות מורפולוגיות-אנטומיות, פיזיולוגיות וביוכימיות בתגובה לרמות קרינה גבוהות ומליחות באזור השורשים נעשו בין *אלת המסטיק* ו*הדס מצוי* אשר גדלים ביחד בבתי גידול שונים [23]. נימצא כי יעילות פעילות מערכת הפוטוסינתזה וקיבוע פחמן ב*אלת המסטיק* נפגעת במידה פחותה מעקת מליחות מאשר מערכות אלו *בהדס מצוי*. *לאלת המסטיק* יש יכולות טובות יותר מאשר להדס מצוי להשתמש ביוני נתרן וכלור לשם השוואת לחצים אוסמוטיים. גם תכונות מורפולוגיות-אנטומיות מאפשרות *לאלת המסטיק* הגנה טובה יותר מאשר *בהדס מצוי* על מטרות רגישות לקרינה גבוה ומליחות בעלווה. נימצא כי ב*הדס מצוי* רמות גבוהות של פחמן שימשו בסינתזה של פולי-פנולים במיוחד פלוונואידים, תופעה שיש לה קשר לפגיעה על ידי חמצון. תוצאות אלו מסבירות את מיעוט התפוצה של *הדס מצוי* בשטחים פתוחים הנתונים לקרינה חזקה ועקה כתוצאה ממליחות קרקע. השוואות בתכונות פיזיולוגיות נעשו גם בין *אלת המסטיק* לבין *אלון השעם* (Quercus suber). החוקרים בדקו שינוים מורפולוגיים, שינויים במיקום ביומאסה ובתגובות פיזיולוגיות בשתילים של שני מינים סקלרופילים אלו שמשמשים ביעור. השתילים נחשפו למשטרי הארה ודישון שונים בתקופה של גידול והתפתחות ראשונית .Hernandez et al [12]. נימצא כי דישון הוא בעל השפעה רבה על משתנים מורפולוגיים ופיזיולוגיים ב*אלת המסטיק* וב*אלון השעם*. הצללה גרמה לעליה בשטח העלווה בשני המינים. שתילי *אלת המסטיק* הראו יכולת רבה לשנות פרמטרים מורפולוגיים בשורשים ואת המוליכות ההידראולית בהם עם טיפולי הדישון. לעומת זאת, *אלון השעם* שינה רק במעט את תכונות מערכת השורשים. בשני המינים דישון שינה במעט את היחס נוף/שורש. בתנאים הדורשים דיות מרובה שתילי *אלת המסטיק* בעלי מוליכות הידראולית טובה יותר הגבירו את הדיות ללא עליה שינוי במפל פוטנציאל המים

שבין העלים והקרקע. ב*אלון השעם* דישון השתילים גרם לעליה רבה בפוטוסינתזה, כמו גם נטייה לעליה בדיות בתנאים של פוטנציאל מים נמוך בעלווה.

שני המינים, *אלון מצוי* (Quercus coccifera) ו*אלת המסטיק* חולקים את אותם בתי הגידול באזורים השונים סביב אגן הים התיכון. על כן היה עניין להשוות את ההתנהגות הפיזיולוגית שלהם דוגמת מוליכות פיוניות, כניסת אויר למערכת הובלת המים, תמותת עלים בתנאים יובשניים. המחקר של Vilagrosa et al. [25] הראה כי שני המינים הגיבו לעליה ביובשנות (מחסור במים זמינים בקרקע) בהורדה חדה של מוליכות הפיוניות לפני שפוטנציאל המים הנמוך מאוד בקסילם יגרום לקריעת עמודות המים. לעומת התנהגות *אלת המסטיק אלון קוקציפרה* הראה מרווח ביטחון גדול יותר במניעת קריעת עמודת המים (cavitation) וכניסת אויר בצינורות (embolism), דבר הקשור בודאי לאסטרטגיה של כל מין כלפי יובש [שמירה או הוצאת מים (Saver or spender)] .

השאלה האם העמידות ליובש של הסימפלסט (תוכן התאים ללא הואקואולה) והרגישות לקיטוע של עמוד המים בקסילם (Cavitation) הם מתואמים, נבחנה ב*אלת המסטיק* ו*אלון קוקציפרה* (Quercus coccifera) שהם שני מינים עמידים ליובש [26]. שני המינים נבדלים במידת פגיעות הקסילם לקיטוע עמודת המים וכניסת אויר, ובעמידות שדה. יובש גרם לצמצום רב בקצב הפוטוסינתזה ולשינויים במערכת הפוטוסינטטית. הרכב הצבעים במערכת הפוטוסינטטית נישאר קבוע פחות או יותר עד לרמת מתח מים של 8- MPa. התנהלות הפגיעות בדופן התאים וצבירת פרולין הייתה דומה בשני המינים, אך הייתה יותר עזה ב*אלת המסטיק* מאשר ב*אלון קוקציפרה*. נימצא כי שני המינים עם כל ההבדלים שביניהם משתמשים באסטרטגיה של הימנעות מהשפעות היובש (Drought avoidance), שני המינים עמידים ליובש ברמת הסימפלסט (מערכת הפרוטופלסמה שבתאים שמקושרים ביניהם) וקשרים טובים בין עמידות הסימפלסט והאפופלסט (המערכת של דפנות התאים, החללים הבין תאיים ומכלול התאים שאינם חיים) כמו גם הפעילות הפוטוסינטטית, צבירת פרולין, ושמירה הרכב הצבעים במערכת הפוטוסינתזה.

השוואה בין *חרוב מצוי*, *זית בר*, *אלת המסטיק* ו*אלון קוקציפרה* בתגובתם ליובש נעשתה באזור יובשני בטורקיה בשני סוגי בתי גידול [21]. האחד, בתי גידול בלתי מופרים, והשני בתי גידול מופרים מאוד. נימצא כי המהלך היומי של הפוטוסינתזה ורמתה ועוצמת

הדיות ב*אלון קוקציפרה* ו*אלת המסטיק* היה גבוה בבתי הגידול המופרים מאשר בבתי הגידול הבלתי מופרים. לעומת זאת ב*חרוב* וב*זית* לא נימצא הבדל בין בתי הגידול. בנוסף נימצא כי ניצול המים (WUE) על ידי המינים שנחקרו בסדר יורד הוא *אלון קוקציפרה*, *חרוב מצוי*, *אלת המסטיק* *זית*. הפעילות הפיזיולוגית של זית בר ואלת המסטיק היא כשל מינים סבילים ליובש (Drought tolerant), בעוד ש*אלון קוקציפרה* ו*חרוב* נמצאו כמינים הנמנעים מיובש (Drought avoiders) בכך: שראשית הם מסגלים לעצמם אסטרטגיה של מינים בזבזני מים (Water spenders) ולאחר מיכן אסטרטגיה של מינים חסכניים (Water savers). בדיקות של המהלך היומי של הדיות ולחץ המים בעלווה טרום זריחה (Predawn leaf water potential) בתנאי בית גידול מנוגדים, מדרון הפונה לצפון ומדרון הפונה לדרום הוכיחו כי בכל המינים שנבדקו הדיות בפנויות דרומיות רבה מהדיות בפנויות צפוניות [7]. התגובה של המינים שנבדקו ליובש הולך וגובר, תוך שימוש משולב בעוצמת הדיות ובלחץ המים בעלווה, אפשר לקבוע כי המינים *אורן ירושלים* ו*אלת המסטיק* מראים תכונות ותהליכים של מינים חסכני מים בעוד ש*אלון קוקציפרה* מראה תכונות של בזבזני מים. בדיקות חילופי גזים במהלך יומי במשך השנה ב*אלת המסטיק* [9] הראו כי ההטמעה של דו-תחמוצת הפחמן מושפעת מאוד מטמפרטורות שמעל ל- 30^0 C. מכאן טוענים חוקרים אלו שהתגובה האקופיזיולוגית למגבלה זו היא הסתגלות המביאה לידי פעילות מוגברת בעונות ובשעות בהן אין הגבלה על ידי הטמפרטורה.

לסיכום, *אלת המסטיק* היא מין אשר תכונותיו הפיזיולוגיות מאפשרות לו להתקיים גם בתנאים יובשניים ובכך להוות מרכיב חשוב בתת היער בארץ ובשיקום נופי של מפגעים מעשי ידי אדם דוגמת מחצבות. לשם כך רצוי מאוד לכלול את האקוטיפ של מין זה הגדל בגלבוע .

ספרות, מקור הציטוט

1. וייזל י., עזריה א., 1978. עצי בר בישראל. הוצאת המדור לאקולוגיה בע"מ והחברה להגנת הטבע.
2. ערמוני ח. ושמידע א., 1987. סקר עצים קשישים בשומרון המרכזי ובארץ בנימין. בתוך: שמידע , א. ורוזנסון י. (עורכים), *רתם* **22**, עמ' 56-27.
3. פלביץ ד., יניב ז., 1991. צמחי המרפא של ארץ-ישראל. כרך א', עמ' 45-44. הוצאת תמוז-מודן, תל-אביב.

4. קריספיל נ., 1987. ילקוט הצמחים כרך א', עמ' 63-60. הוצאת יערה, ירושלים.

5. Armas, C., Padilla, F. M., Pugnaire, F. I., Jackson, R. B., 2010. Hydraulic lift and tolerance to salinity of semiarid species: consequences for species interaction. *Oecologia* **162**, 11-21

6. Barazani O., Dudai N., Golan-Goldhirsh A., 2003. Comparison of Mediterranean *Pistacia lentiscus* genotypes by Random Amplified Polymorphic DNA, Chemical, and Morphological Analyses. *J. of Chemical Ecology* **29**, 1939-1952.

7. Chirino, E., Bellot, J., Sánchez, J R., 2011. Daily sap flow rate as an indicator of drought avoidance mechanisms in five Mediterranean perennial species in semi-arid southeastern Spain. *Trees* **25**, 593-606.

8. Filella, I. and Peñuelas, J., 2003/4. Indications of hydraulic lift by *Pinus halepensis* and its effects on the water relations of neibour shrubs. *Biol. Plant*. **47**, 209-214.

9. Gatti, E., Rossi, F., 2010. Daily and seasonal trends of gas exchange in *Pistacia lentiscus* L. *Acta Physiol. Plant*. **32**, 809- 813.

10. Gichua M K., Avni Y. and Gutterman Y., 2002. The effect of habitat and erosion on the distribution and development of *Pistacia atlantica* trees in the central Negev highlands of Israel. *Israel J. Plant Sci*. **50**, 281-286.

11. Golan-Goldhirsh A., Barazani O., Wang Z S., Khadka D K., Saunders J A., Kostiukovsky V. and Rowland L J., 2004. Genetic relationships among Meditettanean *Pistacia* species evaluated by RAPD and AFLP markers. *Plant. Syst*. **246**, 9-18.

12. Hernandez, E.I., Vilagrosa, A., Luis, V.C., Llorca, M., Chirino, E., Vallejo, V. R., 2009. Root hydraulic conductance, gas exchange and leaf water potential in seedlungs of *Pistacia lentiscus* L. and *Quercus suber* L. grown under different fertilization and light regimes. *Envir. Experim. Bot*. **67**, 269-276.

13. Inbar M., 2008. Systematics of *Pistacia*: Insights from specialist parasitic aphids. *Taxon* **57**, 238-242.

14. Kafkas S., Perl-Treves R., 2002. Interspecipic relationships in *Pistacia* based on RAPD Fingerprinting. *HortScience* **37**, 168-171.

15. Katsiotis A., Hagidimitriou M., Drossou A., Ponticis C. and Loukas M., 2003. Genetic relationships among species and cultivars of *Pistacia* using RAPDs and AFLPs. *Euphytica* **132**, 279-286.

16. Kurzfeld-Zexer L., Wool D., Inbar M., 2010. Modification of tree architecture by a gall-forming aphid. *Trees* **24**., 13-18.

17. Liphschitz N. and Biger G., 1990. Ancient dominance of *Quercus calliprinos-Pistacia palaestina* association in Mediterranean Israel. *J. Vegetation Sci*. **1**, 67-70.

18. Maestre, F. T., Cortina, J. and Bautista, S., 2004. Mechanisms underlying the interaction between Pinus halepensis and the native late-successional shrub Pistacia lentiscus in a semi-arid plantation. *Ecography* **27**, 776-786

19. Mulas, M., Abeltino, P.and Brigaglia, N., 1998. Evaluation of Pistacia lentiscus L. genetic resources to sekect ecotypes heving high efficiency in the colonization of marginal lands. *Acta Hort*. **457**, 279-286.

20. Nahum S., Inbar M., Ne' eman G., Ben-Shlomo R., 2008. Phenotypic plasticity and gene diversity in Pistacia lentiscus L. along environmental gradients in Israel. *Tree Genetics* **4**, 777-785.

21. Ozturk, M., Dogan, Y., Sakcali, m. s., Doulid, A. and Karam, F., 2010. Ecophysiological responses of some maquis (*Ceratonia siliqu* L., *Olea oleaster* Hoffm. & Link, *Pistacia lentiscus* and *Quercus coccifera* L.) plant species to drought in the east Mediterranean ecosystem. *J. Environ. Biol*. **31**, 233-245.

22. Szwarcbaum (Shaviv) I., 1978. Autecology of *Pistacia lentiscus* L. Ph. D. Thesis, Technion, Israel Institue of Technology.

23. Tattini, M., Remorini, D., Pinelli, P., Agati, G., Saracini, E., Traversi, M. L. and Massai, R., 2006. Morpho-anatomical, physiological and biochemical adjustments in response to root zone salinity stress and high solar radiation in two Mediterranean evergreen shrubs, *Myrtus communis* and *Pistacia lentiscus*. *New Phytol*. **170**, 779-794.

24. Trubat, R., Cortina, J., Vilagrosa, A., 2006. Plant morphology and root hydraulics are altered by nutrient deficiency in *Pistacia lentiscus* L. *Trees* **20**, 334-339.

25. Vilagrosa, A., Bellot, J., Vallejo, V. R. and Gil-Pelegrin, E., 2003. Cavitation, stomatal conductance, and leaf dieback in seedlings of two occurring Mediterranean shrubs during an intense drought. *J. Expr. Bot*. **54**, 2015- 2024.

26. Vilagrosa, A., Morales, F., Abadia, A., Bellot, J., Cochard, H., Gil-Pelegrin, E., 2010. Are symplast tolerance to intense drought conditions and xylem vulnerability to cavitation coordinated? An integrated analysis of photosynthetic, hydraulic and leaf level processes in two Mediterranean drought-resistant species. *Environ. Experim. Bot*. **69**, 233-242.

27. Werner, O., Sánchez-Gomez, P., Farrión-Vilches, M. And Guerra, J., 2002. Evaluation of genetic diversity in Pistacia lentiscus L. (Anacardiaceae) from the southern Iberian peninsula and North Africa using RAPD assay. Implication for reafforestation policy. *Israel J. Plant Sci*. **51**, 11-18.

28. Zohary D., 1996. The genus Pistacia L. In: S. Padulosi, T. Caruso and E. Barone (Editors). Taxonomy, distribution, conservation and uses of Pistacia genetic resources. IPGRI, Rome, Italy:1-11.Zohary M., 1955. A monographical study of the genus Pistacia. *Palestine J. Bot*, Ser, *Jerusalem*, **5**(4), 187-228.

29. Zohary M., 1952. A monographical study of the Genus *Pistacia*. *Palestine J. Bot. Ser Jerusalem* **5**(4), 187-228

30. Zohary M., 1973. Geobotanical Foundations of the Middle East. Gustav Fisher Verlag Stutgart.

4.0 השימוש במים (הדיות) של עצי יער בישראל

בטריות, מפצל ערוצים ואוגר נתונים המשמשים למדידת משך זמן מעבר גל החום

החדרת גוף החימום והחישנים בגזע עץ אורן ירושלים

4.1 מבוא

יוסף ויץ בספרו "היער והייעור בישראל" [9] מתאר את עיקרי השיח הציבורי בנושא יער ומים שהתלהט בארץ כבר בשנות השישים המוקדמות של המאה העשרים (שם, עמודים 493 - 511). הוויכוח נבע מדאגה רבה לזמינות המים במדינה המתפתחת, אשר לדעת רבים, עלולה להיפגע עם התקדמות הייעור. השיקולים היו שהייעור מרבה צמחייה רב-שנתית, הצורכת מים שאמורים היו לחלחל למאגרי מי התהום השונים, לנבוע מהם או להישאב משם לצרכי האוכלוסייה (צריכה ביתית, תעשיה, חקלאות). הייעור גם מונע נגר על קרקעי שבחלקו ניתן לאיגום ולשימוש בהתאם לצרכים. מנגד, הייתה דעה כי יש לשקם ככל שניתן את נופי הארץ, כפי שהביע בן-גוריון בכנסת הראשונה, בה דיבר ארוכות על חשיבות הפרחת השממה על ידי נטיעות כיעד מרכזי (עמ' 8 של תקציר הישיבה) ועל יעד נוסף בחשיבותו שהוא קליטת עלייה ויישוב הארץ. אמירתו פירושה שאין אנו מוכנים מבחינה אידיאית ופסיכולוגית לחיות בארץ שתוארה על ידי הסופר מרק טווין בספרו "מסע תענוגות לארץ הקודש" כארץ מוזנחת שגוון הצבעים השולטים בנוף הוא אפור צהבהב ללא שטחים ירוקים. ברור היה כי ליעור ושיקום הנוף יש מחיר כלכלי שהיקפו והשלכותיו על הביצוע לא היו ברורים כלל ועיקר, על כן הוויכוח היה בעיקרו אידיאולוגי היות שבאותה עת כמעט שלא היו בנמצא נתונים ממחקרים על החלוקה הכמותית של מי הגשמים בין המרכיבים השונים של מאזן המים בשטחי יער וחורש ובשטחים שאינם נושאים צמחייה מעוצה. היה גם חוסר ידע על המהלך היומי והעונתי במשך השנה ההידרולוגית (מתחילת אוקטובר ועד סוף ספטמבר, שנה מאוחר יותר) של כמות המים הנצרכת ע"י מיני עצים ושיחים בתלות בשטח העלווה שלהם, צפיפות הנטיעה, תנאי בית הגידול (קרקע ומסלע), רמת הקרינה ומדדים מטאורולוגיים אחרים.

המחקרים שנעשו בארץ, החל משנות השלושים ועד שנות השישים של המאה ה-20, נסבו בעיקר סביב השאלה של "יכולת העמידה" בתנאי יובש של מיני צמחים שונים. לשם כך נמדדה הירידה במשקל העלווה כתוצאה מאיבוד מים (דיות) במשך פרק זמן קצר (שתי דקות) בשעות האור השונות במשך היום ובמועדים שונים במשך השנה. היחס בין משקל המים שהתנדפו (הדיות) למשקל העלווה הראשוני שימש אינדיקאטור לשיעור הדיות מהעץ כולו. התוצאות של מחקרים אלו, שמטרתם הייתה לספק תובנה על האקו-פיזיולוגיה של הצמחים השונים [42, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 74, 99], לא אפשרו הערכה כמותית של הדיות

כחלק ממאזן המים בבית הגידול; הערכה שתהווה בסיס לקבלת החלטות ממשקיות. הוויכוח סביב שאלת צריכת המים של היער שימש זרז לביצוע מחקרים שיאפשרו הערכה כמותית של חלוקת המים בין המרכיבים השונים של מאזן המים בחברות צמחים שונות. ובבתי גידול שונים [11, 25, 26, 78]. מחקרים אלו פנו יותר לצד ההידרולוגי ולמאזני המים בחתך הקרקע והמסלע והתייחסו פחות לפעילות הפיזיולוגית של הצמחים. החוקרים נִתקלו גם בבעיות של כיול המְכשור המדעי שהיה זמין באותה עת ובמידת התאימות של שיטות המדידה השונות.

חקר מאזן המים השלם במהלך השנה ההידרולוגית באותם בתי גידול בהם גדלים היערות והחורשים הוא קשה מאוד עד בלתי אפשרי. התנאים הטופוגרפיים (מדרונות תלולים ומסולעים) מקשים מאוד על מדידת השינויים בקיבול המים בקרקע ובמסלע בו מתפשטים השורשים. רק שלושה מרכיבים במשוואה של מאזן המים ניתנים עתה למדידה בנוחות יחסית, למרות תנאי הסביבה הקשים והם: כמות הגשמים, שעור האבפוטרנספירציה הכללית (דיות ואידוי) של האקוסיסטמה אשר נִמדדת מעל לחופת היער/ החורש/ הגריגה בעזרת מְכשור מטאורולוגי, הדיות של הצומח המעוצה שנִמדד בעזרת רגשי חום בתוך העצה .

המטרה המרכזית עבור ממשק היער והחורש בארץ, כפי שהוגדרה ונקבעה על ידי דירקטוריון הקק"ל בישיבתו ביום 17.01.2005, היא שיש לפתח יער "בר-קיימא" מתוך היער המחטני החלוץ שניטע ומתוך החורש שרובו רחב עלים. כלומר, יש צורך לבסס את ממשק היער והחורש באופן שהקיימות היא נר לרגליו. באזור הגובל במִדבר, הקיימות קשורה במידה רבה מאוד למים שזמינותם לצומח בבתי הגידול השונים מוגבלת כבר עתה, ועתידה בהתאם לתחזיות על שינויי אקלים כלל עולמיים [47], להיות מוגבלת אף יותר. במסגרת התחזיות האלו צפויה באזורנו הקצנה בתופעות אקלימיות דוגמת עלייה בשיאי הטמפרטורה ובמשכם, ירידה במספר אירועי הגשם ועלייה בעוצמתם ובסה"כ ירידה בכמות הגשמים [15]. כתוצאה מכך תהיה קרוב לוודאי ירידה בזמינות המים לעצים/שיחים, דבר שעשוי להשפיע על התפתחותם ועל מִבנה היער/החורש. מצב של מיעוט מים זמינים, לעומת דרישה רבה הנובעת מצפיפות גדולה של העצים/שיחים (שטח עלווה מדיתת גדול) עשוי לגרום להתמוטטות היער/חורש כתוצאה מהתחרות העזה בין הצמחים, תופעה שחוזרת על עצמה בשנים של מיעוט גשמים קיצוני, שבו יורדים רק בין שני שליש למחצית מכמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת באזור (בצורת). מיעוט גשמים עשוי לגרום לשינויים

בפעילות הפיזיולוגית של הצמח המעוצה (עצים/שיחים) [32], שתתבטא בירידה חדה בכמות ואיכות אמצעי ההגנה של כל מין צמח ומכאן, חשיפתו המוגברת למזיקים ומחלות. למשל, התופעה שבמינים מחטניים פוחתת כמות ביבי השרף הנוצרת במסגרת הטבעת השנתית [48], לכן פוחתת כמות השרף והרכבו הכימי משתנה גם הוא. תופעה זו עלולה להגדיל את חשיפת העץ לפתוגנים חיצוניים, לעודד פתוגנים רדומים או בעלי פעילות נמוכה ובלתי מזיקה שבתוככי העץ לפעול בעוצמה כנגד הפונדקאי שלהם. לדוגמא: תופעה שאירעה בארץ בשנים ההידרולוגיות 1998/9 ו-1999/2000, עת ירדו בצפון הנגב (יתיר) 144 ו-150 מ״מ גשם בהתאמה במקום 279~מ״מ ויותר שהוא הממוצע הרב שנתי באזור. בשנים אלו הייתה התקפת חיפושיות קליפה והפצה של פטריות, עצים בודדים רבים וגם חלקות יער שלמות נפגעו ומתו. צמחיית החורש בחבל הים-תיכוני בארץ כולל *האלון המצוי* נִפגעת בשנים מעוטות גשמים [14].

בחירה נכונה של המינים לנטיעה, בהתאם לתנאים האקולוגיים של בית הגידול, והדילול (צמצום מספר העצים הגדלים ביחידת שטח עם התפתחותם), הם הכלים שבידי היערן המאפשרים למשק את היער והחורש בהתאם למטרות. הדילול אמור להתבצע על סמך מידע הגלום בטבלאות ממשק ייעודיות לכל מין במרחב אקולוגי מסוים. אחד מאבני הבניין של טבלאות אלו הוא הגובה העליון או הגובה הממוצע (במטרים) של העצים ממין מסוים בחלקת היער/החורש בגיל נתון. מרכיב זה (הגובה) מושפע מאוד מהתנאים האקולוגיים הכוללים בחלקת היער/החורש, כלומר, ״מאיכות בית הגידול״. בתנאי אקלים ים-תיכוניים וסמי-ארידיים זמינות המים לצמח היא אכן מרכיב מרכזי של ״איכות בית הגידול״ והיא פועל יוצא: ממשטר הגשמים, כלומר, מפיזור אירועי הגשם וכמות הגשם בכל אירוע; מהמבנה הפיסיקלי והכימי של הקרקע והסלע ומהתכונות ההידרולוגיות שלו [1, 5, 6, 7], מהיחסים הכמותיים שבין קרקע וסלע בתחום בית השורשים, מהיכולת של חדירת השורשים למסלע. על כן, כדי למשק יער/חורש רצוי ואף חיוני לדעת את שיעור הדיות היומי ואת המהלך שנתי של הדיות ביחס לכמות הגשמים בחורף הקודם או ביחס לממוצע הרב-שנתי של הגשמים באזור. ידע זה יאפשר לפתח גישה חילופית לממשק היערות והחורשים באזורים יובשניים. גישה שונה זו מבטאת את הקשר שבין האקו-פיזיולוגיה של המין העיקרי בבית הגידול לבין זמינות המים, ולשם כך יש צורך במדדים הקושרים בין מצב המים בקרקע לבין האקו-פיזיולוגיה של מין מסוים. אחד מהמדדים האלו הוא המהלך היומי והשנתי של הדיות ושיעורה ביחס לזמינות המים בקרקע ועל פי כמויות הגשם. גישה

זו עדיפה בתנאי היער בארץ על פני השימוש בטבלאות המקובלות בעולם בממשק יער, שמטרתו ייצור מכסימלי של עצה.

מדד אפשרי נוסף בו נדון בפרק על ממשק יער שמוכוון על ידי זמינות המים, הוא פוטנציאל המים בעצה של ענפונים שנקבע לפני הזריחה [90].

4.2 אומדן הדיות של הצמח השלם

הדיות היא אחד הגורמים החשובים ביותר בהקשר לפעילות הפיזיולוגית של הצמח, כלומר, לחילופי הגזים המאפשרים הטמעה (פוטוסינתזה). ההטמעה מושפעת ישירות מכמות המים הזמינים בהתאם לתנאי בית הגידול. כלומר, כמות המים בקרקע ובמסלע בטווח שבין קיבול שדה לנקודת הכמישה, ומהתנאים המטאורולוגיים העכשוויים היוצרים את הגרעון לרוויה בלחץ האדים באוויר, אשר מניע את הדיות.

ניסיונות רבים נעשו כדי להתחקות אחר דרכי המעבר, השטף וכמות המים הכללית העוברת בעצת הגזעים כדי לקבוע את שיעור הדיות (הטרנספירציה). בעבר השתמשו בחמרי צבע שהומסו במים ושימשו כסמן לדרכי המעבר ולשטף המים בצמח, מאוחר יותר השתמשו באיזוטופים רדיואקטיביים לאותה מטרה. שיטות אלו היו מורכבות ולא סיפקו מידע אמין על מסלולי הזרימה ועל צריכת המים של העץ [95]. שיטות חדישות ישירות ומדויקות יותר הן מאד יקרות למשל, גידול העצים במיכלים הבנויים על מאזנים (ליזימטרים) שהשינויים במשקל הנובעים מדיות נקבעים ברציפות 24 שעות ביום. שיטה שהוכחה כטובה ואפשרה לכמת ישירות את הדיות של צמחים קטנים. אך אין אפשרות מעשית לאמוד את כמות הדיות השעתית, היומית והשנתית של שיחים גדולים ועצי יער בעזרת ליזימטר. על כן, כבר בשנות השלושים של המאה העשרים הוצעו מודלים אחרים למדידת זרימת המים בעצה של צמחים מעוצים, ביניהם הוצע למדוד את שטף המים בעצה המוליכה מים בעזרת סמן חום [45, 46, 57].

מבין השיטות הרבות שפותחו בעולם המשתמשות בחום כסמן למדידת שטף המים בעצה כלולה גם השיטה ששוכללה במחלקה לפיסיקה סביבתית והשקיה במינהל המחקר החקלאי [35] שמיוחסות לה, בפרסומים רבים, אמינות ודיוק [54]. בשיטה שבחרנו להשתמש בה, החום ניתן בפולס קצר (חלקי שנייה) מגוף חימום המוחדר לתוך העץ; במרחק נתון (15 מ״מ) מעל גוף החימום במעלה הגזע בכוון זרימת המים, מוחדר רגש

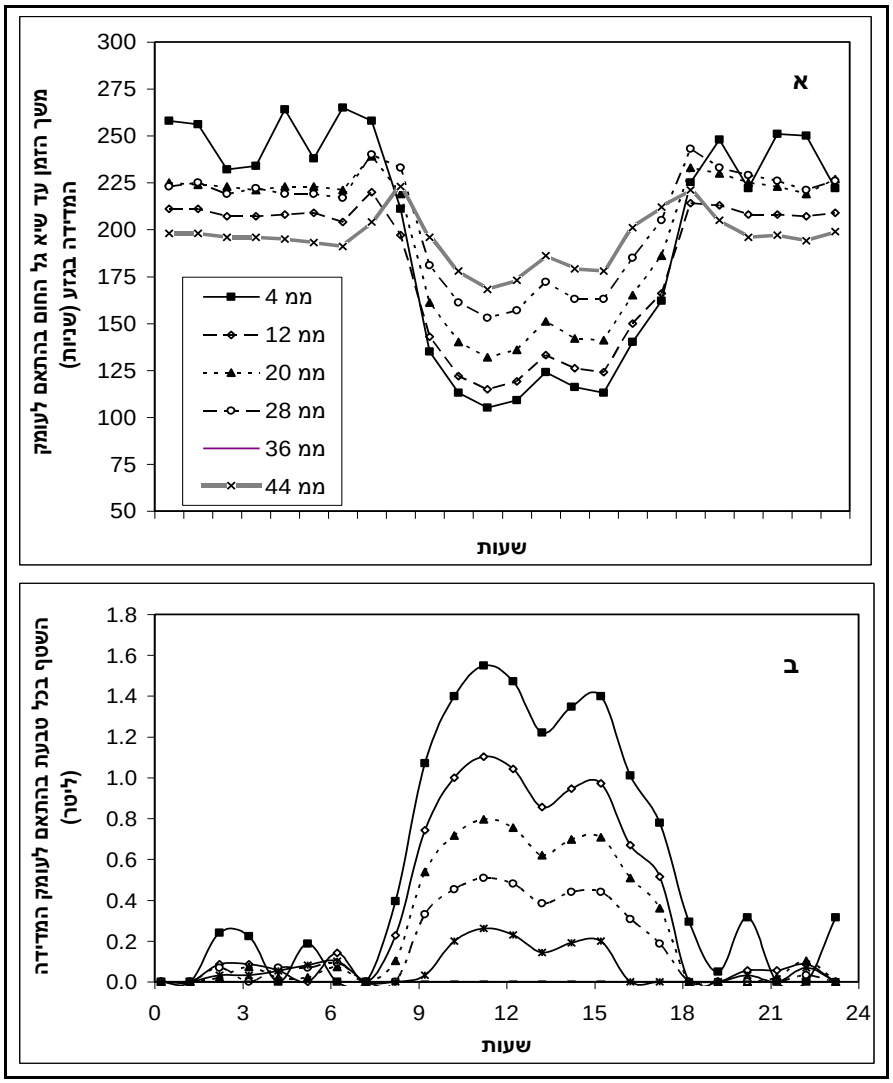
טמפרטורה שעוקב אחר גל החום. מתוך מהירות מעבר שיא גל החום את המרחק המסוים במעלה הזרם ניתן לחשב את מהירות הזרימה של המוהל הנושא את גל החום. אפשרי לחשב את שטף המים בגזע על בסיס מהירות זרימת החום ובתוספת מדדים פיזיקאליים אחדים של העצה. הרבה מחקרים בארץ, שבדקו את המהלך היומי של הדיות השעתית במשך השנה ההידרולוגית, בצמחים מעוצים (פרדסים, מטעים ויערות) השתמשו בשיטה זו. בשיטה זו משתמשים בשני גששים שאורכם 60 מ״מ וקוטרם 2~מ״מ שנושאים חישנים (טרמיסטורים) למדידת טמפרטורת העצה. על אחד הגששים מותקנים שישה חישנים לחום (טרמיסטורים) במרווחים של 8 מ״מ זה מזה, ועל החיישן השני מותקן חישן אחד בודד. מקור החום הנו מצבר של מכונית וגוף החימום שהוא גליל באורך 80 מ״מ וקוטרו 1.8 מ״מ שמוחדר לגזע. הגששים מוחדרים לגזע באופן שהגשש המכיל שישה חישני חום ממוקם בכוון רדיאלי בגזע ובמרחק של 15 מ״מ מעל לגוף החימום המותקן באותו כיוון. הגשש השני, הנושא חישן חום אחד מוחדר לגזע במרחק של לפחות 10 ס״מ מגוף החימום, כדי שלא יחוש את השפעת החימום וימדוד את טמפרטורת העצה בלבד. הגזע נעטף בכיסוי בד על מנת נמנעת למנוע השפעת הטמפרטורה החיצונית על החיישנים. החיישנים וגופי החימום מחוברים למפצל ערוצים ולאוגר נתונים (Data logger). משך הזמן בשניות שעובר בין פולס החום לבין נקודת הזמן בה גל החום מגיע לשיאו בנקודת המדידה נרשם באוגר הנתונים. הדבר נעשה על ידי השוואה רצופה בין הטמפרטורה הנמדדת על ידי ששת חיישני החום אשר בגשש שמעל לגוף החימום לבין הטמפרטורה הנמדדת על ידי הגשש אשר הוחדר בגזע, במקום שאינו מושפע מגל החום. מבנה הגששים וחלוקת חיישני החום בתוכם מאפשר למדוד במשך היממה את הזמן בשניות הדרוש לגל החום בעומקים שונים בעצת הגזע לעבור את המרחק של 15 מ״מ במעלה הזרם (איור 1א). ניתן לחשב את שטף המים השעתי בחתך הרוחב של הגזע, כלומר הדיות (איור 1ב) בעזרת נוסחא מורכבת הכוללת בתוכה את הנתונים הבאים:

- השטח בחתך רוחב הגזע המנוטר על ידי כל אחד משש חיישני החום בעצת הירך (העצה הפעילה בגזע);
- קיבול המים בעצה זו;
- קצב התפשטות ובליעת החום בעצה;
- משך זמן מעבר גל החום מרחק של 15 מ״מ;
- גורם כיול הנובע מהיחס שבין הדיות המחושבת בעזרת שקילה והדיות המחושבת בעזרת הנוסחא.

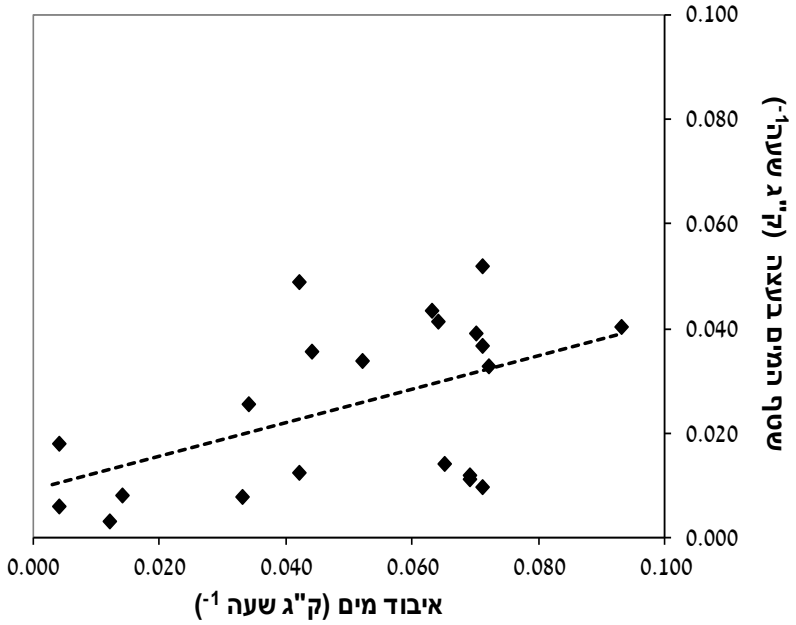
תוצאות הכיול עבור *אורן ירושלים* הראו כי נוסחת הרגרסיה שבאיור 2 היא:

$Y= 0.0028+0.565X$. כלומר, שעור הדיות שנמדד בעזרת שיטת פולס החום הוא בערך כמחצית מהדיות המוחלטת שנמדדה על ידי שקילה במאזניים המדייקות כדי 0.1± גרם. הערכים הנמוכים של ספיקת המים שהתקבלו במדידה בגזע בהשוואה לאבוד מים בשקילה נובעים מהקידוחים שנעשו בגזע להחדרת החיישנים ומכאן להפרעה בזרימה הרצויה של המים בעצה, בעוד שהמודל על פיו מחושבת ספיקת המים מבוסס על מדיום בלתי מופר, לכן יש צורך לכייל את השיטה ולהשתמש בפקטור הכיול בכל המדידות [81].

<u>איור 1</u>: ההתפלגות יומית של משך הזמן שבו גל חום עובר 15 מ״מ עם הזרם העולה במשך היממה בשישה עומקים בעצת הגזע (א). ההתפלגות של שטף המים המחושב (ליטר שעה$^{-1}$ עץ$^{-1}$) בהתאם לעומק בעצת הגזע במשך היממה (ב) (החיצים מסמנים את מִרווח הזמן שבין השעה 10 ו-14 עבור שטף וחושב שיא מהירות הזרימה).



<u>איור 2</u>: דוגמה לקביעת גורם הכיול שבין תוצאות מדידת ספיקת המים בגזע (הדיות) בשיטת פולס החום – ציר Y, לבין תוצאות איבוד המים (דיות) על ידי שקילה- ציר X.

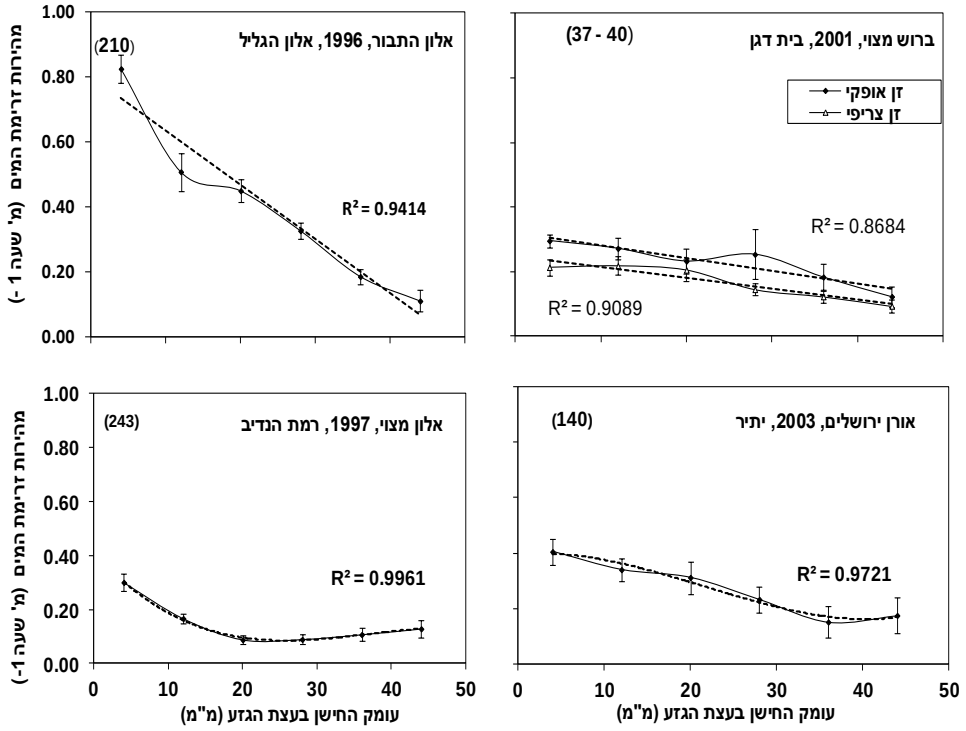


שטף המים (מטר שעה $^{-1}$) בגזע מושפע מגורמים רבים, שאחדים מהם מוזכרים כאן:

- כוח השאיבה המופעל על ידי התנאים המטאורולוגיים, בעיקר על ידי הגירעון לרוויה בלחץ האדים באוויר (VPD).
- כוח המנוגד לראשון, שהוא כוח התאחיזה של המים בקרקע בכפוף לרמת המיום שלה.
- מִבנה צינורות ההובלה (טראכאות ברחבי עלים וטראכאידים במחטניים), סוג ומִבנה המעברים בין צינורות ההובלה (גמצים או לוח מנוקב), קוטר הצינורות, מידת סתימת הצינורות על ידי טילות וצמג, כלומר, הזדקנות העצה (ראה א. פהאן, אנטומיה של הצמח).
- מִבנה כותרת העץ. כלומר, מידת פתיחותה להשפעות התנאים המטאורולוגיים (ראה הדיות של *ברוש מצוי*, זן אופקי, לעומת זן צריפי).

שטף המים הממוצע בכל אחת מששת השכבות הרדיאליות בעצה של-8 עצים מאותו המין, שנמדד בין השעות 10 ל-14 ב*אורן ירושלים* ו*ברוש מצוי* (מחטניים ירוקי-עד), *אלון מצוי*, (רחב-עלים, ירוק-עד) ו*אלון התבור*, (רחב-עלים, נשיר) נתון באיור 3.

<u>איור 3</u>: ממוצע שטף המים בעומקים שונים בעצה של שמונה עצים בין השעות 10-14 בעונה בה נמדד השטף הגבוה ביותר במשך השנה (הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן, המספריםבסוגריים מציינים את היום בשנה ההידרולוגית בו נמדדה מהירות הזרימה הגבוהה ביותר).



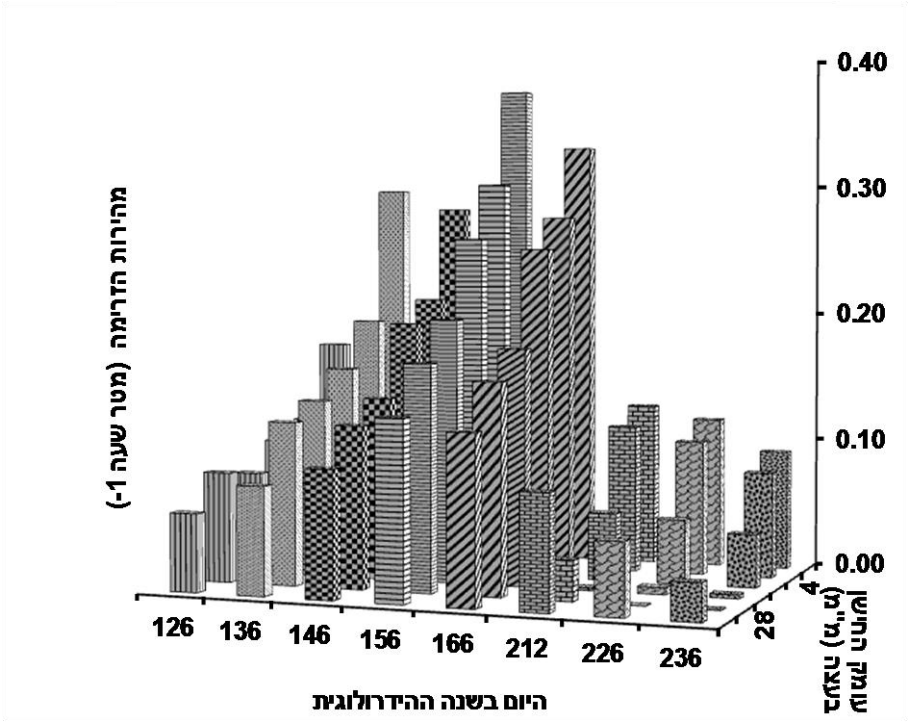
מהאיור נראה שממוצע ששטף המים ב*אלון התבור* גבוה מאוד ומגיעה לכדי 0.80~מ' שעה$^{-1}$ בעצה הצעירה (הכוונה לעצה שנוצרה בשנים האחרונות, מספר טבעות שנתיות שעוביין המצטבר הוא 8 מ"מ). כלומר, מולקולת מים זקוקה ל-10 שעות כדי להגיע מצוואר השורש לקצה נוף העץ שגובהו שמונה מטר ולהתאדות. שטף המים פוחת מאוד עם הזדקנות העצה (השכבות העמוקות יותר בגזע) ובעומק של 44 מ"מ השטף הנו רק כ- 0.15 מ' שעה$^{-1}$. השטף ב*אלון מצוי* שונה לחלוטין מזה ש*באלון התבור* ; בעצה שנוצרה בעת האחרונה השטף הוא רק 0.30 מ' שעה$^{-1}$, אשר פוחת והולך לכדי 0.18 מ' שעה$^{-1}$ בעומק של 44 מ"מ בעצה. ב*אורן ירושלים* שטף המים בעצה הצעירה הוא כ- 0.40 מ' שעה$^{-1}$, בעומק של 44 מ"מ הוא כ- 0.20 מ' שעה$^{-1}$. ההבדלים בשטף המוהל בעצה עם העומק, כלומר, עם גיל העצה, נובעים מהזדקנות העצה ושינויים אנטומיים החלים בה עם הזמן, אשר מהווים גורם מעכב לזרימה דוגמת גידולים (טילות) אל תוך חלל צינורות הובלת המים (הטראכאות או הטראכאידים בהתאם למין, ראה הספר של פרופ' א. פאהן אנטומיה של הצמח).

ב*ברוש מצוי* ישנם הבדלים קטנים אך מובהקים בשטף המים בין שני הזנים של מין זה, אך בשני הזנים השטף יחסית נמוך ונע בין 0.20 - 0.25 מ' שעה$^{-1}$ בעצה הצעירה , והוא

פוחת לכדי 15 0 – 18 0 מ׳ שעה$^{-1}$ בעומק של 44 מ״מ . מהאיור נִראה גם שבמקרים רבים הרוחב של עצת הירך (העצה הפעילה בהובלת מים) בחתך הרוחב של הגזע רב מאורך הגשש נושא חיישני החום (60 מ״מ), כך שחלק מסוים (בדרך כלל מזערי) משטף המים בגזע אינו נמדד, אך אפשרי להעריך את כמותו בעזרת אקסטרפולציה [36].

השינויים בזמינות המים בקרקע במשך השנה ההידרולוגית משפיעים רבות על שטף המים עם העומק בעצה כלומר, על הדיות. דבר זה מתואר היטב באיור 4, שמתאר את התפלגות שטף המים במשך השנה ההידרולוגית בעצה של *אורן ירושלים* הגדל ביער יתיר.

<u>איור 4</u>: שינויים בשטף המים הממוצע , בעומקים שונים בגזע של *אורן ירושלים* במשך העונה ביער יתיר בעצים בני 30 שנה.



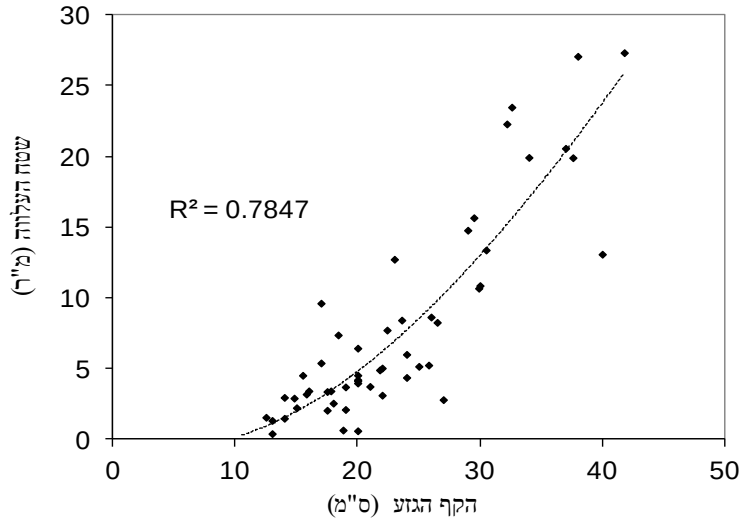
לאחר הגשמים הראשונים והרטבת הקרקע בה נמצאת מערכת השורשים מהירות זרימת המים בעצה עולה מאוד, במיוחד בעצה שנוצרה בשנים האחרונות. שיא המהירות מתקיים במקרה זה בחודש מרץ, ולאחריו ישנה ירידה תלולה הקשורה בהתייבשות הקרקע. כאשר הקרקע מתייבשת מהירות הזרימה בעצה הצעירה יורדת לערכים נמוכים מ- 0.10 מטר שעה$^{-1}$ ופחות מ- 0.04 מטר שעה$^{-1}$ בשכבות העמוקות יותר בעצה. תופעה זו אשר עוצמתה שונה ממין למין ובאותו המין בין בתי הגידול, ממחישה את החשיבות של מדידות שטף המוהל בכל חתך הרוחב של עצת הירך.

לשיטת פולס החום ישנן מגרעות מספר בהשוואה לשיטות קיימות אחרות:

- כאשר עוצמת תאחיזת המים בקרקע והתנאים האקלימים מאפשרים לצמח לקלוט ולהוביל מים במהירות העולה על 0.04 מטר בשעה, שהוא גבול הרגישות של מערכת פולס החום, התוצאות של המדידות הן אמינות. כאשר מכל סיבה שהיא מהירות הזרימה היא בסביבות גבול הרגישות ואף פחות, ראוי לדחות את התוצאות.
- מדידות רבות בשיטות שונות הראו כי מתקיימת זרימה בשעות הלילה הקשה למדידה עקב איטיותה. זרימה זו קשורה לשתי תופעות: האחת, הצורך לחזור ולמלא כמידת האפשר את אוגר המים ברקמות הצמח אשר נוצל בשעות האור לדיות [73, 79, 94]. השנייה, נובעת מתנאים אקלימיים הגורמים לגרעון גבוה בלחץ האדים באוויר (VPD) אשר גובר על התנגדות הפיוניות, דבר היוצר זרימה איטית בצינורות ההובלה בלילות [38, 41].

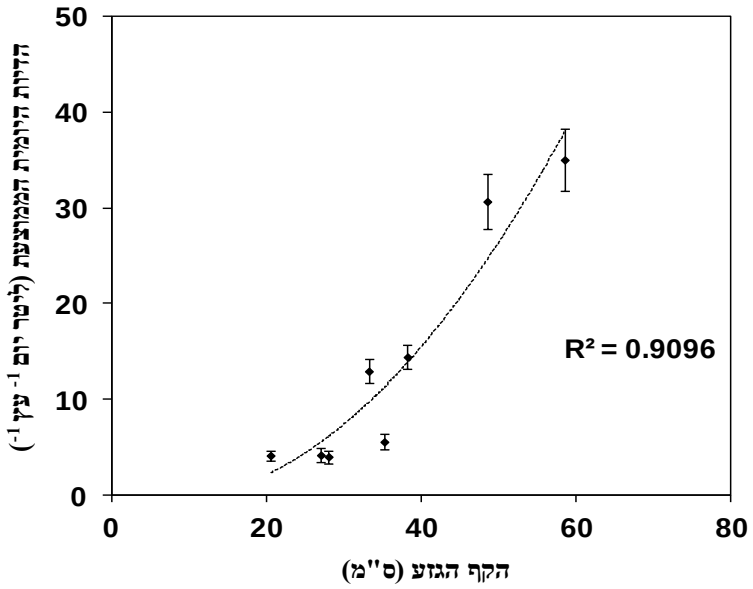
הציוד הסטנדרטי עבור מדידות קצב זרימת המים בעצה מאפשר מדידות רציפות בשמונה עצים בשעה. כלומר, במשך 7.5 דקות לעץ. שמונת העצים בהם נעשו המדידות נבחרו כך שהם ייצגו את ההתפלגות הקף הגזעים בחלקה, את שטח חתך הרוחב של הגזעים, ואת עצת הירך באוכלוסיית העצים בבית גידול מסוים. מכיוון שקיים קשר סטטיסטי הדוק בין הקף הגזע (שטח עצת הירך) לגודל שטח הפנים או המשקל של העלווה הנישא על ידו (ראה איור 5) ומכאן בין הקף הגזע לכמות הדיות (ראה איור 6), אפשרי לאמוד את הדיות של כלל העצים בחלקת יער בעזרת הדיות של העץ הממוצע.

<u>איור 5</u>: היחס שבין הקף גזעי עצי *אלון מצוי* בגובה 0.50 מ' מעל הקרקע ושטח העלווה (מ"ר) הנישאת על ידם ברמת הנדיב בשנת (R^2= השונות המוסברת על ידי פולינום בדרגה שלישית).



<u>איור 6</u>: היחס שבין הקף גזעי עצי *אלון מצוי* לבין הדיות היומית השנתית הממוצעת ברמת הנדיב בשנת (הקווים האנכיים מסמנים את סטיית התקן של הממוצע).

(R^2 = השונות המוסברת על ידי פולינום בדרגה שלישית)



4.3 אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill.)

(מהלך יממתי של הדיות במשך השנה ההידרולוגית)

מין זה ניטע בצורה של יערות חד-מינים על פני כ-350 אלף דונם, המהווים כ- 35% מכלל שטח היער הנטוע בארץ המשתרע על פני כמיליון דונם, מהגליל העליון (700-800 מ״מ גשם בממוצע רב-שנתי) ועד יתיר, להב, כרמים וגילת שבצפון הנגב (300> מ״מ גשם בממוצע רב-שנתי). ממחקרים שעסקו בקשרים שבין תנאי בית הגידול והתפתחות חלקות יער *אורן ירושלים* בארץ [28, 80], עולה המסקנה כי באזורים בהם עומק הקרקע קטן מ-50-60 ס״מ, וכמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת נמוכה מ-600 מ״מ (לקטגוריה זו שייכים שטחים מיוערים רבים), כמות המים הזמינים לצמח בנפח בית השורשים המורכב מקרקע וסלע, מתוך כלל כמות הגשמים, הוא הגורם הקובע את משך הזמן ואת עוצמת הפעילות הפיזיולוגית האפקטיבית לגדילה [60].

נעשה ניסיון מקדמי כדי לבדוק את התאמת שיטת פולס החום [35], שתוכננה לשמש למדידות שטף המים בגזעי עצי פרי במטעים, כדי לאמוד את הצורך בהשקיה, גם למדידות שטף המים בעצי יער מחטניים בלתי מושקים, בהם צינורות ההובלה בעצה המשנית הם טראכאידים, כלומר צינורות הובלה צרים בהרבה מטראכאות [39], הם מכילים גם ביבי שרף בעצה. הניסיון בוצע בשני עצי *אורן ירושלים* שגדלו בקִרבה מידית, האחד בחלקה שחציה יער וחציה גינה מושקית ביישוב כרמי יוסף [12]. נִמצא כי הדיות היומי של העץ המושקה היה 44.5 ליטר ביממה, זו של העץ הבלתי מושקה רק 6.4 ליטר ביממה. בשני העצים אפשר היה לזהות בבירור את הירידה בשטף המים עם ההעמקה בעצת הגזע. בשכבות העצה הקרובות לקליפה (שנוצרו בשנים האחרונות) השטף היה גדול, הוא הלך ופחת ככל שמעמיקים לשכבות עמוקות יותר (עצה שנוצרה לפני שנים רבות). לא זוהה שטף מים בעצה בעומק שעולה על 4.5 ס״מ מתחת לקליפה. כלומר, שיטת ״פולס החום״, המִכשור והאלגוריתם, שאמורים לזהות את נקודת הזמן של שיא הטמפרטורה, רגישים במידה מספקת על מנת לזהות שטף מים בעצה גם כאשר היא בקצב מִזערי של מעט מעל ל-0.04 מ׳ שעה$^{-1}$. תוצאות אלו הוכיחו כי ניתן להשתמש בשיטת ״פולס החום״ לא רק ברחבי עלים במטעים אלא גם בעצי יער מחטניים. תוצאות אלו עודדו את השימוש בשיטה הנ״ל לשם ביצוע מדידות של שטף המים השעתי במהלך היממה (24 שעות) לאורך השנה בעצי יער ממינים שונים, ולחשב את כמות הדיות ביחס לכמות הגשמים.

נעשתה הערכה של השימוש במים ביערות *אורן ירושלים* שגדלו בשני בתי גידול שונים מאוד, האחד בכרמל (600~ מ״מ גשם בממוצע רב-שנתי), והשני ביתיר (279 ~ מ״מ גשם בממוצע רב שנתי).

א. *אורן ירושלים* בכרמל - רמת הנדיב

ספיקת המים בגזע (ליטר שעה$^{-1}$ עץ$^{-1}$) נמדדה בעזרת שיטת פולס החום בשמונה עצי *אורן ירושלים* הגדלים בחלקת יער נטועה שגילה 14 שנה וצפיפות העצים בה 160 בדונם. הקף הגזעים בגובה החזה (1.30 מ׳ מפני הקרקע) היה בין 35 ל- 42 ס״מ. הטל צמרות העצים כיסה 55% משטח החלקה ואינדקס שטח העלווה [LAI] היה 2.5 [81]. המדידות נמשכו ברציפות 24 שעות ביממה והתפרסו על פני כ- 16 יממות בכל חודש במשך השנה ההידרולוגית. בנוסף, נמדד גם מתח המים בענפונים זמן מועט לפני עלות השחר [Predawn xylem water potential] כסמן לכוח התאחיזה של המים בקרקע כלומר, זמינות המים בקרקע. כמו כן נמדדו באופן רציף נתונים מטאורולוגיים: טמ׳ אוויר יבש ולח, לחות יחסית, מהירות הרוח וקרינה גלובלית. מדידת גשמים נעשתה בעזרת מד גשם סטנדרטי. מהנתונים המטאורולוגיים חושבה האבפוטרמספירציה הפוטנציאלית בהתאם לנוסחת פנמן-מונטיס (Penman-Monteith) [62].

<u>טבלה 1</u>: מספר סופות הגשם והתפלגות עוצמתן בשנה ההידרולוגית 1990/1 ברמת הנדיב.

המקום	השנה	סה״כ ארועי גשם	סה״כ כמות גשמים		סה״כ גשם בארועים שבהם היו פחות מ- , וסה״כ ארועים אלו כאחוז מסך הארועים				
					<10	<20	<30	<40	<60
הכרמל	1990/1	43	485.0	*באחוזים*	*113.0*	*116.0*	*24.0*	*132.5*	*100.0*
					65.1%	18.7%	2.3%	9.3%	4.6%

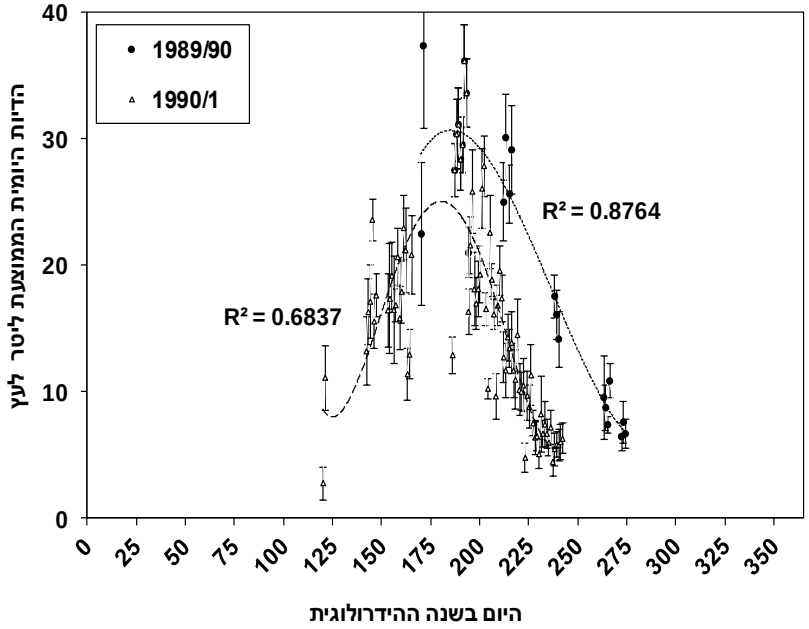
בשנה ההידרולוגית 1990/1 ירדו 485 מ״מ גשם המהווים 69% מכמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת במקום שהיא 650~ מ״מ. מתוכם ירדו 372.5~ מ״מ שהם 77% מכלל כמות הגשמים בחורף זה בסופות שעוצמתן לא פחתה מ-10 מ״מ ביממה. לנתון זה ישנה השפעה על:

- מידת האינטרספציה מתוך כמות הגשם שירדה [תפיסת מים בנוף העץ והתאיידותם ישירות משם];

- עומק ההרטבה בפרופיל הקרקע - מסלע, וכמות המים הזמינים ועוד.

בשנה הידרולוגית זו הגשמים החלו בסוף אוקטובר, אך הם היו גשמים קלים אשר הסתכמו רק כדי 25 מ״מ, ולא הרטיבו את בית השורשים. בסוף נובמבר פוטנציאל המים עם שחר עדיין היה ברמה של 2.7 MPa- [מגה פסקל], רמה שכמעט ואינה מאפשרת פתיחת פיוניות ופעילות חילופי גזים עם האטמוספרה [53, 60, 61]. רק לאחר הגשמים החזקים הראשונים בסוף דצמבר גבר השטף בעצת הגזעים לרמה שאִפשרה את מדידתו. איור 7 מתאר את השטף היממתי הממוצע במשך השנה ההידרולוגית (המתחילה בראשון באוקטובר), כלומר, הדיות היממתי הממוצעת לעץ *אורן ירושלים* ברמת הנדיב.

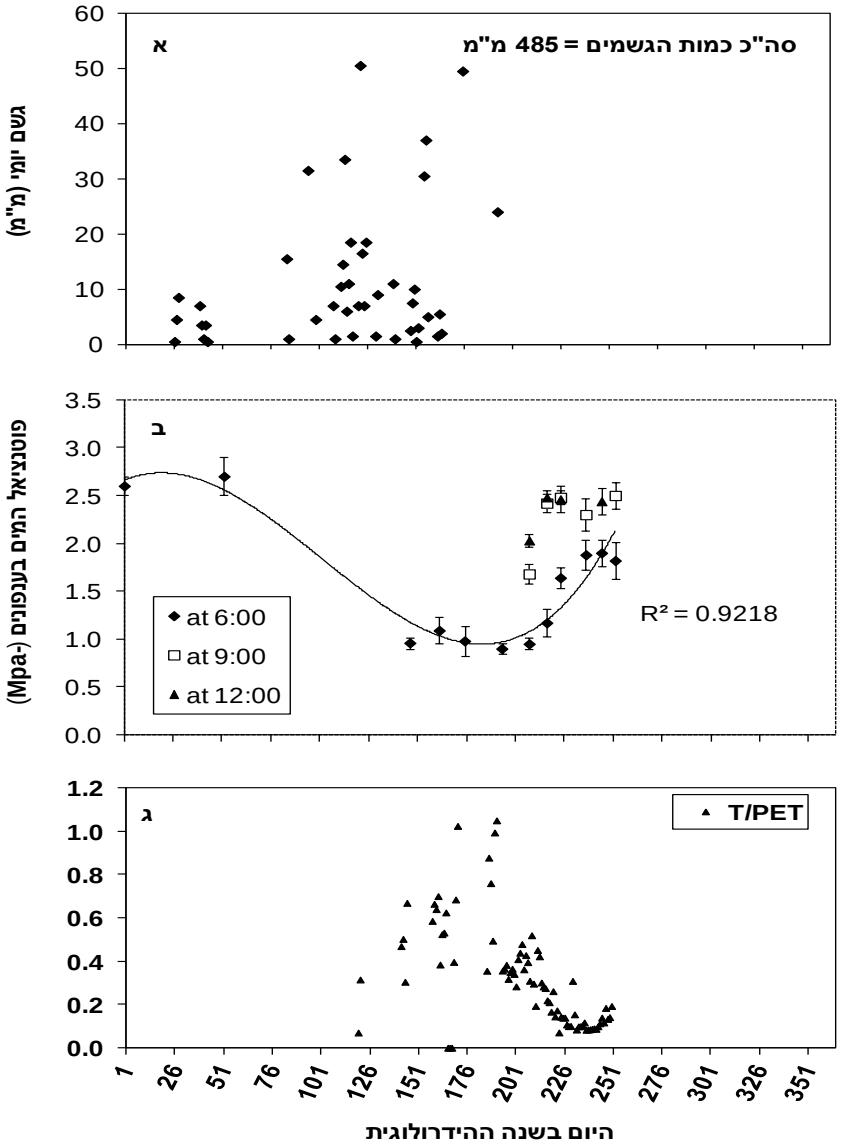
<u>איור 7</u>: מהלך שנתי של הדיות היומית הממוצעת לעץ בחלקת יער *אורן ירושלים* ברמת הנדיב בשנת 1989/90 ובשנת 1990/1. (פולינום מדרגה שלישית מדגיש את המהלך השנתי של הדיות. קווים אנכיים מתארים את שגיאת התקן של הממוצע).



מהאיור נראה כי הדיות היומית הממוצעת גדלה במהירות רבה והגיעה לכדי 15±40 ~ליטר עץ$^{-1}$ יממה$^{-1}$ בחודש מרץ. קצב הדיות הזה נִשמר עד מחצית אפריל, לאחר מכן חלה בו ירידה תלולה שהסתיימה בתחילת יוני ביום יוליאני 155 (שהוא היום ה-242 של השנה ההידרולוגית, המתחילה בראשון באוקטובר) כאשר השטף ירד אל מתחת ל-0.04 מ׳ שעה$^{-1}$, שהוא סף הרגישות של מערכת המדידה.

סיכום של מספר מדדים הקשורים ביחסי צמח-מים בחלקת היער ברמת הנדיב מובאים באיור 8, שמתאר: **א**. את מועדי הסופות וכמות הגשם בסופן; **ב**. פוטנציאל המים בענפונים עם הזריחה, ובצהרי-היום במועדים שונים במשך השנה [90]; **ג**. היחס שבין הדיות היומית והאבפוטרנספירציה הפוטנציאלית היומית.

<u>איור 8</u>: גורמים הקשורים ביחסי צמח-מים בחלקת היער ברמת הנדיב:
א. מועדי גשמים וכמותם; **ב**. השינוי בפוטנציאל המים בעלווה במשך השנה;
ג. מהלך שנתי של היחס שבין הדיות היומית לבין הדיות הפוטנציאלית (PET)



מאיור 8 נִראה כי 24 ימים לאחר הגשם האחרון של 24~ מ״מ, פוטנציאל המים בקסילם עם שחר החל לעלות, ובצהרי היום הוא הגיעה לכדי 2.5 MPa-. כלומר, פוטנציאל המים עלה

לרמה שמקטינה את פתיחת הפיוניות ב*אורן ירושלים* בעיקר בשעות הצהרים, ומכאן שגם מצמצמת חילופי גזים. על כן הדיות היומי הממוצע צנח אל מתחת ל- 2.0 מ״מ ליום לדונם, היחס בין הדיות לבין האבפוטרנספירציה הפוטנציאלית ירד אל מתחת ל- 0.3 ועד לכדי 0.03. השימוש הרב במים על ידי העצים בחלקת יער זו גרם לעליה מהירה בפוטנציאל המים עם שחר ובירידה מהירה בשטף המים בענפונים. כך שבתחילת יוני, 57 ימים ממועד הגשם האחרון, לא ניתן היה יותר למדוד את השטף. נתונים אלו מרמזים שבתנאי בית הגידול הנתונים ברמת הנדיב, ובהתייחס להתפתחות העצים (גובה וקוטר, הטל הכותרות), צפיפותם (160 עץ דונם$^{-1}$) הייתה גבוהה מדי, מה שגרם לניצול מהיר מאד של המים הזמינים. צפיפות עצים רבה ומיעוט גשמים עשויים לגרום לתחרות עזה שסופה בתמותה רבה, מה שאכן קרה בחלקה מספר שנים מאוחר יותר.

ב. *אורן ירושלים* ביער יתיר

בחוברת לזכרו של יוסף ויץ, הוגה הרעיון להקמת יער יתיר שעל גבול המדבר, מפורטים מכלול תנאי בית הגידול: המסלע, הקרקע, האקלים והצומח הטבעי באזור יתיר. יש להוסיף כי עומק מי-התהום באזור זה הוא מתחת ל-300 מ', כך שקיומה של הצמחייה תלוי בגשמים בלבד. כמו כן מפורטות בחוברת זו תוכניות מבנה היער, ייעודי שטחים ושימושים. יער זה, שנטיעתו החלה בחורף 1964/5, משתרע עתה על שטח של כ-30.000 דונם והוא יער נטע-אדם הגדול במדינה. רובו נטוע ב*אורן ירושלים* ונלווים אליו אורנים ים-תיכוניים נוספים דוגמת *אורן ברוטיה*, *אורן אלדריקה*, *אורן הצנובר* ו*אורן קנרי*. כן נטועים גם מיני *ברוש* ורחבי עלים דוגמת מיני *איקליפטוס*, מיני *שיטה* אוסטרליים ומקומיים, מיני *ינבוט* ועוד. יער זה מהווה אקו-סיסטמה מלאכותית וזרה לאזור [49].

סיכום כמויות הגשם שנמדדו בבית היערנים שביער יתיר, משנת 1964 ועד 1995, הראה כי הממוצע הרב-שנתי באזור הוא 89±279 מ״מ שנה$^{-1}$. ההסתברות לכמות גשמים שנתית נמוכה מהממוצע היא כ- 70%, וההסתברות לכמות שקטנה מ- 200 מ״מ היא כ- 12%. כלומר, קיימת הסתברות שפעם בשמונה שנים תחול בצורת קשה.

שטף המים (ליטר שעה$^{-1}$ עץ$^{-1}$) נמדד במספר מועדים במשך השנה ההידרולוגית 1992/93 ב- 16 עצי *אורן ירושלים* שגילם 26 שנה, שמיצגים את התפלגות קוטר הגזעים בחלקת יערשהצפיפות בה הייתה 60 עצים דונם$^{-1}$ [82]. טבלה 2 מסכמת את כמות הגשמים והתפלגותם בשנה הידרולוגית זו.

טבלה 2 : כמות הגשמים ביתיר והתפלגותה בשנה ההידרולוגית 1992/3

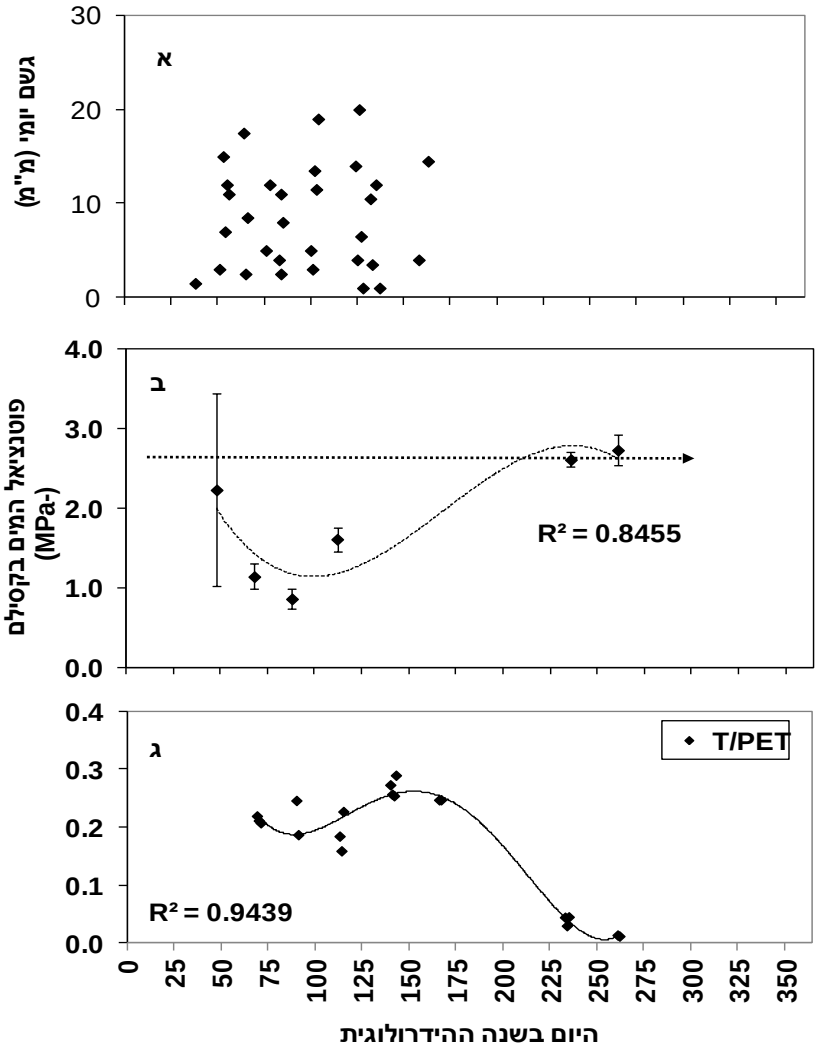
המקום	השנה	סה"כ ארועי גשם	סה"כ כמות גשמים		סה"כ גשם בארועים שבהם היו פחות מ- , וסה"כ ארועים אלו כאחוז מסך הארועים				
					<10	<20	<30	<40	<60
יתיר	1992/3	31	263.5	באחוזים	*70.0* 45.20%	*193.5* 54.80%			

תוצאות המדידות והחישובים הראו כי סך הדיות השנתי מחלקת יער זו היה 210.1 מ״מ, שהם כ- 80% מכמות הגשם באותו החורף, או כ- 93% מכמות הגשם האפקטיבית שהייתה רק 226 מ״מ. יש להפחית מכמות הגשם הכללית את תפיסת המים על ידי נוף העצים (אינטרספציה) ואיודם בעת גשם, שמהווה בין 7% ל -15%- מסך הגשם השנתי [27, 91], ואת אירועי הגשם שעוצמתם פחותה מ-2 מ״מ ביממה, שאינם משפיעות על רטיבות הקרקע בתנאי יתיר. המסקנה מהמחקר הייתה כי ניצול של 93% מהגשם האפקטיבי בסך 226 מ״מ על ידי עצי האורן הוא גבוה מדיי ומוכיח כי מספר העצים ליחידת שטח רב מידי במקרה של פחיתה רבה בכמות הגשמים. על כן, הוסבר ליערנים שרצוי מאוד לדלל את היער ולהפחית לכדי שלושים עץ לדונם את מספר העצים בחלקות שנשתלו עד שנות השבעים כדי שבריאות היער לא תיפגע.

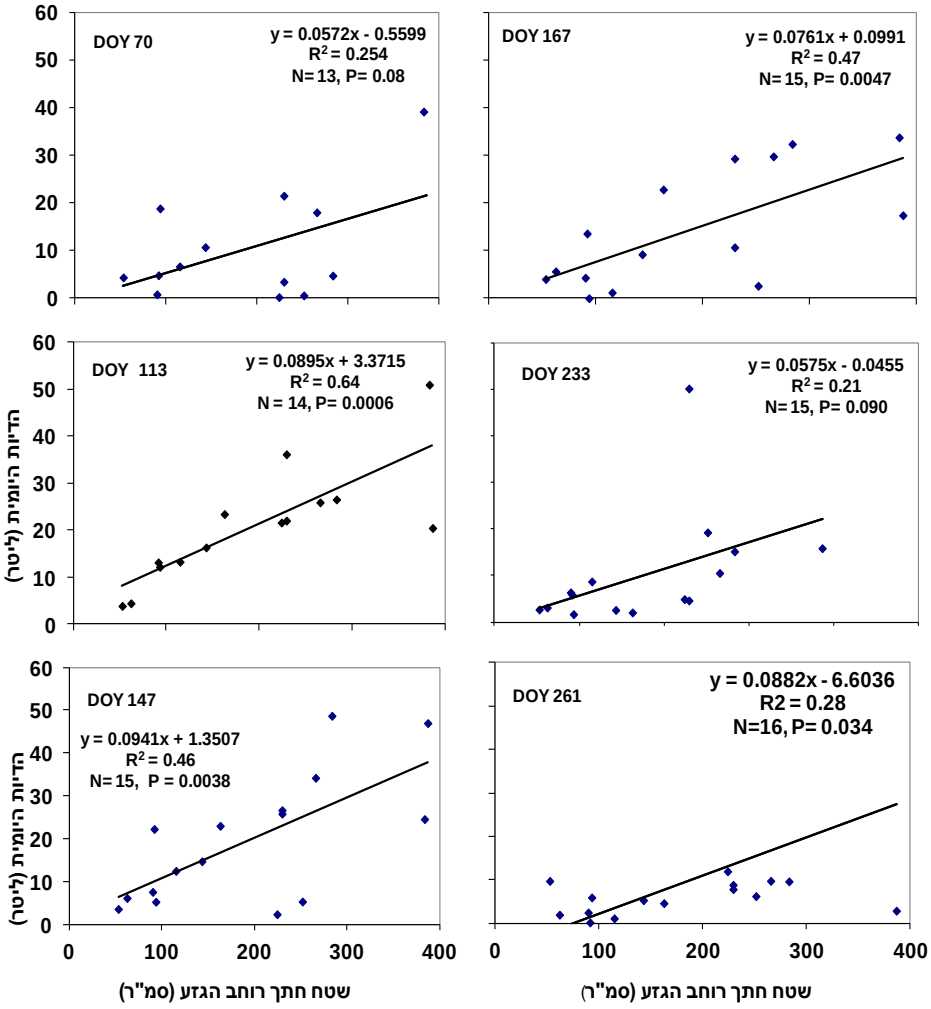
מהלך הגשמים בחורף 1992/3 ביתיר, פוטנציאל המים בענפונים עם שחר כסמן לזמינות המים בקרקע, והיחס שבין הדיות היומי של דונם יער לבין האבפוטרנספירציה היומית על-פי נוסחת פנמן-מונטיס [62] מתוארים באיור 9.

איור 10 מתאר את היחס שבין שטח הבסיס של העצים (= שטח חתך רוחב של הגזע בגובה 1.30 מ׳ מפני הקרקע) לבין כמות הדיות היומית במועדים שונים בעונה הרטובה, כלומר, ביחס לכמות המים הזמינים במועדים שונים.

<u>איור 9</u> : גורמים הקשורים ביחסי צמח-מים בחלקת היער ביתיר בשנה ההידרולוגית 1992/3. **א**. מועד הגשמים וכמותם ; **ב**. מהלך שנתי של פוטנציאל המים עם הזריחה (הקוו האופקי מסמן את פוטנציאל המים בעצה המונע פתיחת פיוניות) ; **ג**. היחס בין הדיות הממשי לדיות ולאידוי הפוטנציאלים (PET).



<u>איור 10</u>: היחס שבין שטח הבסיס לדיות היומית של עצי *אורן ירושלים* ביער יתיר במועדים שונים.



מאיור 10 נִראה כי ביום ה-70 בשנה ההידרולוגית, לאחר הגשמים הראשונים שלא הרטיבו במידה מספקת ובאופן שווה את פרופיל הקרקע, הרגרסיה הקווית שבין "שטח הבסיס" של העץ לבין הדיות היממתי שלו מסביר רק 25% מהשונות בדיות ואינו מובהק. בימי המדידה 113, 146, 167 בשנה ההידרולוגית, המודל הסטטיסטי מסביר בין 64% ל-47% מהשונות בדיות והוא מובהק ברמות שבין $P = 0.01$ ו-$P = 0.001$. בתאריכים מאוחרים יותר בשנה בהם נִמדד השטף כלומר הדיות, הוא נימצא נמוך בהרבה והמודל מסביר שוב רק בין 22% ל-28% מהשונות בדיות וההסבר אינו מובהק, היות שדיוק המדידה יורד בשטפים נמוכים ולכן השונות יכולה לעלות.

<u>בשנים 2003/6</u> נימדד הדיות השעתי של עצי אורן ירושלים לשם כימות הדיות היומית במשך השנה כחלק ממחקר להבנת היחסים שבין האטמוספרה והיער באזור צחיח למחצה (יער יתיר) במסגרת המחקר נִמדדו גם: התנאים המטאורולוגיים, האבפוטרנספירציה מעל חופת היער, עוצמת חילופי הגזים של מים ודו-תחמוצת הפחמן (CO_2), חילופי אנרגיה בצורה של קרינה וחום בין היער והאטמוספרה. המדידות בוצעו בחלקם בעזרת מיגדל שהוקם במרכז הגיאוגרפי של יער יתיר שעליו הותקנו מכשירי מדידה של פרמטרים מטאורולוגיים. כמו כן בוצעו מדידות לכימות האידוי מהקרקע וצומח תת היער. מדידות הדיות של אורן ירושלים בשנים ההידרולוגיות 2003/4, 2004/5, 2005/6 נעשה בעזרת שיטת פולס החום. צפיפות העצים הממוצעת ביער בשנים אלו עמדה על 30 עצים דונם$^{-1}$, הטל הכותרות כיסה כ- 50% מהשטח ואינדקס שטח העלווה (LAI) היה כ-1.5. הדיות השעתי נמדד בשמונה עצים המייצגים את העץ הממוצע בחלקה. כמות הגשמים השנתית והתפלגותם על-פי עוצמת אירועי הגשם, תופעות שיש להן חשיבות רבה בקביעת כמות המים בבית השורשים נִראות מטבלה 3.

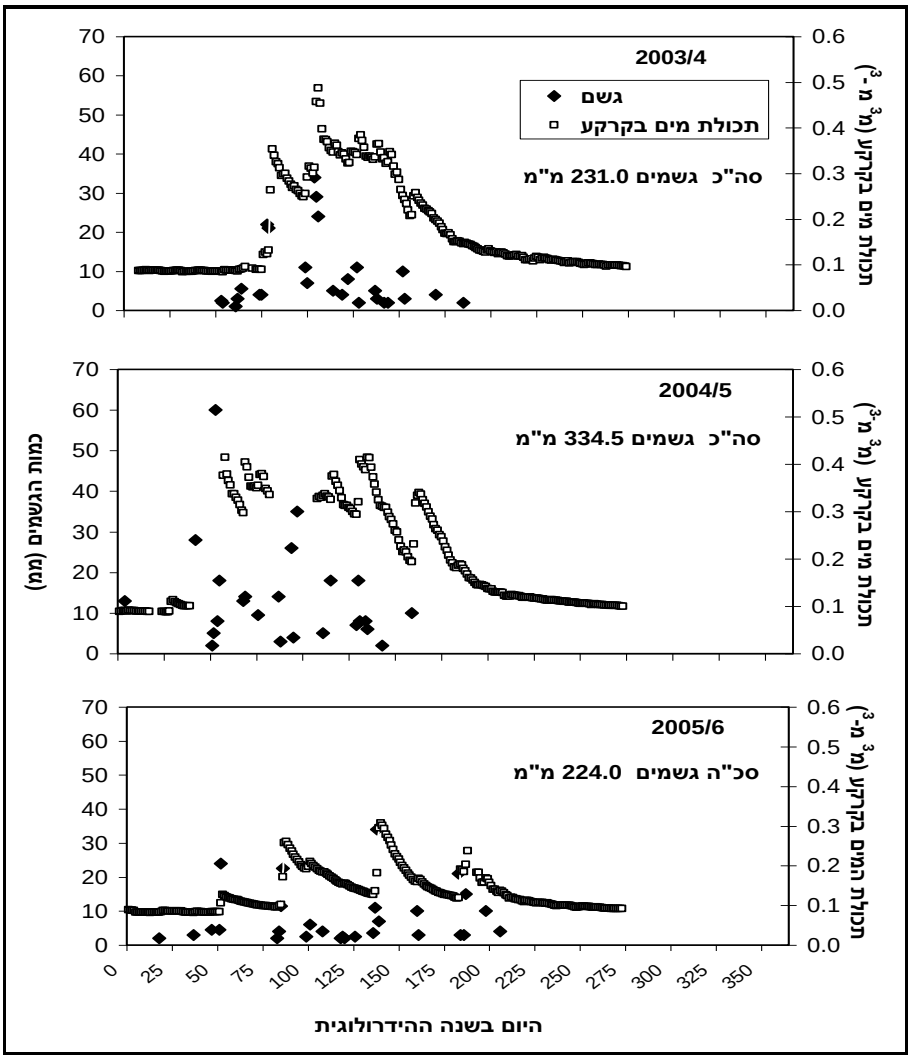
<u>טבלה 3</u>: כמות הגשמים והתפלגות עוצמתם בשלושת השנים 2003-2006.

המקום	השנה	סה"כ ארועי גשם	סה"כ כמות גשמים		סה"כ גשם בארועים שבהם היו פחות מ- , וסה"כ ארועים אלו כאחוז מסך הארועים				
					<10	<20	<30	<40	<60
יתיר	2003/4	27	231.0		*79.0*	*22.0*	*96.0*	*34.0*	
				באחוזים	70.40%	11.10%	14.80%	3.70%	
יתיר	2004/5	24	334.5		*77.5*	*108.0*	*54.0*	*35.0*	*60.0*
				באחוזים	54.20%	29.20%	4.10%	8.40%	4.10%
יתיר	2005/6	28	224.0		*85.0*	*37.5*	*67.5*	*34.0*	
				באחוזים	75.00%	10.70%	10.70%	3.60%	

נִראה כי כל שנה הידרולוגית הייתה שונה מהאחרות בהתפלגות עוצמות הגשמים, מה שהתברר כבעל משמעות קריטית לפעילות הפיזיולוגית של העצים, גם אם סך כמות הגשם השנתית היה דומה (שנת 2003/4 לעומת שנת 2005/6). פיזור אירועי הגשם ועוצמתם, וכתוצאה מכך השפעתם על קיבול המים בקרקע עד עומק של 0.40- מ' בתקופת המדידה בשלושת השנים ההידרולוגיות מתואר באיור 11. חורף 2003/4 היה חורף יובשני עם 231 מ"מ. עיקר כמות הגשמים ירדה עד מחצית חודש ינואר. חורף 2004/5 היה חורף עם רמת משקעים של 334.5 מ"מ, והגשמים נמשכו עד לתחילת פברואר. כלומר, בין שני החורפים

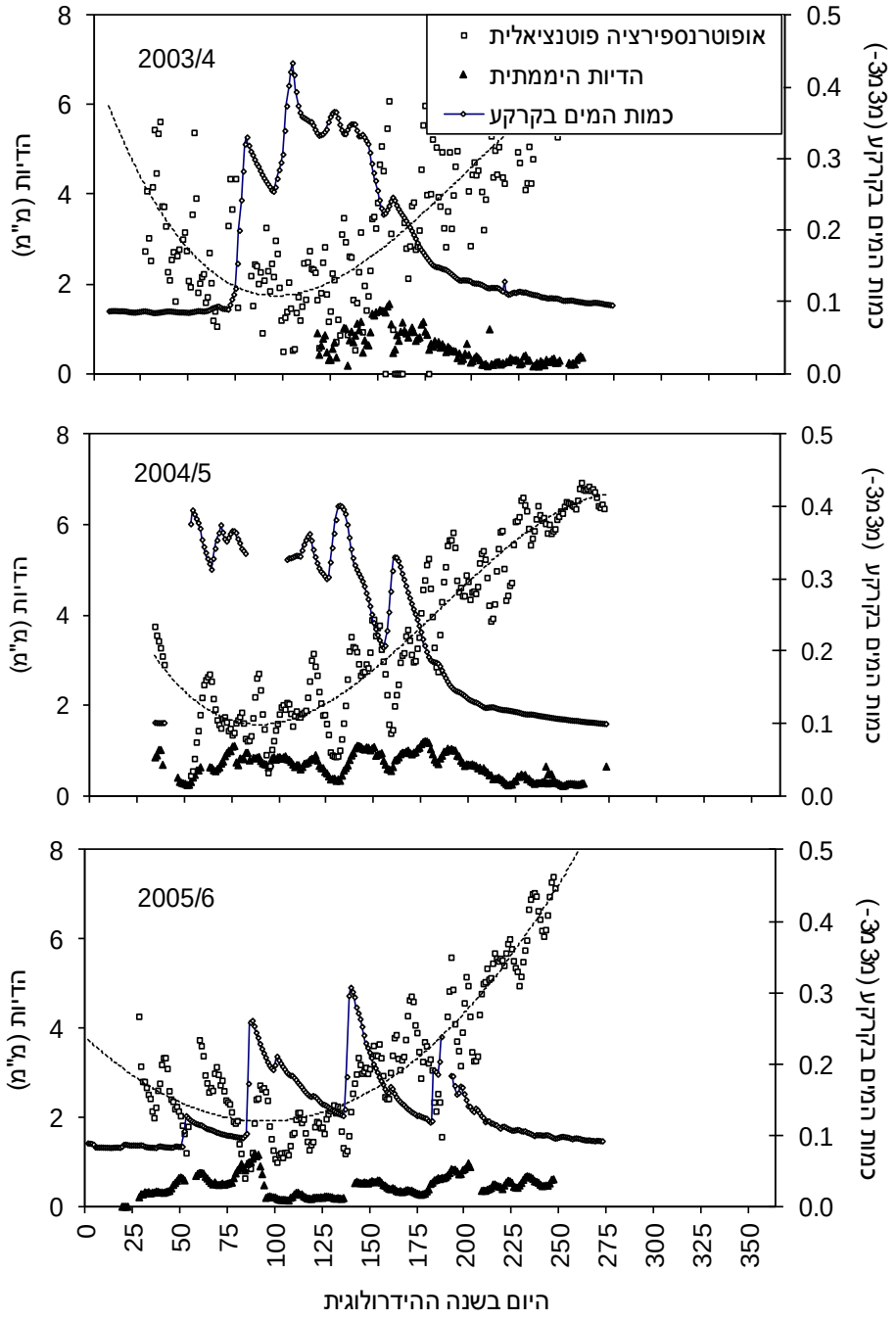
היה הבדל של 142.5 מ״מ או במילים אחרות: כמות הגשמים בחורף 2003/4 הייתה רק כ-61.8% מכמות הגשמים של חורף 2004/5. גם חורף 2005/6 היה חורף יובשני בו ירדו רק 224 מ״מ גשם. אמנם מספר אירועי הגשם היה רב, אך עוצמת הגשמים (מ״מ גשם לאירוע) היה נמוך, דבר שגרם לכך שפרופיל הקרקע לא הורטב במידה מספקת.

<u>איור 11</u>: היחס בין פיזור הגשמים ועוצמתם לבין תכולת המים בקרקע בעומק של 0.40 מ׳.



המהלך העונתי של קיבול המים בקרקע ($מ^3\ מ^{-3}$), האבפוטרנספירציה הפוטנציאלית היומית (מ״מ יום$^{-1}$), הדיות היממתי הממוצע (מ״מ יום$^{-1}$) של *אורן ירושלים* במשך תקופת המדידה מתוארים באיור 12. מהאיור נִראה כי במיוחד בשנה ההידרולוגית 2005/6 הדיות היומי הממוצע היה נמוך במיוחד בהתאמה לקיבול המים הנמוך בקרקע.

<u>איור 12</u>: המהלך שנתי של האבפוטרנספירציה יומית פוטנציאלית (מ״מ), הדיות היומי הממוצע (מ״מ יום $^{-1}$), ביחס לתכולת המים היומית בקרקע (מ^{3} מ $^{-3}$) בעומק של 0.40- מ׳, בשלוש שנות המדידה.



טבלה 4: מאזן המים העונתי והשנתי בחלקת אורן ירושלים ביער יתיר בשלוש שנים הידרולוגיות.

שורה	משתנה	שנה הידרולוגית			
		2003/4	2004/5	2005/6	ממוצע
	העונה הרטובה				
1	משך התקופה (ימים)	212	212	220	215
2	כמות הגשמים (R) (מ״מ)	231	334	224	263
3	כושר אידוי־דיות (PET) (מ״מ)	770	725	701	732
4	יחס R ל-PET	0.30	0.46	0.32	0.36
5	אידוי־דיות בפועל (ET) (מ״מ)*	172	267	163	201
6	יחס ET ל-R	0.74	0.80	0.73	0.76
7	דיות של עצי האורן (T) (מ״מ)	118	126	103	116
8	יחס T ל-R	0.51	0.38	0.46	0.45
9	יחס T ל-ET	0.69	0.47	0.63	0.60
10	אידוי־דיות בפועל מן הקרקע וצמחיית תת-היער (E) (מ״מ)	66	78	67	70
11	אידוי מי גשם מחופת עצי האורן (I) (מ״מ)	16	23	16	18
12	אידוי־דיות בפועל (מ״מ)**	200	227	186	204
13	הפרש אומדני אידוי-דיות בפועל (מ״מ)***	-28	40	-23	-4
	העונה היבשה				
14	משך התקופה (ימים)	153	153	145	150
15	אידוי־דיות בפועל (ET) (מ״מ)*	59	76	55	64
16	דיות יומית של עצי האורן (מ״מ ליום)	0.224	0.251	0.209	0.228
17	דיות של עצי האורן (T) (מ״מ)	34	38	30	34
18	אידוי־דיות בפועל מן הקרקע וצמחיית תת-היער (E) (מ״מ)	32	34	25	30
19	אידוי מי גשם מחופת עצי האורן (I) (מ״מ)	0	0	0	0
20	אידוי־דיות בפועל (מ״מ)**	66	72	55	65
21	הפרש אומדני אידוי-דיות בפועל (מ״מ)***	-7	4	0	-1
	שנתי				
22	אידוי־דיות בפועל (ET) (מ״מ)*	231	343	218	264
23	יחס ET ל-R	1.00	1.03	0.97	1.00
24	דיות של עצי האורן (T) (מ״מ)	152	164	133	150
25	יחס T ל-R	0.66	0.49	0.60	0.58
26	אידוי־דיות בפועל מן הקרקע וצמחיית תת-היער (E) (מ״מ)	98	112	92	101
27	יחס E ל-R	0.42	0.34	0.41	0.39
28	אידוי־דיות בפועל (מ״מ)**	266	299	241	269
29	יחס ET ל-R	1.15	0.89	1.07	1.04
30	הפרש אומדני אידוי-דיות בפועל (מ״מ)***	-35	44	-23	-5

טבלה 4 מכילה תוצאות של מדידות שנעשו בתקופה הלחה (המוגדרת כתקופה בה כמות המים בקרקע עולה על 0.15 מ^3 מ$^{-3}$) והתקופה היבשה (בה זמינות המים נמוכה וכמותם היא בין 0.15 מ^3 מ$^{-3}$ ו- 0.12 מ^3 מ$^{-3}$). כפי שכבר הוסבר, מידת הדיות בעונה היבשה, אינו ניתן למדידה בשיטת פולס החום עקב מגבלות המערכת. על כן הערכנו את מידת הדיות היומית המרבית האפשרית בכך שהשתמשנו בנתוני שטף המים בכל אחד מהגזעים, בשבוע האחרון

שבו עדין היה אפשרי למדוד אותו, והכפלנו במספר הימים של עונת היובש. מהטבלה ניראה כי הדיות והאידוי (ET) הממוצע מחלקת היער שווה בכמותו לסך ממוצע הגשמים (שורות 2, 22), תוצאה שמצביע על כך שאין איבוד מים ניכר מהמערכת אל מי התהום.

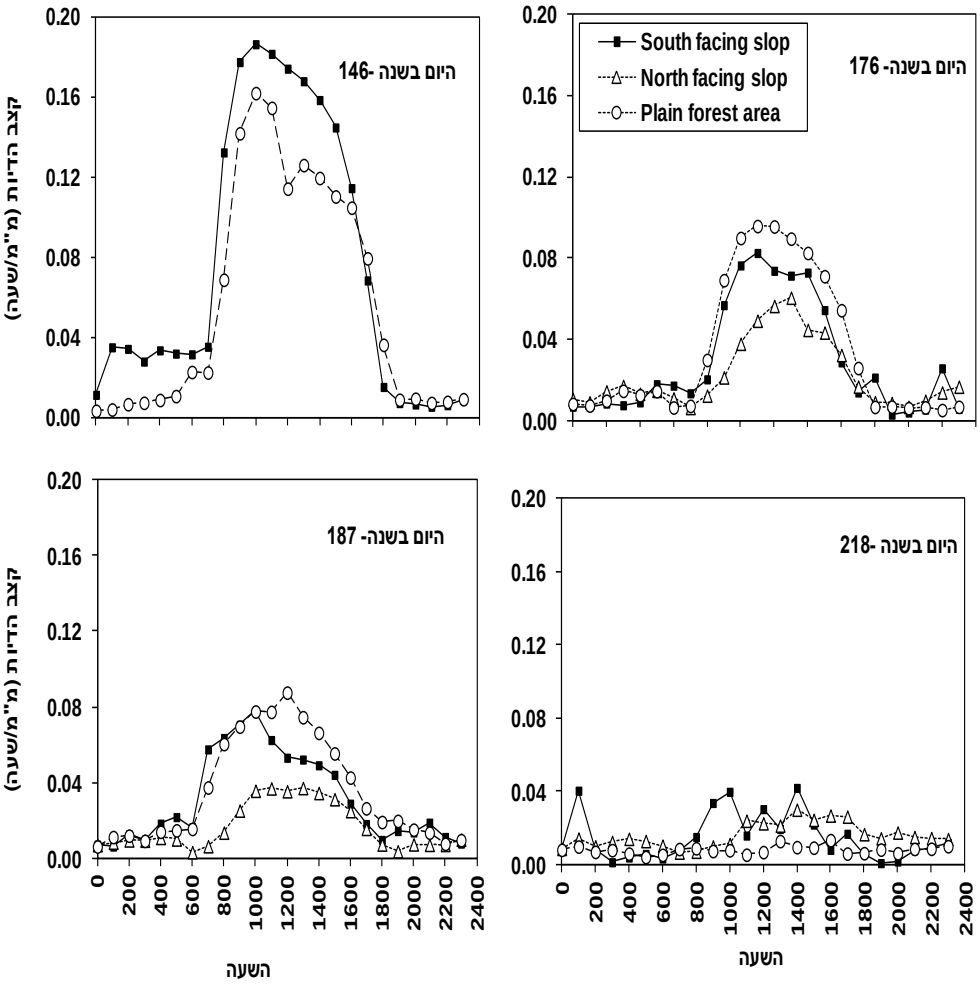
ניתוחים סטטיסטיים של התוצאות הראו כי בתקופה הלחה מידת הדיות היומית מושפעת בעיקר על ידי הגרעון לרוויה של האוויר (אידוי ודיות פוטנציאליים) ורמת זמינות המים בקרקע היא משנית. התקופה היבשה היא תקופה שבה זמינות המים היא הגורם המשפיעה ביותר על מידת הדיות היומית. כאשר כמות המים בקרקע פוחתת מתחת ל- 0.12 מ^3 מ$^{-3}$, כוח התאחיזה שלהם גורם להקטנה משמעותית בשטף המים בשורשים ובגזע שקטן אל מתחת ל-0.04 מ׳ בשעה$^{-1}$, שטף שאינו ניתן למדידה בשיטת פולס החום כפי שכבר הוסבר. מהטבלה נִראה כי הדיות (T) הרב-שנתי הממוצע (שורה 19) הוא 150 מ״מ שהם 58% מכמות הגשמים (R) הממוצעת בשנים 2003-2006. כמו כן, סך הדיות השנתית הממוצעת (T) מסך הדיות והאידוי (ET) הממוצע של האקוסיסטמה מהווה 55.8%.

המדידות בעזרת שיטת פולס החום של שטף המוהל בעצה במשך 24 שעות בעונה הרטובה (עונה בה ניתן למדוד את השטף) הראו כי הוא נחלק לשטף במשך שעות האור (0600 עד 1900). כלומר, הדיות אשר עוצמתו מושפעת גם מהתנאים המטאורולוגיים בשעות האור ומהשטף במשך שעות החושך (19:00 ועד 06:00), הבא למלא את מאגר המים בצמח, שנוצל בחלקו עבור הדיות בשעות האור ביום שחלף, שכמותו עולה על יכולת מערכת ההובלה בצמח לספק מידית. שטף המוהל בשעות החושך עשוי להיווצר גם על ידי הדיות בשעות אלו כאשר ישנם תנאים מטאורולוגים מיוחדים הגורמים לגרעון לרוויה גבוה של האוויר (VPD) ובתנאי זמינות מים גבוהה בקרקע [10, 38, 41, 55, 73, 79, 94]. במדידות נמצא כי בשנים ההידרולוגיות 2003/4 ו-2004/5, כל עוד קיבול המים בקרקע בעומק בית השורשים (0.40- מ׳) היה מעל ל- 0.20 מ^3 מ$^{-3}$, שאפשר שטף מים בגזעים הניתן למדידה בשעות היום והלילה, השטף בשעות היום הווה 86±9% ו- 80±14% מסך שטף המוהל היממתי (24 שעות) בהתאמה. כאשר קיבול המים ירד אל מתחת ל-0.20 מ^{3}מ$^{-3}$, השטף בגזעים בשעות היום הווה רק 64±4% ו- 68±8% מכמות שטף המוהל היממתית בהתאמה. כלומר, שטף המוהל בלילה קיבל משקל רב יותר, והוא הווה כ- 35% מסך שטף המוהל היממתי. בשנה ההידרולוגית היובשנית 2005/6 שטף המוהל בשעות האור הווה בממוצע רק 67±7% מסך שטף המוהל היממתי.

ג. השפעת הטופוגרפיה על עוצמת הדיות של אורן ירושלים

ההשפעה נמדדה בחלקת יער מישורית במרכז הגיאוגרפי של יער יתיר בה גם הוצב המגדל המטאורולוגי, ובעוד שתי חלקות יער **האחת,** ניטע על מידרון הפונה לכיוון דרומי מיזרחי, **השניה**, על פני מדרון הפונה לכיוון צפוני-מערבי; כל החלקות ניטעו בתחילת שנות השיבעים. הדיות נמדד בשנים ההידרולוגיות 2003/4 ו- 2004/5. צפיפות העצים הממוצעת ביער בשנים אלו הייתה 30 עצים בדונם, הטל הכותרות כיסה כ-50% מהשטח, אינדקס שטח העלווה (LAI) היה כ- 1.5. הדיות השעתי נמדד בשמונה עצים שיצגו את העץ הממוצע בחלקה.

<u>איור 13</u>: מהלך יומי של הדיות השעתית הממוצעת בפנויות השונות ביער יתיר.



המדידות של שטף המוהל (הדיות) בגזעי *אורן ירושלים*, שגדלים בשלוש חלקות בפנויות טופוגרפיות שונות, גילו הבדלים בין החלקות בעוצמת הדיות השעתית הממוצעת במשך

היממה (24 שעות). מאיור 13, שמתאר את המהלך היממתי של הדיות השעתית בארבעה ימים בשנה ההידרולוגית 2003/4, נראה כי כל עוד קיבול המים בקרקע מאפשר דיות, נוצר הבדל לא קטן בין המפנים במהלך היממתי של הדיות השעתית.

נתוני שטף המוהל השעתית (הדיות), שנמדדו ברצף בלתי מופר במשך שלוש יממות עוקבות בלא פחות מחמישה עצים, ובמקביל ובעת ובעונה אחת בכל אחת משלושת המפנים הטופוגרפיים (סך של 30 יממות) שימשו לשם ניתוח שונות (ANOVA) כדי לקבוע את מידת השפעת הטופוגרפיה על הדיות. תוצאות הניתוח הראו כי בשנה ההידרולוגית 2003/4, שנה מעוטת גשמים (231 מ״מ), ההבדלים בין שלושת הפנויות בכמות הדיות השעתית הממוצעת בשעות האור (06:00-19:00), היו מובהקים ($Prob>F = 0.0001$) (טבלה 5, טור א). לעומת זאת, בשנה ההידרולוגית 2004/5, שנה מבורכת בגשמים (334 מ״מ), הבדלים בכמות הדיות בין הפנויות לא היו מובהקים. ניתוח שונות נוסף, שבו נכללו כלל הנתונים שנמדדו ללא הגבלה בשלושת הפנויות במשך שתי עונות המדידה, 140 ימים בשנת 2003/4 ו-227 ימים בשנת 2004/5, הראה גם הוא (טבלה 5, טור ב) כי בשנת 2003/4 קיים הבדל מובהק בין הפנויות ברמת הדיות של העץ הממוצע בשעות האור (06:00-19:00).לעומת זאת, בשנת 2004/5 לא נמצאה השפעה מובהקת של הטופוגרפיה על הדיות מהיער.

<u>טבלה 5</u>: הדיות הממוצעת בהתאם לפנות הטופוגרפית בשנות המדידה.

השנה	הפנות	א הדיות של העץ הממוצע על פי ניתוח שונות ראשון (ליטר בשעות האור לעץ)	**ב** הדיות של העץ הממוצע על פי ניתוח שונות שני (ליטר בשעות האור לעץ)
2003/4	דרומית מזרחית	14.77 ± 0.96	26.49 ± 0.96
	צפונית מערבית	8.76 ± 0.68	15.77 ± 0.68
	מישור	16.81 ± 0.61	20.65 ± 0.61
2004/5	דרומית מזרחית	18.51 ± 0.92	24.72 ± 0.92
	צפונית מערבית	20.21 ± 1.12	25.13 ± 1.12
	מישור	20.72 ± 0.63	26.43 ± 0.63

סך הדיות בשעות האור (6:00 ועד 19:00) במשך השנה ההידרולוגית 2003/4 ו-2004/5 מסוכמים בטבלה 6. הטבלה מראה שבשנה ההידרולוגית 2003/4, שבה נמדד הדיות במשך 140 ימים, קיימים הבדלים ניכרים בין החלקות בכמות הדיות בשעות האור, כאשר הדיות

המרבי בסך 114.9~ מ״מ היה בחלקה עם פנות דרום-מזרחית, בעוד שהחלקה עם פנות צפון מערבית דייתה רק 49.1~ מ״מ, והחלקה במישור על פסגה דייתה 83.0 מ״מ. התוצאות המוצגות בטבלה 6 מאששות את העובדה הידועה בתחום האקולוגיה כי לפנויות הטופוגרפיות השפעה על משק המים. המסקנות הנובעות מהתוצאות המוצגות כאן הן בעלות חשיבות רבה מאוד לממשק יער באזורים יובשניים בהם חייבים להתאים את צפיפות העומדים הגדלים בפנויות טופוגרפיות שונות בהתאם להשפעה זו. כי אין אפשרות להכוונת עוצמת הדילול באמצעות טבלאות יבול.(ראה פרק 5).

<u>טבלה 6</u>: סיכום נתוני הדיות בהתאם לפנות הטופוגרפית של חלקות היער והשנה.

הפנות	הדיות הממוצעת בשעות האור (ליטר לעץ)	הדיות בשעות האור של 30 עץ/דונם (מ״מ)	סך הדיות בשעות האור בתקופת המדידה (מ״מ)
בשנת 2003/4, 140 ימי מדידה			
דרומית-מזרחית	26.50	0.820 ± 0.691	114.90
צפונית-מערבית	15.77	0.351 ± 0.150	49.10
מישור	20.65	0592 ± 0.355	83.00
בשנת 2004/5, 227 ימי מדידה.			
דרומית-מזרחית	24.72	0.744 ± 0.319	168.90
צפונית-מערבית	25.13	0.792 ± 0.286	179.80
מישור	26.43	0.621 ± 0.336	141.10

4.4 *ברוש מצוי* (Cupressus sempervirens L.)

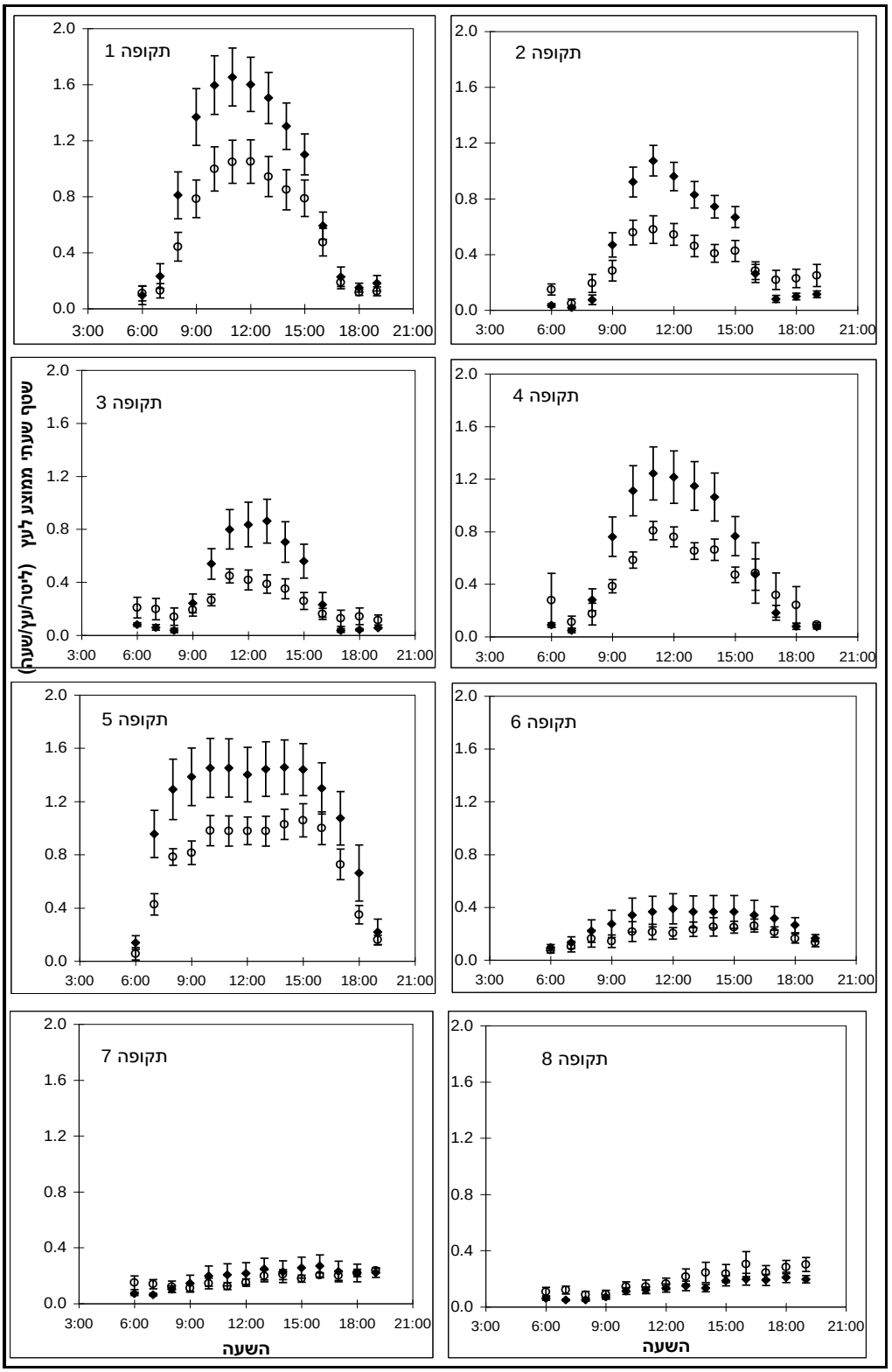
(מהלך יממתי של הדיות במשך השנה ההידרולוגית)

בעקבות תמותת עצי *ברוש* רבים מאוד, בעיקר מהזן האופקי, ביערות חבל הדרום לאחר הבצורות של שנות 1998-2000 נערך מחקר בעזרת שיטת פולס החום שבדק והשווה את המהלך היומי, במשך השנה ההידרולוגית, של השטף המים (הדיות) (ליטר שעה$^{-1}$ עץ$^{-1}$) שנעשה על ידי עצי ברוש מהזן הצריפי [var. *pyramidalis* (= stricta)] לזה של עצי ברוש, בגודל זהה, מהזן האופקי [var. *horizontalis*]. המחקר נעשה בחלקה הנטועה בעצי *ברוש מצוי* משני הזנים אשר גדלה במינהל המחקר החקלאי בבית דגן [86].

המהלך היומי של שטף המוהל השעתי (הדיות השעתי) בשמונה בעצי *ברוש* מכל אחד משני הזנים, שחולקו לזוגות בהתאם לגודל הנוף (משקל רטוב של העלווה, והקף הגזעים בגובה 1 מ׳ מפני הקרקע), במועדים שונים במשך השנה ההידרולוגית 2000/1- מתוארים באיור 14 ובטבלה 7. מהאיור נִראה כי עוצמת הדיות השעתי משתנה במהלך השנה, וכי ההבדלים בעוצמת הדיות בין שני הזנים מתקיימים כל עוד הדיות אפשרי מבחינת זמינות המים בקרקע. ההבדלים בין הזן האופקי והצריפי במידת הדיות בשעות האור (6:00 ועד 19:00) במועדים שונים במשך השנה ההידרולוגית מסוכמים בטבלה 7. מהטבלה נִראה כי בתקופת החורף והאביב העצים מהזן האופקי דייתו עד כדי 50% יותר מאשר עצים מהזן הצריפי. ההבדלים בדיות נובעים כנראה ממבנה כותרות העצים. נופם הפתוח של עצי הזן האופקי נתון יותר להשפעות התנאים המיקרו-אקלימיים ובמיוחד הרוח אשר מסיעה את האוויר הרווי באדי מים שעל פני העלווה (לחץ אדים נמוך ואויר) ומביא אויר ״יבש יותר״ (לחץ אדים גבוה ואויר) אשר קולט את אדי המים, על כן העצים שנופם פתוח לתנועת אויר רבה (הזן האופקי) מדייתים בקצב גבוה מאשר עצי הזן הצריפי שנופם סגור לתנועת אויר, בעצים אלו הקרינה הישירה פוגעת רק בחלק קטן מהנוף, זה שפונה למקור האור; שאר הנוף אינו מקבל הארה ישירה. מהטבלה נִראה כי מתחילת נובמבר ועד תחילת יוני, במשך 212 יום, ההפרש בכמות הדיות היומי הממוצעת בשעות האור בין הזן האופקי לזן הצריפי הוא 2.91 ליטר ליום לעץ, אשר מצטברים לכדי 617 ליטר במשך התקופה. מכאן, שההפרש בניצול המים בין שתי חלקות יער שגדלות בבית גידול אחיד, האחת נטועה בזן הצריפי והשנייה בזן האופקי, שגילן 15 שנה וצפיפות הנטיעה בהן היא 150

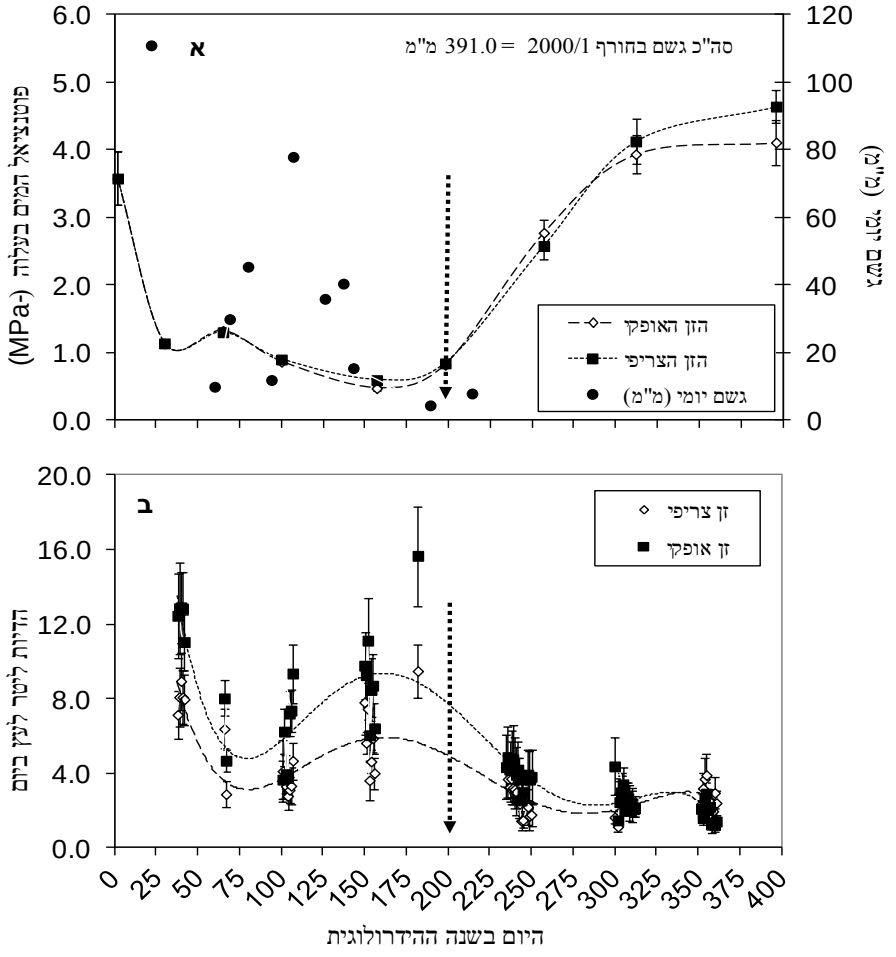
עץ בדונם, יגיע באותה התקופה לכדי 92,538 ליטר, שהם שווים ל- 93.0~ מ״מ גשם המהווים כ- 25% מכמות הגשמים שהייתה -391 מ״מ בשנה זו.

<u>איור 14</u>: מהלך יומי של השטף השעתי (הדיות) *בברוש מצוי* מהזן הצריפי (מעוינים חלולים) ומהזן האופקי (מעוינים מלאים). (קווים אנכיים מסמנים את סטיית התקן של הממוצע).



המהלך השנתי של פוטנציאל המים בעצת ענפונים ביחס לפיזור הגשמים ועוצמתם, המהלך השנתי של הדיות היומי הממוצעת בשעות האור מתוארים באיור 15. מהאיור נִראה כי מיד לאחר תום עונת הגשמים התקיימה עלייה רבה במתח המים בעצה, ובהתאמה ירידה בעוצמת הדיות בשעות האור, שפחת בעצי הזן האופקי מ-4.3±9.7 בעונת הגשמים ל-1.0±2.8 ליטר יום$^{-1}$ בממוצע בהמשך. בעצי הזן הצריפי הדיות פחת מ- 2.7±6.4 בעונת הגשמים ל- 0.2 ±2.6 ליטר יום$^{-1}$ בממוצע בהמשך.

<u>איור 15</u>: מהלך שנתי של הגשמים ומתח המים בעצה עם הזריחה בענפונים של הזן האופקי והצריפי (**א**); מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע בעצי *ברוש מצוי* מהזן האופקי ומהזן הצריפי **ב**). (הקווים האנכיים מסמנים את סטיית התקן של הממוצע).



טבלה 7: ההבדל בדיות היומית הממוצע בין הזן האופקי לזן הצריפי של *הברוש המצוי*, כפי שנמדד בחלקת מחקר במינהל המחקר החקלאי בבית דגן, במועדים שונים בשנה ההידרולוגית 2000/1.

		הדיות היומית הממוצעת				
תקופה	תחילת	היום בשנה	מספר ימי	(ליטר לעץ ביום)		
מדידה	המדידה	ההידרולוגית	המדידה	בזן הצריפי	בזן האופקי	הפרש
1	07.11.2000	34	5	8.04	12.42	4.28
2	05.12.2000	66	2	4.62	6.34	1.72
3	09.01.2001	101	7	3.55	5.37	1.82
4	27.02.2001	150	6	5.47	8.53	3.06
5	31.03.2001	182	1	10.31	15.67	5.36
6	23.05.2001	235	16	2.69	3.94	1.25
ממוצע						**2.91±1.62**
7	27.07.2001	300	13	2.30	2.63	0.33
8	17.10.2001	352	10	2.73	1.86	-0.83
ממוצע כללי				**4.96**	**7.09**	**2.12±2.04**

מהתוצאות המובאות על הדיות של *הברוש המצוי* אפשר להסיק שביער הגדל בתנאי בית גידול יובשניים שבו מערכות השורשים מוגבלות לכיסי קרקע בינות לסלעים, הזן האופקי- כתוצאה מהדיות היומי המוגבר- מנצל את המים הזמינים בקרקע תוך פרק זמן קצר יותר מאשר הזן הצריפי. לכן, בשנת בצורת עצי הזן האופקי חשופים לעקות יובש קשות למשך פרקי זמן ארוכים יותר מאלו שבאותם תנאים פוקדות את עצי הזן הצריפי. בשנים ההידרולוגיות *1998/9* ו-1999/00 ירדו באזור הנגב הצפוני רק 144 ו-150 מ״מ גשם בהתאמה, הייתה אז תמותה רבה של עצי *ברוש* מהזן האופקי לעומת התמותה הנמוכה יותר של עצי *ברוש* מהזן הצריפי. זה מכבר ידוע כי עקות יובש פוגעות קשה במערכת ההגנה של הצמחים בפני מזיקים ומחלות, וחושפות אותם לפגיעתם הקשה (ראה בפרק שנים על *הברוש המצוי*).

ייתכן שתוצאות מחקר זה יכולים להסביר את השימוש הרב בזן הצריפי של *הברוש המצוי* בארצות ים תיכוניות ובאזורים אחרים בעולם בהם קיימים תנאי אקלים הומולוגיים מכיוון שהזן הצריפי מדיית פחות מהזן האופקי בתנאי בית גידול זהים. כלומר הזן הצריפי ״חסכן במים״ וכמות נתונה של מים בקרקע תספק אותו למשך זמן ארוך יותר.

4.5 *אלון מצוי* (Quercus calliprinos Web.)

(מהלך יממתי של הדיות במשך השנה ההידרולוגית)

מבין המשמעויות הרבות הנובעות מהימצאותו/גדילתו של *האלון המצוי* בשטחים רבים בישראל (החורש משתרע על כ-850,000 דונם [40]) ישנה גם חשיבות רבה גם למשמעות ההידרולוגית. המאזן ההידרולוגי בבית הגידול עשוי להיות מוטה במידה מסוימת על ידי הממשק היערני. מחקרים אחדים נעשו בעבר כדי להבין את התכונות האקו-פיזיולוגיות של מין זה [68, 99]. כמו כן נעשה ניסיון לכמת את צריכת המים של תצורת החורש הטבעי בכרמל [26, 78]. אך לא היה במחקרים אלו כדי לספק בסיס מוצק לשם קבלת החלטות מִמשק בחורש. המשמעות ההידרולוגית של כיסוי שטחים נִרחבים בחורש טבעי, שנבע ממחקרים אלו, הביאה לידי גיבוש רעיון ראשוני לדלל בעוצמה מרבית ואף לחסל שטחים נִרחבים של חורש כדי לאפשר את העשרת האקוויפרים [25]. ניסיון לבדוק בשטח את נכונות הרעיון לא יצא לפועל עקב התנגדות הציבור לפגיעה בטבע.

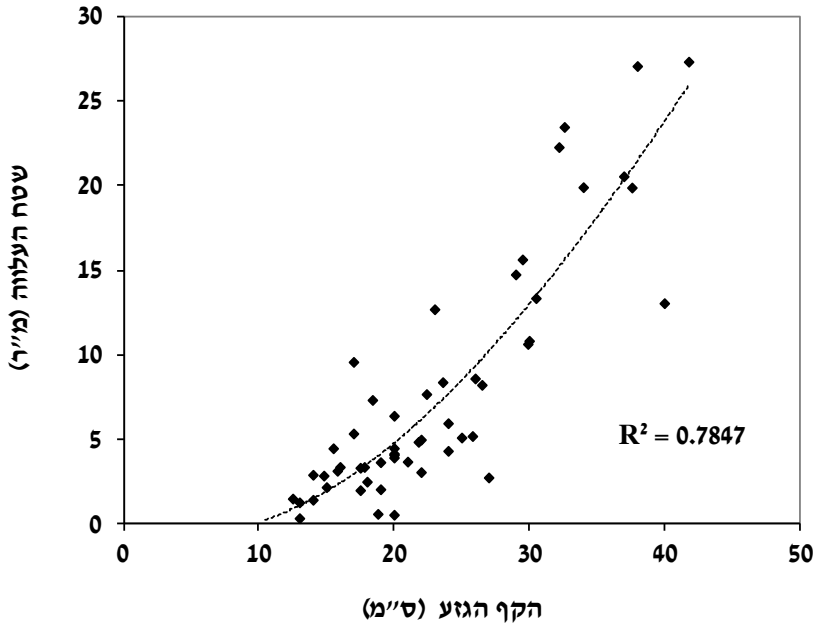
נעשה שימוש בשיטת פולס החום [35], כדי לאמוד את המהלך היממתי של שטף המים השעתי (ליטר שעה$^{-1}$ עץ$^{-1}$), כלומר, סך הדיות של *האלון המצוי* במשך השנה ההידרולוגית כחלק מהמאזן ההידרולוגי בשני בתי גידול בחורש הטבעי. האחד, ברמת הנדיב שבכרמל, והשני בשמורת הטבע שימרון שליד היישוב תימרת בגליל התחתון, שגובל בעמק יזרעאל מצפון. נעשה גם ניסיון לאמוד את השינויים בדיות היומי והשנתי ובמאזן המים בחלקת חורש הנובעים מפעילות ממשקית (דילול) [29, 85, 89].

א. *אלון מצוי* בכרמל (רמת הנדיב)

בבית גידול ייחודי ברמת הנדיב [1, 2, 16], בו גדל חורש טבעי שהרכבו הפיטוסוציאולוגי משייך אותו לחברת *האלון המצוי* ו*אלה הארץ-ישראלית* [99] נבחרה חלקה ששטחה 1,000 מ^2 שלא נִפגעה על ידי שריפה, כריתה ורעייה מאז שנות השלושים של המאה העשרים. סקר הצומח בחלקה הראה כי קיימים בה 92 בתי-שורש מהם 47 בתי-שורש של *האלון המצוי* שנושאים 240 נצרים (גזעים). כלומר, בממוצע 5.1 נצרים לבית שורשים. הקף הגזע הממוצע של האלון *המצוי*, בגובה 0.50 מ׳ מפני הקרקע, היה 21.8 ס״מ. שטח הטל הכותרות של כלל גזעי *האלון המצוי* היה 660 מ^2 בדונם. היחס שבין היקפיי גזעי *האלון המצוי* לשטח העלווה שלהם (צד אחד) מתואר באיור 16 על ידי עקום מעריכי (אקספוננציאלי) בדרגה שלישית.

המדידות הראו כי הגזע הממוצע בהיקפו בחלקה נושא עלווה ששִטחה 5.53 מ^2. כמו כן היחס שבין שטח העלווה לשטח הטל הכותרות (LAI) הוא 3.4. תוצאות הסקר אִפשרו בחירה של 8 גזעים (מבתי-שורש שונים)׳ שהיקף גזעיהם מייצג את התפלגות הקף הגזעים בשטח. כלומר, התפלגות גודל הנוף.

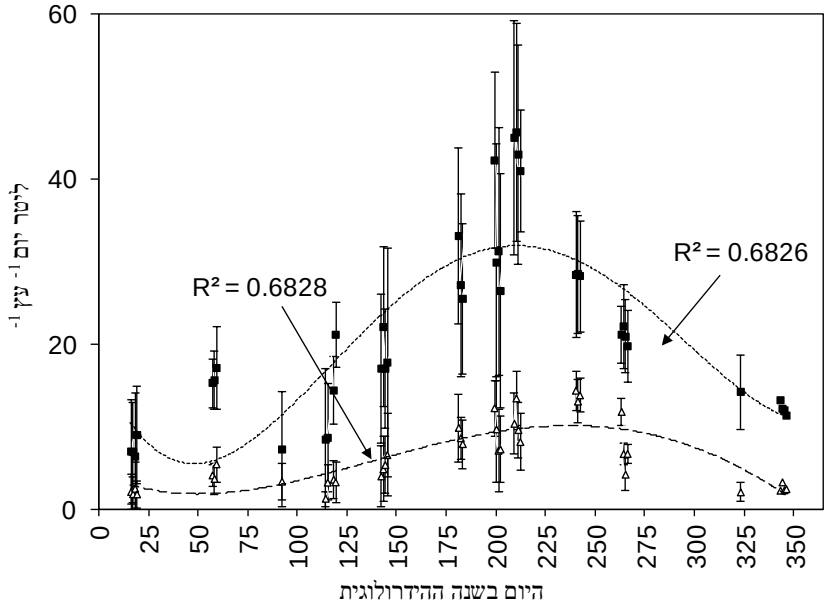
<u>איור 16</u>: שטח העלווה ביחס להיקף הגזע של *אלון מצוי* הגדל ברמת הנדיב



מדידות שטף המים בעצת הגזע בשעות האור (06:00 – 19:00) בכל עץ בנִפרד תורגמו לשעור הדיות השעתי והיומי וחושבו ממוצעים יומיים. איור 17 מראה כי לגזעים (נצרים) שלהם הקף גדול יחסית, בממוצע 41.9±9.7 ס״מ, (± שגיאת תקן), ומכאן שטח חתך רוחב הגזע הגדול יותר, הדיות גדול פי שניים ואף פי שלושה מאשר הדיות בקבוצת הגזעים שלהם הקף קטן יחסית, בממוצע 24.8±4.6 ס״מ, הם קרוב לוודאי נמוכים ולכן מוצלים על ידי העצים הגדולים יותר. מהאיור נִראה כי מתחילת השנה ההידרולוגית, מהראשון לאוקטובר ועד תחילת ינואר (100 ימים בשנה ההידרולוגית) הדיות הממוצע (בשעות האור) של העצים בעלי גזע עבה הייתה נמוך מ- 10 ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$ בממוצע, עוצמת הדיות עלתה מאוד עד מחצית מאי (יום 225) והגיעה אל מעל ל- 40 ליטר בממוצע עץ$^{-1}$יום$^{-1}$. לאחר מכן, בהמשך השנה, הדיות הממוצע פחת מאוד, ובספטמבר הוא היה שוב כ- 10 ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$. המהלך השנתי של הדיות היומי הממוצע (בשעות האור) של העצים הקטנים דומה לזה שבעצים הגדולים

בחלקה, אלא שהדיות היומי הממוצע נמוך, ולא עלה מעבר ל- 20 ליטר בממוצע עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$ במשך כל השנה ההידרולוגית.

<u>איור 17</u>: מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע בשעות האור של *אלון מצוי* ברמת הנדיב, בהתאם להיקף הגזע. מרובעים מלאים - גזעים שהיקפם גדול; משולשים – גזעים שהיקפם קטן. [קו של פולינום בדרגה שלישית מדגיש את המהלך השנתי של הדיות היומי, ומסביר כ-68% מהשונות בהתאמה. (הקו האנכי מתאר את שגיאת התקן של הממוצע)]

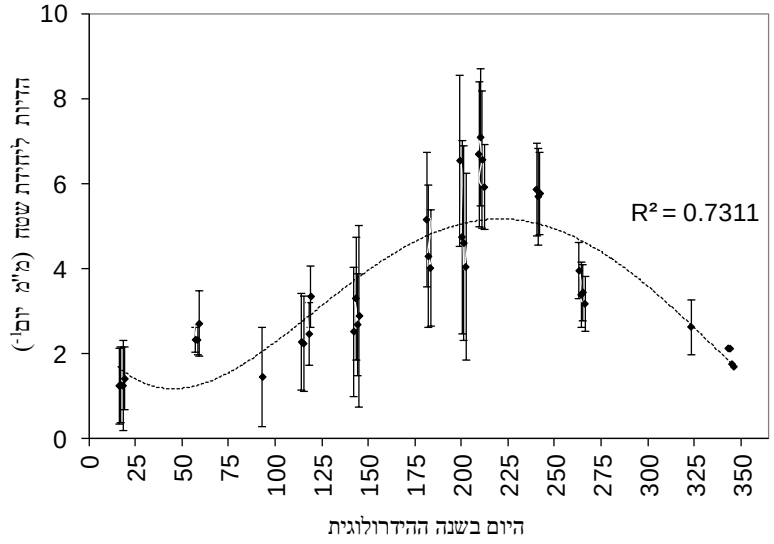


הדיות היומי הממוצע בשעות האור במשך השנה ההידרולוגית של עצי ה*אלון המצוי*, שהיקף גזעם זהה לזה של הגזע הממוצע בחלקה (21.8 ס״מ), הוא 4.1±3.8 ליטר ביום לעץ (± סטיית תקן). מכאן, ששיעור הדיות השנתי בשעות האור של עץ שכזה הוא 1,488 ליטר, ובהתאם לצפיפות הנצרים לדונם (240) הם מהווים 358 מ^3 לדונם בשנה (= 358 מ״מ), שהם 75% מכמות הגשמים בחורף של אותה שנה הידרולוגית.שהייתה 478 מ״מ.

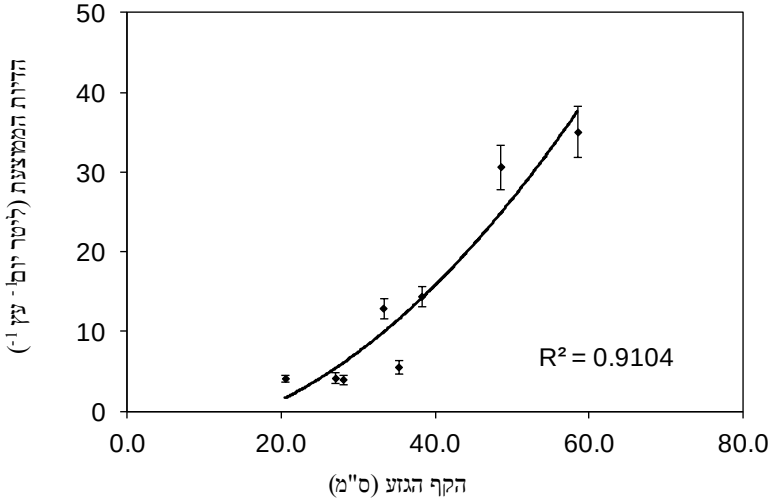
הדיות היומי של העץ הממוצע תורגם לדיות של יחידת שטח חורש *אלון מצוי* בהתאם לשטח העלווה או כמות הגזעים. המהלך השנתי של הדיות היומי בשעות האור לדונם מתואר באיור 18. בין אוקטובר לפברואר הדיות היומי היה בין 2 ל-4 מ״מ יום$^{-1}$, בתקופה שבין פברואר ומחצית יוני – הוא היה בין 4 ל-7 מ״מ יום$^{-1}$. לאחר מכן הוא ירד בהדרגה עד לפחות מ-2 מ״מ יום$^{-1}$ עם תחילת השנה ההידרולוגית העוקבת.

היחס שבין הקף הגזע של *האלון המצוי* לבין הממוצע השנתי של הדיות היומי שלו בשעות האור (ליטר יום$^{-1}$ עץ$^{-1}$) מתואר באיור 19 על ידי עקום מעריכי בדרגה שלישית. מהאיור נראה שככל שהיקף הגזע גדול יותר, כלומר, ששטח חתך רוחב הגזע גדול יותר, ובהתאם לאיור 1 כמות העלווה שהוא נושא גדולה יותר, כן העץ מדיית יותר.

<u>איור 18</u>: מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע בשעות האור של חורש *אלון מצוי* בבית גידול ברמת הנדיב. קו של פולינום בדרגה שלישית מדגיש את המהלך השנתי של הדיות היומי, ומסביר כ-73% מהשונות (הקווים האנכיים מתארים את שגיאת התקן של הממוצע).



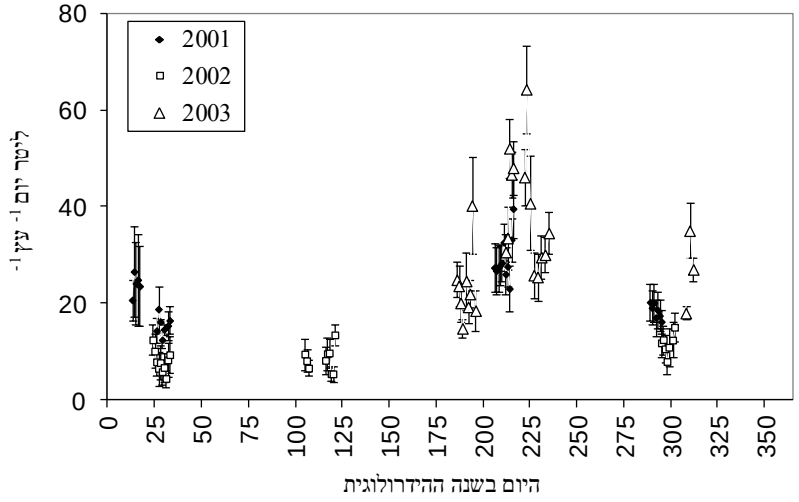
<u>איור 19</u>: היחס שבין הקף הגזע של *אלון מצוי* לבין הממוצע השנתי של הדיות היומי בשעות האור (הקו האנכי מסמן את שגיאת התקן של הממוצע)



ב. *אלון מצוי* בגליל התחתון (שמורת הטבע שימרון)

בחורש הטבעי של *אלון מצוי* ו*תר-זית בינוני*, שבשמורת הטבע שימרון שליד היישוב תימרת הנִמצא בגבעות הגובלות בצפון עמק יזרעאל (32^0 45' N 35^0 13' E), ברום של 225 מ׳ מעל פני הים, נִבחרה חלקה בה גדלים 23 בתי-שורש של *אלון מצוי*, שכל אחד מהם נושא מספר לא קטן של נצרים. הגובה הממוצע של עצי *האלון* בחלקה היה 4.5±0.8 מ׳ (± סטיית התקן), הקף הגזע הממוצע בגובה החזה היה 54.2±6.4 ס״מ והטל הכותרת הממוצעת היה 16.6±2.7 מ^2. הטל הכותרות של כלל הנצרים בבתי השורש של האלונים היה 53.4% משטח החלקה, מכאן שגורם ההכפלה של הנתונים הממוצעים לעץ, בהתייחס לחלקה כולה, הוא 32.4. העצים גדלים בקרקע רנדזינה חומה, לא עמוקה, שמכסה מִסלע קרסטי מתצורת מרשה המורכבת מחילופין של אבן גיר, דולומיט וחוור. בקידוחים שנעשו לשם מדידת תכולת המים בקרקע ובמסלע באמצעות מפזר נויטרונים נִמצא כי שורשי *האלון המצוי* חדרו עד לעומק של 8 מ׳ דרך סדקים במסלע [6]. בחלקה זו נעשו מדידות של שטף המים השעתי (ליטר שעה$^{-1}$ עץ$^{-1}$), כלומר הדיות במשך היום (0600-1900), בשמונה עצי *אלון מצוי* ברצפים של מספר ימים במועדים שונים במשך שלוש שנים הידרולוגיות 2001-2003 [89].

<u>איור 20</u>: הדיות היומי הממוצע של שמונת עצי *אלון מצוי* בשמורת שימרון בשנים ההידרולוגיות 2001-2003.(הקווים האנכיים מסמנים את שגיאת התקן של הממוצע).

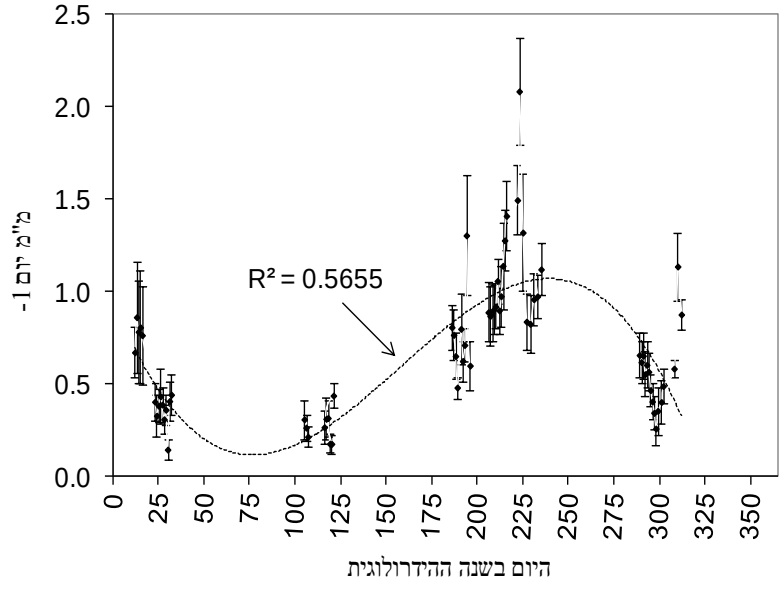


הדיות היומי הממוצע במועדים השונים במשך שלוש השנים ההידרולוגיות קובצו ביחד כאילו נעשו במשך שנה הידרולוגית אחת (איור 20). מהאיור נִראה כי בחודש אוקטובר, בתחילת השנה ההידרולוגית, הדיות היומי הממוצע היה עדיין גבוה מ- 20 ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$,

והוא פחת לכדי כ- 10 ליטר עץ$^{-1}$יום$^{-1}$ עד תחילת חודש פברואר. ממועד זה הדיות החל לעלות בהדרגה והגיע אל מעבר ל-50 ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$ בממוצע במחצית חודש מאי. לאחר מכן הדיות החל פוחת במהירות, בתחילת חודש אוגוסט הוא היה פחות מ- 20 ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$. הממוצע הכללי של הדיות היומי, שנמדד בשמונת העצים במועדים שונים במשך שלוש השנים, היה 1.9±22.6 ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$.

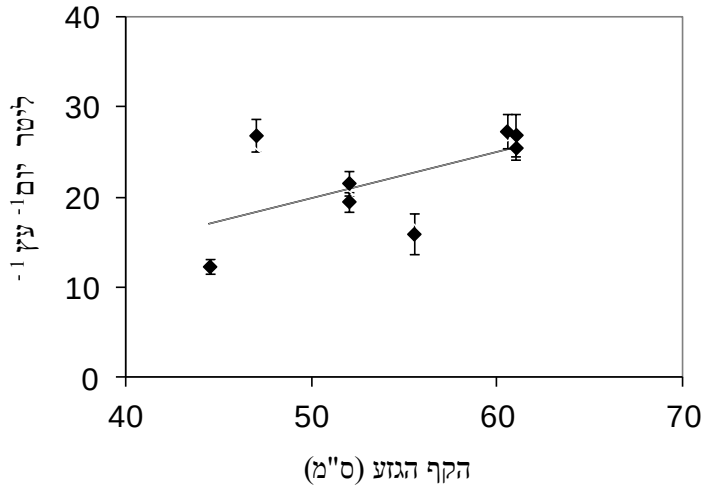
הדיות היומי הממוצע (ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$) תורגם לדיות היומי של יחידת שטח חורש *אלון מצוי* (מ״מ יום$^{-1}$) בהתאם לאחוז כיסוי הכותרות (איור 21). האיור מראה כי באוקטובר, עם תחילת השנה ההידרולוגית ולפני הגשמים, החורש דיית בממוצע כ- 0.75 מ״מ ביום. שיעור הדיות קטן לפחות מ-0.5 מ״מ ביום עד חודש פברואר (יום 125). בהמשך, הדיות התגבר ועלה לכ-1.5 מ״מ ביום ויותר בממוצע. לאחר מכן הדיות שוב קטן, בתחילת אוגוסט הוא היה רק כ-0.5 מ״מ בממוצע ביום. ממוצע הדיות היומי על פני השנה ההידרולוגית היה 0.73 מ״מ ביום, המהווים 267 מ״מ במשך כל השנה ההידרולוגית. הממוצע הרב-השנתי (שלושים שנות מדידה) של הגשמים באזור שמורת שימרון הוא 578 מ״מ, והממוצע השנתי במשך שלושת השנים שבהם נעשו מדידות הדיות בשמורה הוא 648 מ״מ. מכאן, שהדיות של *האלון המצוי* מהווה 45% ו-39% בהתאמה מכלל כמות הגשמים הממוצעת באזור.

<u>איור 21</u>. מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע של עצי *האלון המצוי* בשמורת שימרון. קו הפולינום בדרגה שלישית בא להדגיש את המהלך השנתי של הדיות, ומסביר כ- 56% מהשונות. (הקווים האנכיים מתארים את שגיאת התקן של הממוצע).



כל המדידות שנעשו שימשו לחישוב הדיות היומי הממוצע ביחס להיקף הגזע בגובה החזה (1.30 מ' מפני הקרקע) של כל אחד משמונת העצים. התוצאות ניתנות באיור 22. שמראה כי הדיות היומי הממוצע (ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$) גדל עם העליה בהיקפו של העץ.

<u>איור 22</u>: הדיות היומי הממוצע של כל עץ ביחס להיקף גזעו.



4.6 *אלון התבור* (*Quercus ithaburensis* [Decne] Boiss)

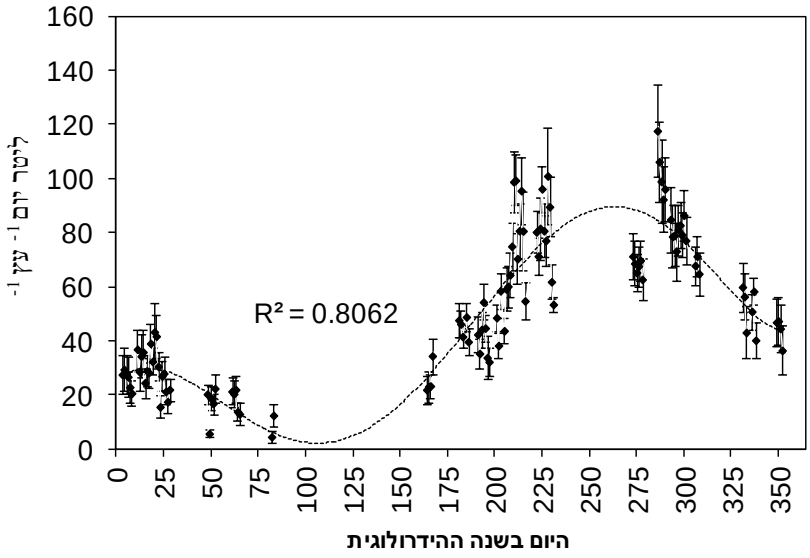
(מהלך יממתי של הדיות במשך השנה ההידרולוגית)

אלון התבור הוא מין נשיר בעיקרו אך אחוז מסוים של העצים משיר את עליו מאוחר מאוד בעונה (דצמבר-ינואר) או רק עם תחילת ההנצה של העלווה החדשה לקראת סוף פברואר [63, 87]. צינורות ההובלה (טראכאות) שבטבעות השנתיות (בעצה) מסודרים בצורה טבעתית או בצורה כמעט (Ring- or semi ring-porous) [39]., המהלך השנתי של הדיות היומי ב*אלון התבו*ר נחקר בעבר על ידי Oppenheimer [67, 68], אלא שהתוצאות שהושגו אין בהם כדי להוות נְדבך שעליו אפשרי לבסס ממשק יערני.

לגדילתו של חורש/יער *אלון התבור* ישנה גם משמעות הידרולוגית שמן הראוי לעמוד עליה, לכן נְמדד המהלך היומי של שטף המים השעתי בעצה, כלומר, הדיות השעתי (ליטר שעה$^{-1}$ עץ$^{-1}$) במשך השנה ההידרולוגית, בעזרת שיטת פולס החום. המחקר נעשה בחלקת יער.שגדלים בה 14 עצים בדונם, היא מייצגת את המבנה הטיפוסי של יער *אלון התבור* באזור הגליל התחתון (אזור אלונים שפרעם). תת-היער ביערות אלו הוא לרוב עשבוני ומיעוטו שיחים נְלווים. החלקות שנְבחרו הן בשמורת הטבע שבתוך היישוב אלון הגליל ובקרבתו המידית. הקרקע במקום היא רנדזינה אדומה-חומה על גבי נארי המכסה מסלע מתצורת עדולם ותימרת המאופיינים על ידי חילופי שכבות של אבן גיר חוואר וקירטון. המדידות בוצעו בשנים 1996 ובשנים 2001-2003 בשמונה עצים, שבגודלם הם מייצגים את התפלגות גודל העצים בדונם יער [88, 89].

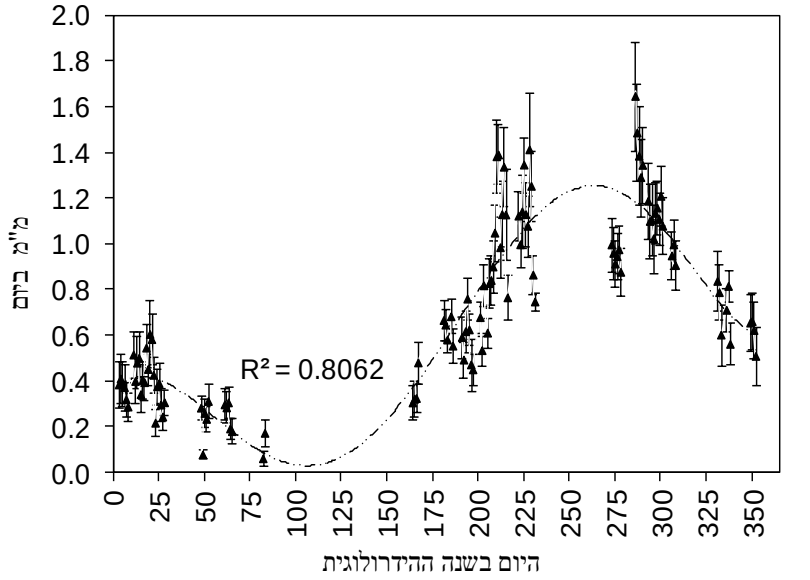
המהלך השנתי של שטף המים הממוצע בגזעים בשעות האור (06:00-19:00), כלומר, הדיות היומי הממוצע (ליטר יום$^{-1}$ עץ$^{-1}$) מתואר באיור 23. מהאיור נְראה כי באוקטובר ובנובמבר עדיין מתקיים דיות שהולך ודועך לקראת דצמבר כתוצאה מהפסקת הפעילות הפוטוסינטטית ומנשירת העלים. הדיות מתחדש עם הנצת העלים לקראת סוף פברואר ותחילת מרץ (בין הימים 150-175 של השנה ההידרולוגית), הוא הולך ומתגבר עד תחילת חודש מאי (היום 212 בשנה ההידרולוגית) ומגיע לכדי 60 עד 100 ליטר ביום לעץ. עוצמת הדיות הזו נְשמרת עד סוף חודש יולי תחילת אוגוסט (היום ה-300 בשנה ההידרולוגית), לאחר מכן חלה נסיגה הדרגתית בעוצמת הדיות שיורד לכדי 40 עד 60 ליטר ביום לעץ במחצית השנייה של אוגוסט ובתחילת ספטמבר (בימים 325-350 בשנה ההידרולוגית).

<u>איור 23</u>: מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע (ליטר יום$^{-1}$ עץ$^{-1}$) של *אלון התבור* בשעות האור באזור אלון הגליל. הפולינום בדרגה השלישית בא להדגיש את המהלך השנתי של הדיות (הקווים האנכיים מסמנים את שגיאת התקן של הממוצע).



הדיות היומי הממוצע לעץ בשעות האור תורגמה לדיות היומי של דונם יער (14 עצים בדונם). איור 24 מתאר את המהלך השנתי של הדיות היומי הממוצע של חלקת יער *אלון התבור*.

<u>איור 24</u>. מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע בשעות האור (מ״מ יום$^{-1}$ דונם$^{-1}$) של יער *אלון התבור* באזור אלון הגליל. הפולינום בדרגה שלישית בא להדגיש את המהלך השנתי של הדיות. (הקווים האנכיים מסמנים את שגיאת התקן של הממוצע).



מהאיור נִראה כי בחודש אוקטובר, תחילת השנה ההידרולוגית, דונם יער מדיית בין 0.2 ו-0.6 מ״מ ביום, לקראת דצמבר הדיות הולך ופוחת לכדי 0.1 מ״מ בממוצע ביום ופחות. בפברואר-מרץ הדיות מתחדש, עולה ומתגבר ומגיע לכדי 1.0 עד- 1.6 מ״מ ביום במחצית חודש מאי. עוצמת הדיות הזו נִשמרת עד סוף חודש יולי תחילת אוגוסט (היום ה-300 בשנה ההידרולוגית), לאחר מכן חלה נסיגה הדרגתית בעוצמת הדיות שיורד לכדי 0.מ״מ ו-0.8 מ״מ במחצית השנייה של אוגוסט ותחילת ספטמבר.

חישובים של מאזן המים בחלקת יער *אלון התבור* העלו כי הדיות הממוצע לעץ בשעות האור במשך 290 יום בשנה ההידרולוגית בהם העצים נושאים עלווה, עולה לכדי 41.5±54.9 ליטר ביום לעץ, המסתכמים לכדי 15.909 מ^3 במשך 290 יום. מכאן, שהדיות בשעות האור של עצי *האלון* בחלקת יער טיפוסית מגיעה ל- 768 ליטר ביום, שמסתכמים ב-222.7 מ^3 בשנה, שהם 222.7 מ״מ. למדידות אלו יש להוסיף את שטף המים בגזע בלילה, שקשה למדידה כפי שהוסבר במבוא. זרימה זו מוערכת ב-20% מהדיות המדוד, לכן סך הדיות השנתי הממוצע בשנים שבהם נעשו המדידות היה 267.2 מ^3 (=מ״מ) לדונם, שמהווים כ-46.7% מכמות הגשמים הממוצעת באזור בשנים 1995 – 2003.

4.7 השוואה בין חורש *אלון מצוי* ויער *אלון התבור* באופן ניצול המים בבית הגידול :

נעשה ניסיון להעריך את ההבדלים בכמות ובאופן ניצול המים בין חורש שעיקרו *אלון מצוי* לחורש/יער שעיקרו *אלון התבור*, האופייניים במִבנם הפיטוסוציאולוגי, כאשר כל מין גדל בבית הגידול הייחודי לו באזור הגליל התחתון, אך בקִרבה גיאוגרפית רבה ובתנאי אקלים דומים ככל שניתן [5, 6, 7, 89].השוואה שכזו עשויה לחזק או לשלול תובנות קודמות על הגורמים הקשורים בתפוצה הגיאוגרפית של מין מסוים או על תהליכים פנולוגיים במשך השנה, ולהוות בסיס לשם קבלת החלטות ממשק יערני. ההשוואה נעשתה בין שני בתי גידול האופייניים לכל אחד מהמינים : **א**. בית הגידול של *האלון המצוי* בשמורת הטבע שימרון שליד היישוב תימרת, **ב**. בית הגידול של *אלון התבור* הוא בשמורת הטבע שבמרכז היישוב אלון הגליל ובסמוך לו. ההבדלים בין בתי הגידול מסוכמים בטבלה 8.

<u>טבלה 8</u> : מאפיינים אקולוגיים של שני בתי הגידול

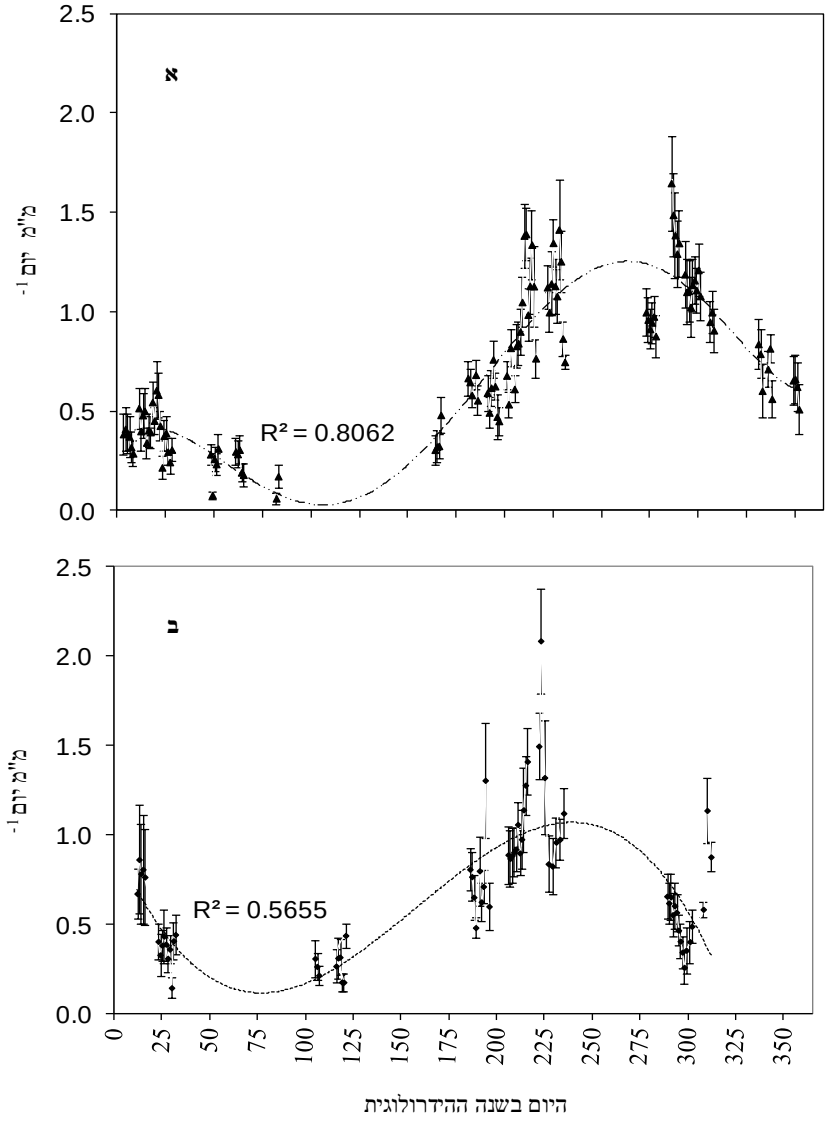
המאפיינים / בית הגידול	אלון הגליל	תימרת
שיכבת המסלע	תימרת ועדולם	מרשה
סוג הקרקע	רנדזינה חומה עד אדומה	רנדזינה חומה
ממוצע גובה העצים (מ׳)	7.1 ± 1.0	4.5 ± 0.8
ממוצע הקף הגזעים בגובה החזה (ס״מ)	85.2 ± 19.8	54.2 ± 6.4
מספר עצים בדונם	14	
ממוצע הטל הכותרות ($מ^2$)	34.4 ± 13.6	16.6 ± 2.7
שטח הטל הכותרות בדונם (%)	48.2	53.4
יחס בין ממוצע היטל הכותרות לסך הטל הכותרות בדונם		32.4

משנת 2001 ועד 2005 נעשו בחלקות היער/חורש מדידות בעזרת מפזר ניוטרונים לשם קביעת השינויים בקיבול המים בקרקע ובמסלע. מדידות אלו נעשו במרווחי זמן של בין 35 ו-75 ימים מעת לעת. הבדיקות נעשו לעומק של שמונה מטר במרווחים של 0.25 מ׳ דרך חתך קרקע-סלע.

לשם אפיון המהלך השנתי, בשנים 2001 -2003, של הדיות היומי של *אלון התבור* ו*האלון המצוי*, נעשו מדידות בשיטת פולס החום [35]. המדידות בוצעו במועדים שונים

באקראי במשך שלוש שנים. תוצאות מדידות אלו סוכמו ואוחדו לכלל מהלך שנתי של הדיות היומי בשני מיני האלונים (איור 25).

<u>איור 25</u>: מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע ליחידת שטח יער/חורש של: **א**. *אלון התבור* ב.של *אלון מצוי*, בשעות האור בגליל התחתון (קו של פולינום בדרגה שלישית מדגיש את המהלך השנתי ומסביר כ-80% וכ-56% מהשונות בהתאמה. הקווים האנכיים מסמנים את שגיאת התקן של הממוצע)



זרימת המוהל היממתית נחלקת לזרימת מוהל בשעות האור = הדיות, המושפע מהתנאים המטאורולוגיים, מזרימת מוהל בשעות החשכה שבאה למלא את הגרעון באוגר המים בצמח שנוצל בשעות היום למטרת הדיות. מכיוון שמערכת אספקת המים לצמח והובלת המים בצמח אינם מסוגלים לעמוד בקצב הוצאת המים, הצמח מנצל מים מהאוגר העצמי, גם מדיות ממשי בשעות הלילה כאשר הגרעון לרוויה באוויר הוא גבוה וזמינות מים

רבה [38, 41]. על סמך ידע ממדידות שבוצעו על ידינו ב*אורן ירושלים* ביער יתיר הערכנו שבממוצע שנתי שטף המים הלֵילי (00:00-06:00 19:) מהווה כ-20%~ מסך השטף היומי (הדיות היומי) שנמדד.

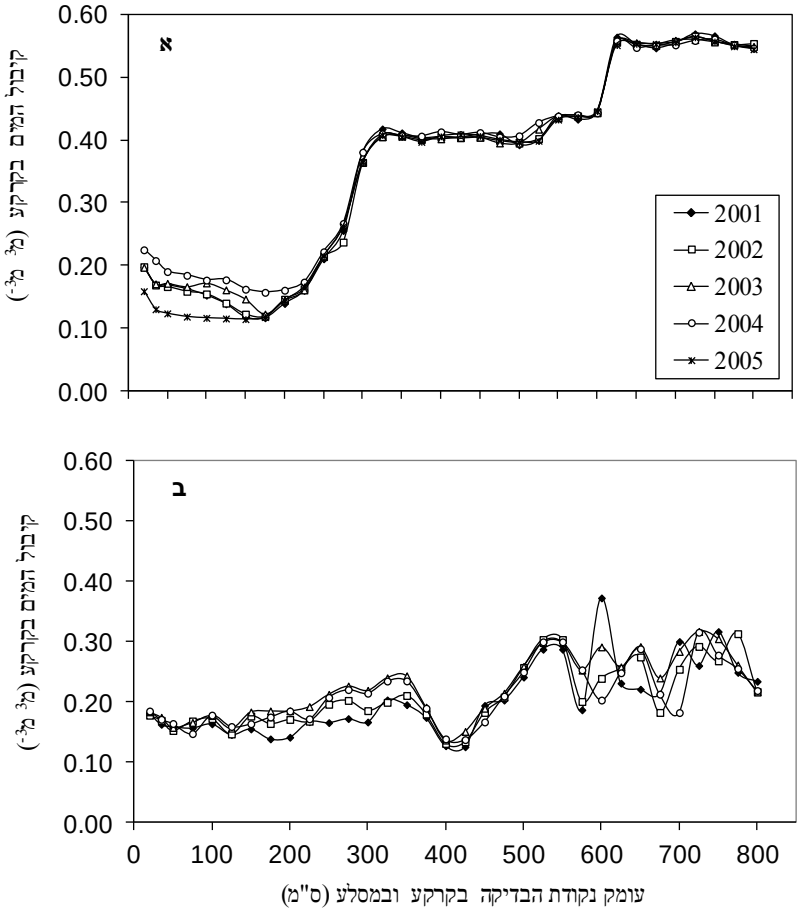
<u>טבלה 9</u>: סיכום הדיות היומי והשנתי לעץ וליחידת שטח יער.

מאפיינים	אלון התבור	אלון מצוי
מספר עצים לדונם	14	
ס"ך כיסוי כותרות		32.4
הדיות הממוצעת בשעות האור (ליטר יום$^{-1}$ עץ$^{-1}$)	67.9 ± 4.9	22.0 ± 1.7
הדיות הממוצעת בשעות האור (מ"מ יום$^{-1}$)	0.95 ± 0.07	0.73 ± 0.05
ס"ך הדיות השנתית בשעות האור (00:00-19:00 6:) (מ"מ שנה $^{-1}$)	244	213
ס"ך הדיות השנתית היממתית (24 שעות) (מ"מ שנה $^{-1}$)	293	256
ס"ך הדיות השנתית היממתית ב-% מכמות הגשמים הממוצעת	51	44

סיכום כמות הדיות בשני סוגי החורשים (טבלה 9) מראה כי הדיות היממתי במשך השנה, של יער *אלון התבור* טיפוסי לאזור המחקר, גבוה כדי- 40~ מ"מ מהדיות היממתי במשך השנה של חורש *אלון מצוי*. יער *אלון התבור* מנצל בממוצע כ- 51% מכמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת באזור גידולו, שהיא 578 מ"מ, בעוד ש*האלון המצוי* מנצל כ- 44% בלבד. כלומר, שתי תצורות יער/חורש אלו אינן נבדלות משמעותית בתצרוכת המים שלהן ומבחינה זו בלבד אין עדיפות לשימוש ב*אלון התבור* על פני *אלון מצוי* ולהפך.

אלא, שמעבר לשימוש במים בחלקות יער/חורש טיפוסיות לכל מין, שהוא דומה, ולדמיון במהלך השנתי של עוצמת הדיות היומי, קיימים הבדלים באופן ניצול המים שבכל אחד מבתי הגידול ומכאן גם על מאזן המים בחורש/יערדבר שמשפיע על אפשרויות המִמשק היערני. קיבול המים עם העומק בחתך הקרקע-סלע נבדל מאוד בין שני בתי הגידול כפי שמתואר באיור 26. האיור מראה שבבית הגידול של *אלון התבור* קיבול המים בקרקע גדל עם העומק ומגיע עד כדי 0.55 (מ^{3} מ$^{-3}$) בעומק שמעל ל-6 מ', לעומת זאת בבית הגידול של *האלון המצוי* קיבול המים אינו משתנה רבות עם העומק, והא נעה בין 0.15 ו- 0.30 (מ^{3} מ$^{-3}$).

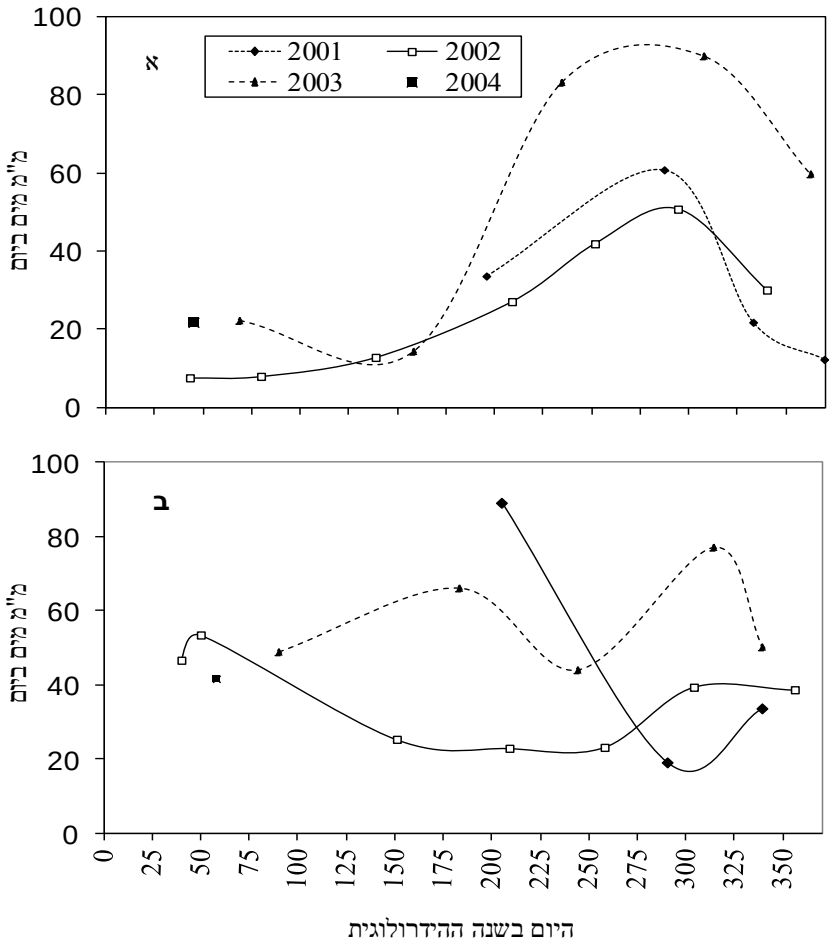
<u>איור 26</u>: קיבול המים בקרקע ובמִסלע עם העומק לקראת סוף עונת הגשמים (פברואר-מרץ) משנת 2001 ועד 2005 **א**. ביער *אלון התבור* **ב**. בחורש *אלון מצוי*.



מהלך עונתי של הוצאת מים מצטברת בין שני תאריכי מדידה עוקבים, מחתך הקרקע-מסלע על ידי צמחיית היער/חורש מתואר באיור 27, שמראה כי בכל אחת משלושת השנים ההידרולוגיות הוצאת המים מחתך הקרקע-מסלע בבית הגידול של *אלון התבור* הייתה נמוכה ביותר בסתיו ובחורף (ימים 150-25), החל מסוף פברואר (יום 150) הוצאת המים המצטברת בין מועדי המדידה גוברת מאוד עד היום ה- 300 (סוף יולי), הוצאת המים מתמעטת מתחילת אוגוסט (אחרי היום ה-300) ועד סוף השנה ההידרולוגית.

השוואה בין המהלך השנתי של הדיות היומי ב*אלון התבור* (איור 25א) עם המהלך העונתי של הוצאת המים המצטברת, בין מועדי המדידות, מחתך הקרקע שבבית הגידול של *אלון* זה (איור 27א), מראה על דמיון ביניהם. לעומת זאת, אין התאמה רבה בין המהלך העונתי של הדיות היומי ב*אלון מצוי* (איור 25ב) עם המהלך העונתי של הוצאת המים המצטברת בין מועדי המדידות, מתוך חתך הקרקע-מסלע בבית הגידול של חורש *אלון מצוי* (איור 27ב).

<u>איור 27</u> : הפחתת המים בקרקע ובמסלע במשך השנה ההידרולוגית.
א. *ביער אלון התבור*. **ב**. *חורש אלון מצוי*.



הערכה של סך כמות המים (מ״מ שנה$^{-1}$) שהוצאו משכבות הקרקע-מסלע בשנים 2001-2003 בשני בתי הגידול השונים נתונה בטבלה 10, המראה כי אין הבדל משמעותי בכמות המים אשר הוצאה משכבות הקרקע והסלע בשני בתי הגידול.

<u>טבלה 10</u> : סך כמויות המים (מ״מ שנה$^{-1}$) שהוצאו משכבות הקרקע-מסלע בשנים 2001-2003 בשני בתי הגידול השונים

השנה	בית הגידול	
	אלון התבור	אלון מצוי
2001	155	242
2002	189	197
2003	270	270
ממוצע	205 ± 59	236 ± 37

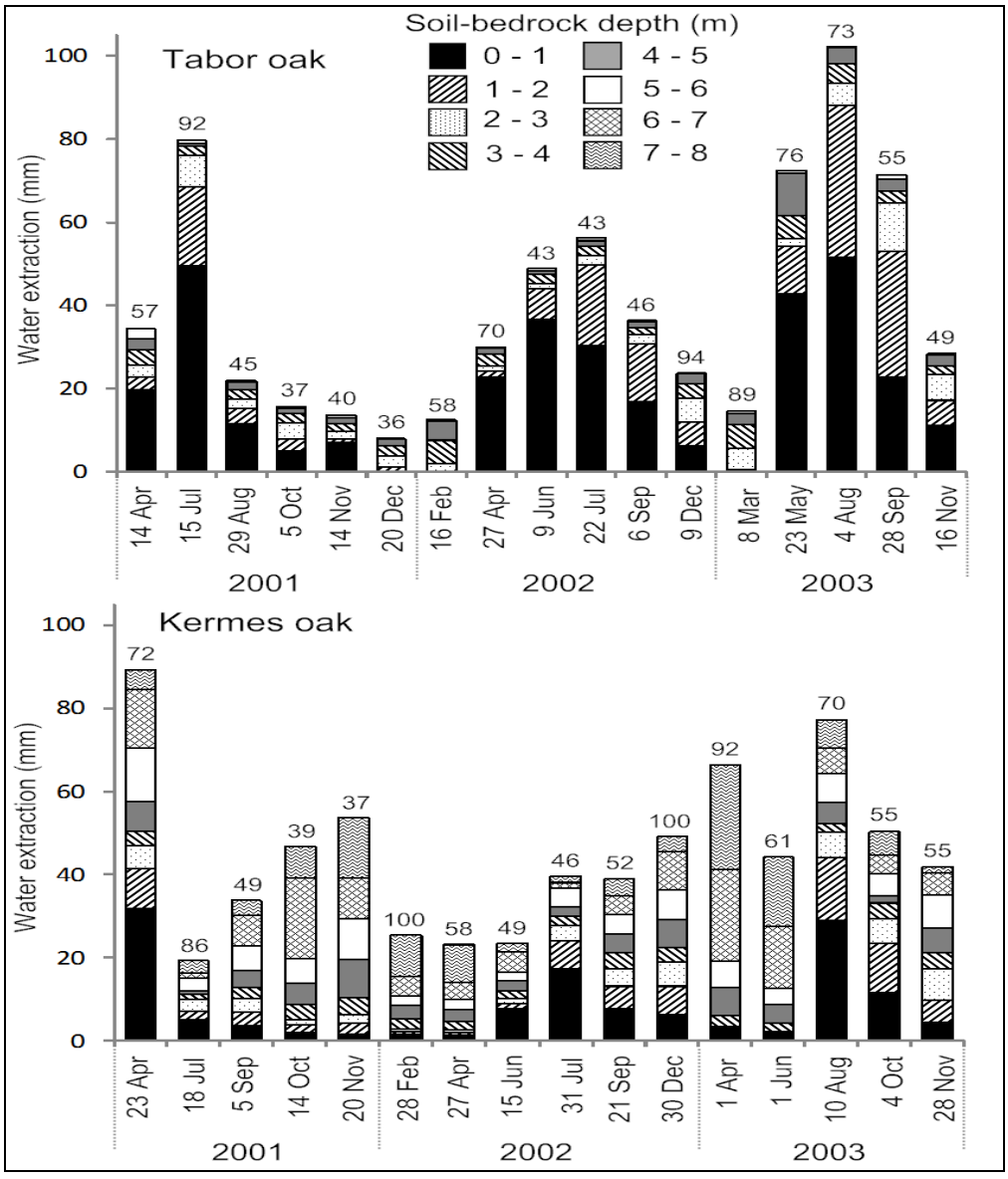
בדיקות קיבול המים בחתך קרקע-מסלע הראו כי קיים הבדל ניכר בין שני בתי הגידול בהוצאת המים מעומקים שונים בחתך הקרקע-מסלע עד עומק של שמונה מטר. נמצא (איור 28) כי בבית הגידול של *אלון התבור* עיקר כמות המים הוצאה משכבות הקרקע והמסלע עד עומק של 3 מטר, כמויות מים נמוכות בהרבה הוצאו משכבות נוספות עד עומק חמישה מטר. לעומת זאת, בבית הגידול של *האלון המצוי* הוצאו המים מכל שכבות הקרקע עד עומק של שמונה מטר במידה אחידה למדי. תופעה זו מצביעה על הבדלים ניכרים בתכונות המסלע מצד אחד והבדלים במורפולוגיה של מערכות השורשים מצד שני [5, 6]. באזורים סלעיים כדוגמת הגליל התחתון, הגליל העליון, הגולן והכרמל, *אלון התבור* מתבסס וגדל במקומות בהם מתהווים חללים המלאים בקרקע בשכבת הסלע העליונה. שורשי *אלון התבור* מתרכזים באזור המגע שבין הקרקע והמסלע על פני הדפנות הפנימיים של החללים, אך אינם חודרים לתוך המסלע. ביער *אלון התבור* באזור היישוב אלון הגליל המסלע הוא גיר חווארי נקבובי מאוד המהווה בית קיבול גדול יחסית למים, ממוצע המוליכות הידראולית שלו הוא כ-0.6 מ״מ יום$^{-1}$, המאפשר בכך זרימת מים בנימי הסלע בתגובה לפוטנציאל מטריצי, ממרחק של שניים עד שלושה מטר ויותר בכיוון אנכי ואופקי אל כיסי הקרקע המתייבשים. תנועות מים אלו קשות למדידה במפזר ניוטרונים, תופעה אשר עשויה להסביר את ההבדלים בין הדיות השנתי הממוצע לשנים 2001-2003, שהוערכה בכ-293 מ״מ לעומת הוצאת מים ממוצעת באותה תקופת זמן שהוערכה בכ-205 מ״מ, כלומר הפרש של 88 מ״מ. לעומת זאת, בתי הגידול של *האלון המצוי* בכלל ובשמורת הטבע שימרון בפרט מאופיינים בסלע גירי סדוק, המאפשר חלחול מהיר של מי הגשמים לשכבות עמוקות. *האלון המצוי* התאים את עצמו לתנאים אלו על ידי פיתוח מערכת שורשים המתפשטת לעומק באמצעות הנימים, הסדקים והחללים בסלע, הם באים במגע ישיר עם המים המחלחלים לעומק [6], בדומה לאופן הפעולה של *אלון קוקציפרה [75, 76]*.

בפרפראזה ניתן להגיד: ״*אלון התבור* מחכה למים שיגיעו לשורשיו המרוכזים בכיסי הקרקע בעזרת זרימה נימית במסלע העוטף את כיסי הקרקע, בעוד ש*האלון המצוי* רודף אחרי המים למעמקים״.

ההבדלים הניכרים בין שני מיני *האלון* הנ״ל במבנה מערכת השורשים וביחסים בינה לבין מערכת קרקע-מסלע, הם בעלי חשיבות מִמשקית בכל אזורי גדילתם אל מול זמינות המים בבית הגידול. בגליל התחתון, בתנאי האקלים הנוכחיים של בין 500-600 מ״מ גשם בשנה בממוצע רב-שנתי, זמינות המים בקרקע ובמסלע בכל בית גידול מספיקה ליער

פארק הנשלט על ידי *אלון התבו*ר וחורש *אלון מצוי* במִבנה היערני הנוכחי. בעוד שמספר העצים המפותחים ביער *אלון התבור* הוא פועל יוצא בעיקר של צפיפות כיסי קרקע עמוקים במסלע, הרי שמספרם של עצי ה*אלון המצוי* ועצים ממינים אחרים קשור ברמת הסידוק של המסלע. ולכן, ביער *אלון התבור* פעילות יעראית (דילול) לא תשפר את מאזן המים של העץ הבודד. לעומת זאת, בחורש של *אלון מצוי* דילול של נצרים בכל בית שורשים והשארת הגזע המפותח ביותר, כלומר, הקטנת שטח העלווה המדייתת, תקטין את האינטרספציה ותגדיל את כמות האור והמים לגזעים הנותרים [85].

<u>איור 28</u>: כמות המים שהוצאה (מ״מ) בין מועדי המדידות העוקבות, במשך שלוש שנות המדידה, מאופקים של 1 מ׳ עובי בחתך הקרקע וסלע: א. ביער *אלון התבור* ב. מחורש של *אלון מצוי*.



שנות בצורת קשה, כלומר שנים בהם ירדו פחות מ- 60% מכמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת היוו זרז ואף גורם מכריע להיווצרות נזקים כבדים עד כדי תמותה של עצי *אלון מצוי* במקומות שונים במדינה [14]. מכאן, שהפחתה בכמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת, כתוצאה משינויי אקלים [15, 34, 47], עשויה להשפיע על כיסוי הצומח [71, 72]. במצב שכזה ביער פארק של *אלון התבור* מַמשק יערני אינו יכול לתרום לשינוי החלוקה של מי הגשמים לכיסי הקרקע בהם גדלים העצים ולזמינותם לעצים [33], מצד שני, בחורש של *אלון מצוי* ניתן לבצע פעילות ממשקית בשני כיוונים: **האחד**, דילול במידה שיחזיר את שיווי המשקל בין זמינות המים בקרקע ובמסלע לבין האבפוטרנספירציה של בית הגידול [77]. דילול שכזה ישנה את המבנה השיחי מרובה הגזעים למבנה חד גִזעי בכל בית שורשים [8, 29]. **השני**, רעייה רבה על מנת להקטין את שטח העלווה המדייתת [93].

4.8 בר-זית בינוני (*Phillyrea latifolia* L)

(מהלך יממתי של הדיות במשך השנה ההידרולוגית בהשפעת המסלע)

הסוג *בר-זית* נפוץ ביערות של מינים רחבי-עלים ואחרים באזורים בהם שורר אקלים ים-תיכוני. *בר-זית בינוני* גדל בארץ בחבל הים-תיכוני. בדרך כלל הוא צמח מלווה בחברת *האלון המצוי* ו*האלה הארץ-ישראלית* [99]. צורת הצמח היא שיחית או של עץ נמוך קומה. מחקרים הוכיחו כי *בר-זית בינוני* הוא בעל יכולת של הגדלת פוטנציאל המוהל בתאים והגדלת מערכת השורשים. יכולת זו מאפשרת לו התחמקות מההשפעות של מיעוט המים בבית גידולו, על כן הוא נחשב כמין סביל יחסית ליובש (Drought tolerant) וכמין המתחמק מיובש (Drought avoiding) [66, 68,69]. בעקבות התופעות של מיעוט גשמים (בצורת) באזורים ים-תיכוניים שונים, והחששות לשינוי אקלימי באגן הים התיכון [47], בוצעו מחקרים על העמידות של מיני צמחים לתופעה של מיעוט זמינות המים בקרקע, והאפשרויות של שינויים במִבנה חברות הצומח. נעשו השוואות בין *אלון אילקס*, *קטלב אונדו* ו*בר-זית בינוני*, הגדלים באותו בית גידול בספרד, בתגובתם ליובש במדדים פיזיולוגיים שונים [59]. נִמצא כי לעומת הדיות בעת זמינות מים רבה בקרקע, הרי שבשיא הגרעון של המים בקרקע *בר-זית בינוני* הפחית מהדיות רק 58%, *אלון אילקס* 87% ו*קטלב אונדו* 74% [59]. נִמצא כי *בר-זית בינוני* מסוגל לשמור על זרימת המים בעצה גם כאשר פוטנציאל המים הנמוך בקרקע כבר אינו מאפשר זרימה בשני המינים האחרים. מחקרים נוספים [58] הוכיחו כי *בר-זית בינוני* הוא אחד המינים העמידים ביותר לקריעת עמוד המים בצינורות ההובלה בעצה כניסת אוויר אליהם ויצירת בועות אוויר. בנוסף, הפחתת זמינות המים בקרקע ב- 15% גרמה להפחתה משמעותית (77%) בצמיחת הרוחב בגזעים של *קטלב אונדו*, ו- 55% בצמיחה של *אלון אילקס*. ב*בר-זית בינוני* לא נִרשמה שום הפחתה בצמיחה בהשוואה לצמיחה בחלקות הביקורת [64].

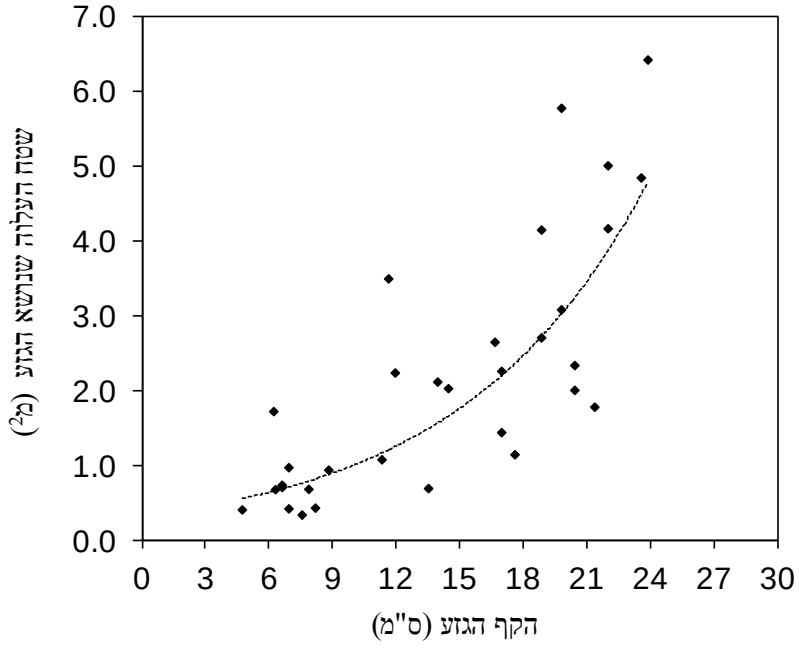
מהבחינה הפיטוסוציאולוגית נִמצא כי *בר-זית בינוני* מחליף את *האלון המצוי* כמין השולט בתנאי בית גידול יובשניים יחסית, שבתחום החבל הים תיכוני בארץ [99]. מצב שכזה קיים בשטחים של רמת הנדיב שבכתף הכרמל, שם מין זה שולט בהרכב הצומח של החורש לעומת מיעוט המופע של *האלון המצוי*. מצב זה הוא היפוכו של המצב בתפוצת שני מינים אלו בכרמל, שמצפון מערב לכביש נחל תות שמוביל מיוקנעם לים, הוא חוצץ בין הכרמל והשומרון. בתחומי רמת הנדיב גדלים שיחי *בר-זית בינוני* במספר בתי גידול

הנִבדלים בתכונות המסלע והקרקע [1, 2, 3, 16 , 84]. לכן נעשו מדידות הדיות בשיחים הגדלים בארבעה בתי גידול שונים שמתוארים בטבלה 11.

טבלה 11: הקרקע והמִסלע בבתי הגידול (החלקות) בהם נִמדדה הדיות ברמת הנדיב.

החלקה	הקרקע	המסלע
א.	טרה רוסה חומה-אדומה	אבן גיר קשה ודולומיט קרסטי, תצורת שונה, תקופת הטורון, תצורה יבשה יחסית.
ב.	טרה רוסה חומה-אדומה	אבן גיר קשה ודולומיט קרסטי, תצורת שונה, תקופת הטורון, תצורה יבשה יחסית.
ג.	טרה רוסה חומה-אדומה ורנדזינה חומה בהירה	אבן גיר קשה ודולומיט קרסטי, תצורת שונה, תקופת הטורון, תצורה יבשה יחסית.
ד.	מעבר בין טרה רוסה חומה אדומה לבין רנדזינה חומה בהירה	מעבר בין חוור וטוף וולקני לדולומיט עם גיר רך של שונית אלמוגים בים רדוד. תצורת זיכרון תקופת הקנומן העליון, תצורה לחה יחסית

איור 29: היחס שבין שטח העלווה (צד אחד) והקף הגזע של שיחי *בר-זית בינוני* ברמת הנדיב



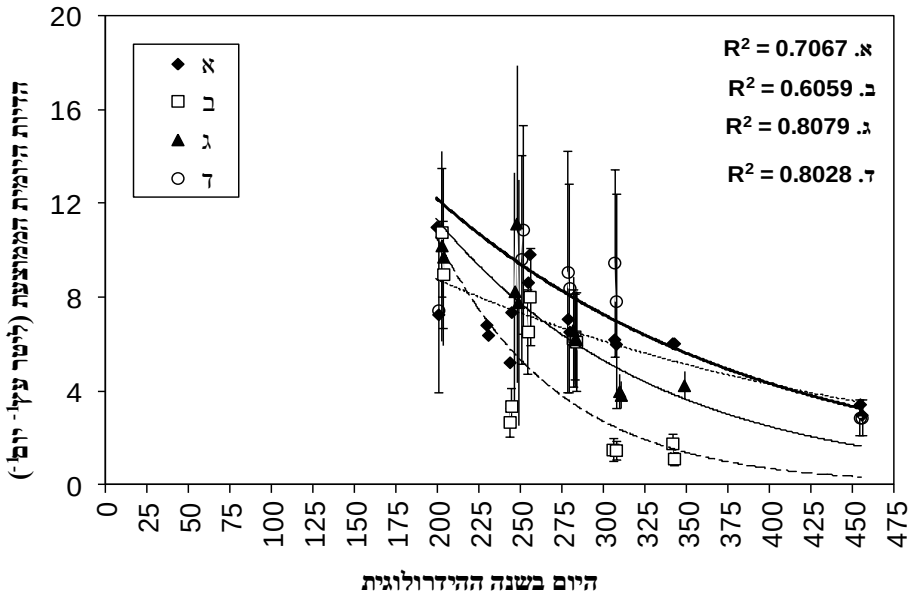
בכל בית גידול נִמדד הקף הגזעים של שיחי *הבר-זית* הגדלים על שטח של כ- 500 מ״ר. בשטח זה ניכרת מִדגם של גזעים אשר מהם הוסרו כל העלים. העלים נִשקלו במצב רטוב ולאחר שיובשו. מתוך העלווה של אחד מהגזעים אשר הוסרה ויובשה, נִלקח מִדגם של 25 גרם לשם קביעת שטח הפנים הממוצע (צד אחד) של העלים. כמו-כן חושב שטח העלווה של כל שיח ונקבע היחס שבין שטח העלווה והקף הגזעים (ראה איור 29). הקשר הסטטיסטי שבין הקף הגזעים (x) לשטח הפנים של העלווה (צד אחד) שנישאת על ידי הגזעים (y) ניתן על ידי הנוסחה

$$y = 0.278 * 10^{0.0519x},\ r = 0.857,\ n=28,\ P< 0.001$$:

על סמך מדידות היקפיי הגזעים נבחרו שמונה גזעים המייצגים את האוכלוסייה של המין הזה בכל בית הגידול. הקף הגזעים הממוצע של 32 שיחי *בר-זית*, שמייצגים את כלל אוכלוסיית מין זה בארבעת בתי הגידול היה 27.1 ס״מ (±0.71 שגיאת התקן), התפלגות הקף הגזעים בארבעת בתי הגידול השונים היה דומה מאוד וללא הבדל סטטיסטי. בהתאם לנוסחה לעיל שטח העלווה (צד אחד), שנישא על ידי הגזע הממוצע שהיקפו 27.1 ס״מ הוא 8.7 מ^2. שטח הטל הכותרת של שיח עם הקף גזע ממוצע הוא 27.1 ס״מ. כלומר, השטח המכוסה על ידי הצל של כותרת הצמח, כאשר השמש בזניט, היה בממוצע 3.24 מ^2. מהנתונים של שטח העלווה ושטח השלך הכותרת חושב היחס שביניהם. כלומר, ״אינדקס שטח העלווה״ (LAI) שהוא 2.69. כיסוי השטח על ידי הנוף של שיחי *בר-זית בינוני* ברמת הנדיב מוערך ב- 40%, יוצא מכאן ששטח העלווה המדייתת של *בר-זית בינוני* בכל דונם הוא 1,076 מ^2.

בעזרת שיטת פולס החום [35] נִמדד הדיות השעתי במשך היממה, ב- 32 שיחי *בר-זית*, שמונה בכל בית גידול, במשך מספר יממות, בשמונה מקטעי זמן בשנה ההידרולוגית 1993/4. המדידות החלו במחצית אפריל ונמשכו עד סוף דצמבר. כלומר, גלשו לשנה ההידרולוגית הבאה [84]. נימצא כי קיימים הבדלים בין בתי הגידול בכמות הדיות היומית הממוצעת במשך תקופת המדידות וקיימים הבדלים גדולים בתוך כל בית גידול (סטית תקן גדולה של הממוצע). ניתוח שונות (ANOVA) בדק את ההשפעה היחסית שיש לבית הגידול, להיקף הגזעים (העץ), לתאריך המדידה, ולצירוף של [בית הגידול X תאריך המדידה] על הדיות היומית הממוצעת. איור 30 מתאר את המהלך העונתי של הדיות היומי בארבעת בתי הגידול ברמת הנדיב.

איור 30 : מהלך עונתי של הדיות היומי הממוצע של *בר-זית בינוני* בהתאם לארבעת בתי הגידול (הקווים האנכיים מסמלים את שגיאת התקן של הממוצע)



טבלה12 : תוצאות ניתוח שונות של השפעת מדדים שונים על הדיות של *בר-זית בינוני*

המקור לשונות	דרגות החופש (DF)	*F* ratio	Prob. > *F*
בית הגידול	3	4.48	0.0061
העץ (על פי קבוצות הקף הגזע)	22	13.53	0.0000
תאריך מדידת הדיות	1	41.18	0.0000
[בית הגידול X תאריך המדידה]	3	10.99	0.0000

התוצאות שמוצגות בטבלה 12 מראות כי לכל אחד מהמשתנים הייתה השפעה מובהקת על עוצמת הדיות היומי. ההבדלים במהלך השנתי של הדיות היומי הממוצעת (ליטר עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$) בבר-*זית בינוני* בהשפעת בתי הגידול השונים ברמת הנדיב (טבלה 11) ותאריך המדידה נבדקו בעזרת ניתוח שונות (ANOVA and Student's t-test) שתוצאותיו מוגשות בטבלה 13.

טבלה 13: תוצאות ניתוח שונות בין רגרסיות ליניאריות של מהלך הדיות היומי הממוצע בארבעת בתי הגידול השונים של *בר-זית בינוני* ברמת הנדיב בהשפעת בית הגידול ותאריך המדידה.

Prob>T	T ratio	Estimate	Prob > F	F ratio	DF	Source
						Linear fit for Habitat 1.
			0.024	5.344	69	
0.000	7.42	7.213				Intercept
0.024*	-2.31	-0.010				Julian date (Slope)
						Linear fit for Habitat 2.
			0.000	22.997	68	
0.000	7.12	15.115				Intercept
0.000***	-4.80	-0.056				Julian date (Slope)
						Linear fit for Habitat 3.
			0.849	0.037	51	
0.005	2.94	4.276				Intercept
0.849 N.S	-0.19	-0.001				Julian date (Slope)
						Linear fit for Habitat 4.
			0.0949	2.895	52	
0.001	3.61	14.707				Intercept
0.095~	-1.70	-0.032				Julian date (Slope)

* The slop of the regression represents the change in the daily transpiration rate per Julian day ($l.d^{-1}.d^{-1}$).

הסבר לטבלה:

Source = המקור לשונות; linear model = מודל ליניארי; Intercept = חיתוך; Date = תאריך; Linear fit for habitat = רגרסיה לינארית עבור בית גידול; Df = מספר דרגות חופש; F ratio = יחס F של מודל ניתוח השונות; Prob of F = הסתברות של יחס F כאשר ערכים נמוכים מ-0.05 נחשבים כמובהקים; T ratio = יחס T של שני הערכים במודל; Prob>T = הסתברות של יחס T כאשר הערכים .כנ"ל..

טבלה 14: הדיות היומית הממוצעת בכל בית גידול, הדיות ליחידת שטח בכל בית גידול והדיות כאחוז מהמשקעים השנתיים.

בית הגידול	מספר העצים שנימדדו	הדיות היומית הממוצעת ליטר ביום לעץ	הדיות ליחידת שטח מ״מ	הדיות ליחידת שטח כאחוז מהגשם השנתי
א	8	5.11	229.2	38.5
ב	8	5.23	234.5	39.0
ג	8	4.00	179.4	30.0
ד	8	8.15	365.5	61.0
ממוצע	32	5.56	250.0	42.0

התוצאות המובאות בטבלה 13 מאשרות את הקשר ההדוק שבין הדיות היומי הממוצע לבין בית הגידול בשניים מתוך ארבעת בתי הגידול שנבדקו. הדיות היומי הממוצע של שיח *בר-זית* ממוצע בגודלו, בכל אחד מבתי הגידול, במשך עונת המדידה, מובא בטבלה 14. מהטבלה נִראה כי בתי הגידול א ו-ב דומים מאוד במידת הדיות שלהם, בעוד שהדיות בבתי הגידול ג ו-ד שונה במידה רבה מאוד. הדיות היומי הממוצע של השיח הממוצע בשטחי רמת הנדיב (הקף הגזע 27.6 ± 0.71 ס״מ) היא בין 6.64 ו-8.82 ליטר ביום בחודש אפריל. כמות הדיות צומצמה מאוד בסוף הקיץ ל-2.62 ועד 3.36 ליטר ביום. הממוצע השנתי של הדיות היומי הוא 5.56 ליטר ביום. מכאן, שבשנה ההידרולוגית 1993/4 הדיות השנתי (365 ימים) מסתכם ב-2,029.4 ליטר.

הערכת הדיות השנתי ליחידת שטח של 1,000 מ^2 בה גדלים שיחי *בר-זית בינוני*, שהשלך הכותרות שלהם מכסה 40% מהשטח, העלה כי עוצמת הדיות משתנה בין 179.4 ועד 365.5 מ״מ בהתאם לסוג (לאיכות) בית הגידול. הממוצע הכללי של הדיות השנתית מכל בתי הגידול הוא 250 מ״מ, המהווים כ- 40% מכמות הגשמים באותה שנה שהייתה 640.5 מ״מ.

במחקרים יעראיים שנעשו בשנות השבעים באזורים ים-תיכוניים נִמצא כי ביערות בהם עומק הקרקע פחות מ-0.60 מ׳, וכמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת אינה מגיעה לכדי 600 ~ מ״מ, זמינות המים היא הגורם המכריע בהשפעתו על גדילת העצים והתפתחות היער [56, 97, 100]. הקרקע הרדודה באזורים ההרריים של ישראל, אשר מתייבשת מהר עם תום עונת הגשמים, מחייבת את הצומח להחדיר את שורשיו לסדקים בתוך הסלע כדי לקלוט מים שיבטיחו את הקיום [68a, 68b]. גם המִבנה הליתולוגי של שכבות הסלע משפיע על אחוז הרטיבות של הסלע [3], דבר המתבטא בצמיחה [28, 80]. טבלה 14 אכן מראה את ההשפעה של ״איכות בית הגידול״ גם על הדיות היומי, כלומר על ההתפתחות של הצומח המעוצה.

4.9 *איקליפטוס המקור* (*Eucalyptus camaldulensis Dehn.*)

(מהלך יממתי של הדיות במשך השנה ההידרולוגית בהשפעת תנאי בית הגידול)

מבין מיני ה*איקליפטוס* הרבים (כ-600 במספר) הגדלים באוסטרליה אוקלם בארץ בשנת 1883 המין *איקליפטוס המקור*, שניטע בחלקה במקווה ישראל [18, 13]. שמו האנגלי של מין זה הוא 'River red gum' שמצביע על כך שהמין גדל על גדות נחלים, נהרות ואגמים, ובשטחים מוצפים עונתית ברחבי אוסטרליה. תפוצתו בתנאים אקולוגיים שונים (קרקע, מסלע, אקלים) מצביעה על כך שמין זה מוגבל בגידולו בעיקר על ידי רטיבות הקרקע [22]. מין זה התפצל לאקוטיפים רבים מאוד הנִבדלים מורפולוגית, בעוצמת הצמיחה וביחסי צמח מים [19, 21, 43, 44, 49, 50, 51, 52]. התכונות השונות של מין זה הובילו עם הזמן לנטיעתו בקנה מידה רחב מאוד באזור השרון, השפלה והעמקים [13], מה שיצר חשש מפני ניצול מי-תהום. חשש זה דִרבן לביצוע מחקרים על מאזן המים של יער *איקליפטוס המקור*.

א. אילנות

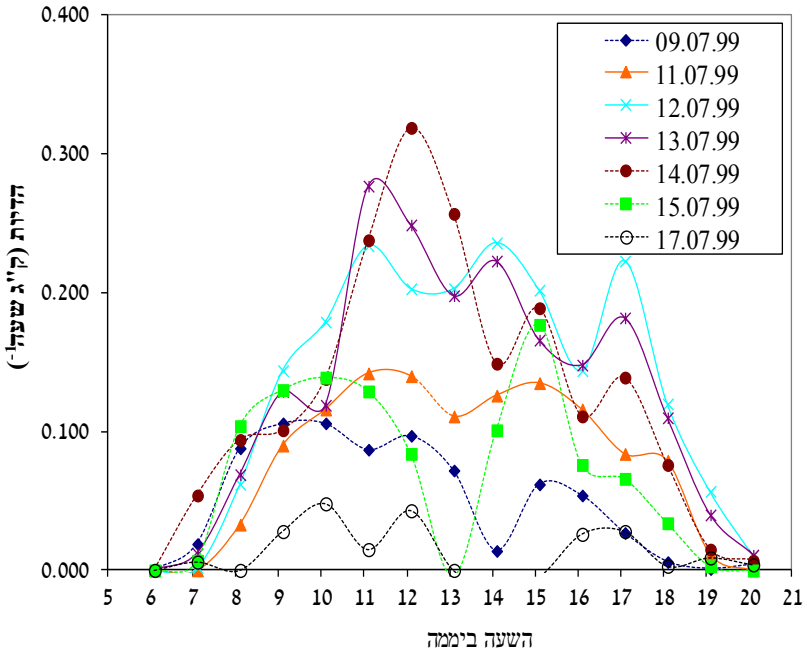
בדיקות של מאזן המים ביער *איקליפטוס המקור* נעשו באזור השרון, ביער שנטוע באדמת חמרה חולית שמעל שכבת נאזז בעומק של כ-1.20 מ', שאינה מאפשרת חלחול לעומק והשורשים אינם חודרים אותה [22]. כמות הגשם הרב-שנתית באזור היא 640.2 מ"מ, וההתאדות מפני מים חופשיים (גיגית מסוג A) היא כ-70±1,531 מ"מ שנה$^{-1}$. בדיקות שנעשו [17, 23, 19] הראו כי:

1. בממוצע רב-שנתי כמות הגשם החודרת את כותרות העצים מהווה כ-80.8% מכמות הגשם הרב-שנתית הממוצעת בשטח הפתוח, שהייתה 640.2 מ"מ.
2. הזרימות לאורך הגזע מהוות 4.5%, האצירה (אינטרספציה) מהווה 14.6% מסך הגשם. כלומר, הממוצע הרב-שנתי הוא 85.3% מכמות הגשם, שהיא 546 מ"מ, החודרת ומגיעה לקרקע היער.
3. האבפוטרנספירציה הרב-שנתית הממוצעת משטח היער היא כ-465.7 מ"מ שהם 72.5% מכמות הגשם הרב-שנתית הממוצעת. או, 85% מכמות המים החודרת לקרקע. נִמצא כי עוצמת האבפוטרנספירציה קשורה ברטיבות הקרקע, שהיא גבוהה בעונת הגשמים ונמוכה יחסית בעונת היובש, הדבר נובע מכך שבתנאי הקרקע של היער בו נערך המחקר אין השורשים מגיעים למפלס מי התהום.
4. נִמצא גם כי בחלוף ארבע שנים ממועד הכריתה של חלקת היער והתחדשותה מנצרים, מאזן המים בחלקה חזר למצבו כפי שהיה לפני הכריתה. בנוסף לכך נִמצא כי היחס שבין האבפוטרנספירציה השנתית של יער *איקליפטוס המקור* בשרון לבין ההתאדות

שנתית מפני מים חופשיים (ET/Eo) הוא 0.01 ± 0.31, בעוד שבעונת החורף היחס הוא 0.83. כלומר, בעונת החורף הדיות של העצים בתוספת האידוי מהקרקע והתת-יער קטנים אך במעט מההתאדות מפני מים חופשיים; בחודשי הקיץ היחס הנ"ל קטן לכדי 0.06 - 0.11.

עוצמת הדיות היומית של תשעה שתילי *איקליפטוס המקור* בני שנה, שגדלו בכלי קיבול של 50 ליטר, נמדדה בחודש יולי על ידי שקילה. גובה השתילים היה כ-1.5 מ' בממוצע, הקף הגזע מעל הקליפה, בגובה של 20 ס"מ מפני הקרקע, היה 15.2±3.6 ס"מ בממוצע, ושטח העלווה היה 1.2±0.2 מ^2 בממוצע. איור 31 מתאר את המהלך היומי של הדיות השעתי בהתאם לכמות המים הזמינים בקרקע שבכלי הקיבול. המדידות החלו ב-09.07.99. ב-11.07.99 בערב השתילים הושקו עד קיבול שדה, למחרת נמשכו המדידות. ההשקיה העלתה את הדיות השעתי אל מעל ל-0.200 ליטר ועד 0.320 ליטר מים בשעות הצהריים. מידת הדיות ירדה מאוד עם ניצול המים בכלי הקיבול לרמה של 0.050~ליטר בשעה ופחות בשעות היום.

<u>איור 31</u>: מהלך יומי של הדיות השעתי של שתילי *איקליפטוס המקור* בהתאם לזמינות המים בכלי הקיבול.

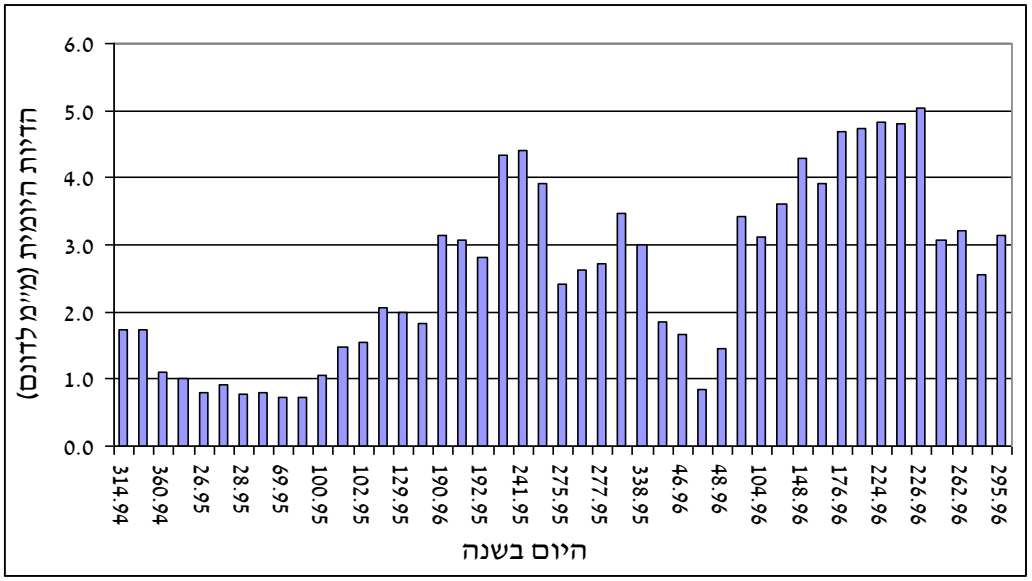


ב. נהלל

הפולקלור מייחס לנטיעות בעבר של *איקליפטוס המקור* באזורי ביצות את ייבושם. *איקליפטוס המקור* ניטע במקומות שונים בארץ כדי לקדם בעיקר שתי מטרות בעת ועונה אחת: יצור מהיר של חומר גלם לתעשיית העץ תוך ניצול מי תהום גבוהים שמסכנים בעיקר את השימוש החקלאי בשטחים עקב המלחה, וניצול מי קולחין מטוהרים ברמה נמוכה כלומר, להשתמש במין זה כ "נקז ביולוגי".

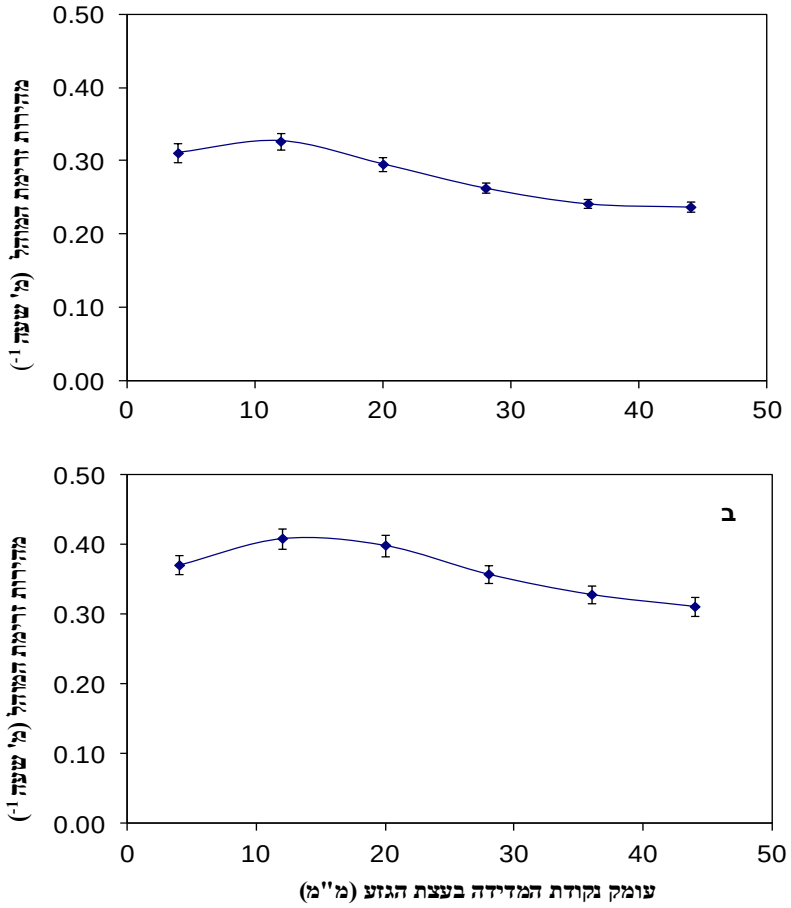
בעקבות בניית מאגרי מים גדולים ורבים והשינויים שחלו בדרכי הניקוז העל-קרקעיים והתת-קרקעיים באזורים שונים בעמק יזרעאל עלה מאוד מפלס מי התהום, חלה המלחה של שטחים חקלאיים עד כדי פסילתם משימוש. נשאלה השאלה האם נטיעה של *איקליפטוס המקור* עשויה לעזור בהורדת מפלס מי התהום ולמנוע את ההמלחה של הקרקעות?. בחלקת יער של *איקליפטוס המקור*, שניטעה לצורכי מחקר בנושא הנ"ל בשדות נהלל, נמדד הדיות של העצים בעזרת שיטת פולס החום [35] מתום השנה השנייה לנטיעה ובמשך יותר משנתיים ברציפות (700 ימי מדידה). גודל החלקה היה 6.5 דונם וגדלו בה 130 עצים בדונם. אינדקס שטח העלווה (LAI) היה 6.6. איור 32 מתאר את מהלך הדיות היומי בחלקה.

<u>איור 32</u>: הדיות היומי של חלקת *איקליפטוס המקור* בנהלל במועדים שונים בתקופת המדידות



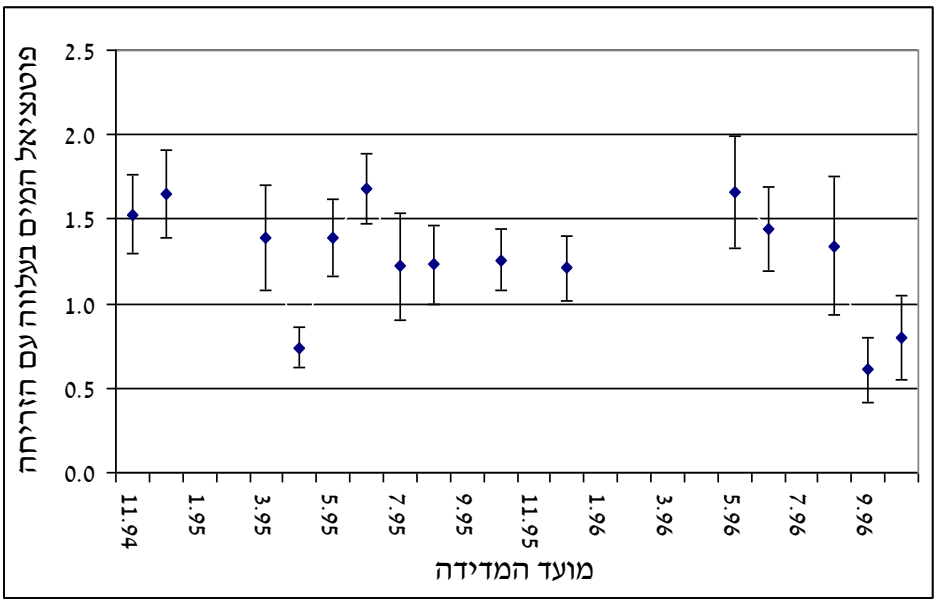
מאיור 32 ניראה כי להוציא תקופות קצרות של דיות נמוך יחסית 1.0> מ״מ יום$^{-1}$ כנראה עקב תנאי האקלים בעונת הגשמים, הרי שהדיות הלך וגבר עם הזמן במקביל לגדילת העצים והגיע לידי 5.0 מ״מ יום$^{-1}$ (שהם כ-38.5 ליטר מים עץ$^{-1}$ יום$^{-1}$) בעצים שגילם 4 שנים. דיות זו התאפשרה על ידי מהירות זרימת המוהל בעומקים השונים בעצת הירך של עצי *איקליפטוס המקור* שגילם 4 שנים. כפי שניראה מאיור 33.

<u>איור 33</u>: מהירות זרימת המים הממוצעת בעומקים שונים בעצה בשמונה עצי *איקליפטוס המקור* **א**. בימים 45-48 בשנת 1996; **ב**. בימים 102-105 בשנת 1996.



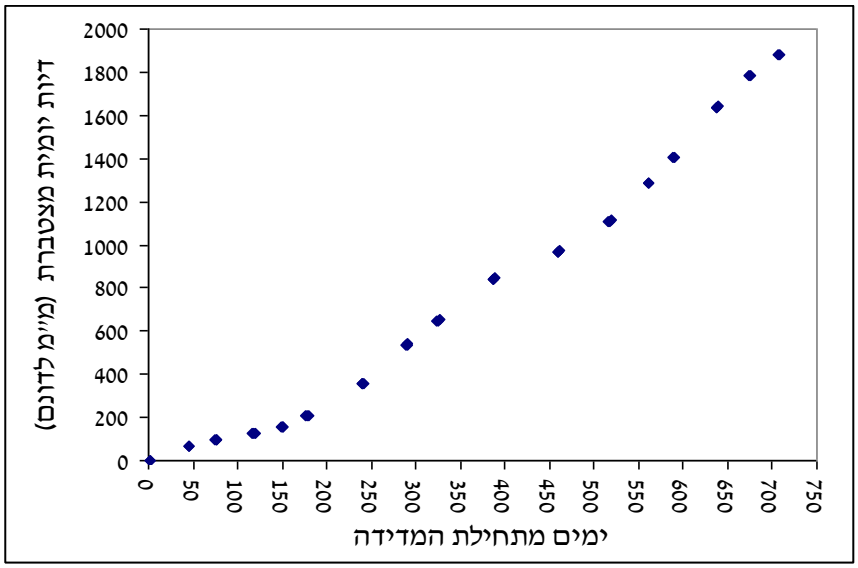
מהאיור נִראה, שלא כמו במיני עצים אחרים, מהירות הזרימה בעומקים של 28, 36 ו-44 מ״מ בתוך עצת הירך בגזע אינה פחותה בהרבה ממהירות בעומקים של 4, 12 ו-20 מ״מ.

<u>איור 34</u>: פוטנציאל המים הממוצע בשעה 10:00 בעלוות עצי *איקליפטוס המקור* שנטועים בנהלל (הקווים האנכיים מסמנים את גודלה של סטיית התקן)



פוטנציאל המים בעלווה בשעות לפני הצהריים, במועדים שונים במשך תקופת המדידות, מתואר באיור 34. הפוטנציאל משתנה בין 0.5 ל-2.0 MPa, כלומר הקרקע לא התייבשה והעצים לא היו נתונים לעקת יובש הגורמת לסגירת פיוניות.

<u>איור 35</u>: מהלך הצטברות הדיות היומי במשך תקופת המדידה



הדיות המצטבר (איור 35) במשך תקופת המדידה היה 1,882 מ״מ לעומת כמות הגשם האפקטיבית (= כמות הגשם בשטח פתוח – פחות אצירת הגשם על ידי כותרות העצים), שנמדדה באותה התקופה שהייתה 950 מ״מ. מכאן שהדיות המצטבר עלה על כמות המשקעים האפקטיבית המצטברת ב-932 מ״מ. כתוצאה מהדיות של העצים בלבד, שעלה על כמות המשקעים, ירד מפלס מי-התהום בתחום החלקה ב-1.20 מ׳ לעומת מפלס מי התהום בשטחים הגובלים בחלקה, בכך נמנעה המלחת פני הקרקע כתוצאה מעלייה נימית של המים והתאדותם על פני השטח.

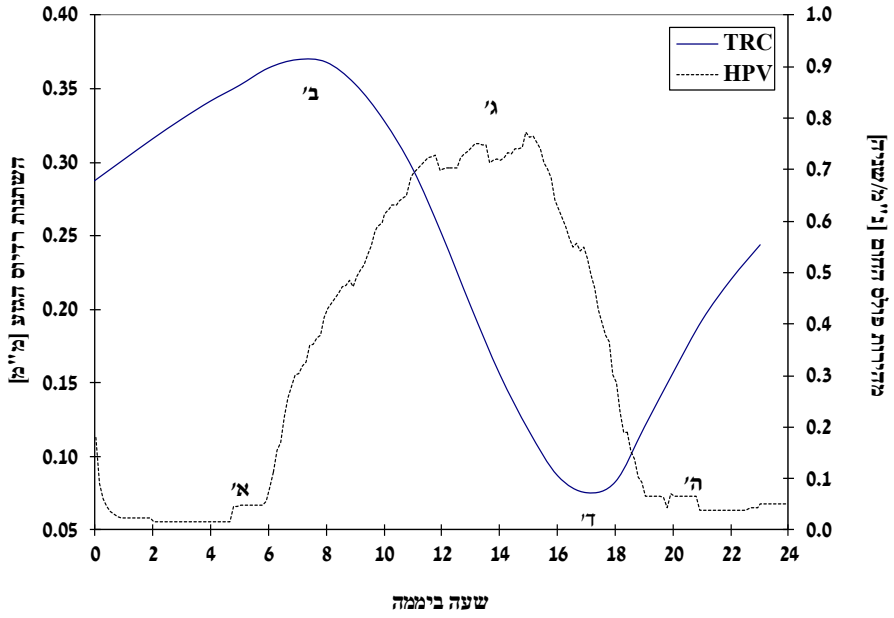
ג. כחל

נבדקה תגובת עצי אקליפטוס המקור להשקאה בלתי סדירה של בית הגידול בעזרת מדידה רציפה של הדיות בשיטת פולס החום [35] ומדידה רציפה של השתנות היקפיי הגזעים בעזרת מדי קוטר מיקרומטרים [10]. המדידות נעשו בחלקה של *איקליפטוס המקור* שנשתלה ליד היישוב כחל באדמת טרה-רוסה רדודה וסלע גירי קשה וסדוק.

היחס שבין עוצמת הדיות (מהירות הזרימה הממוצעת בעצת הירך בגזעים של 11 עצים) לבין התנודה היומית הממוצעת בהיקף גזעים אלו, שנמדדה באחד בספטמבר 1995 ומתואר באיור 36, מהווה דוגמה למהלך יומי בכלל ימי השנה. מהירות הזרימה בגזע בשעות הלילה נמוכה מאוד, היא הלכה וגדלה ממועד הזריחה ועד שעות הצהריים, לאחר מכן היא דעכה עד לשקיעה. לעומת זאת, הקף הגזע גדל במשך הלילה כתוצאה מקליטת מים לשם השלמת האוגר בצמח אשר נוצלו לדיות ביום הקודם. הגזע התחיל להתכווץ בהיקפו בשעות לפני הצהריים כאשר עוצמת הדיות הייתה גבוהה מיכולת האספקה, דבר המאלץ את הצמח להשתמש באוגר המים הפנימי. התכווצות הגזע המשיכה עד שעות הערב אם כי אחרי הצהריים עוצמת הדיות נחלשה מאוד. משעות הערב הגזע מתחיל להתרחב בשנית כתוצאה מאגירת מים למילוי חוזר של האוגר הפנימי בעץ.

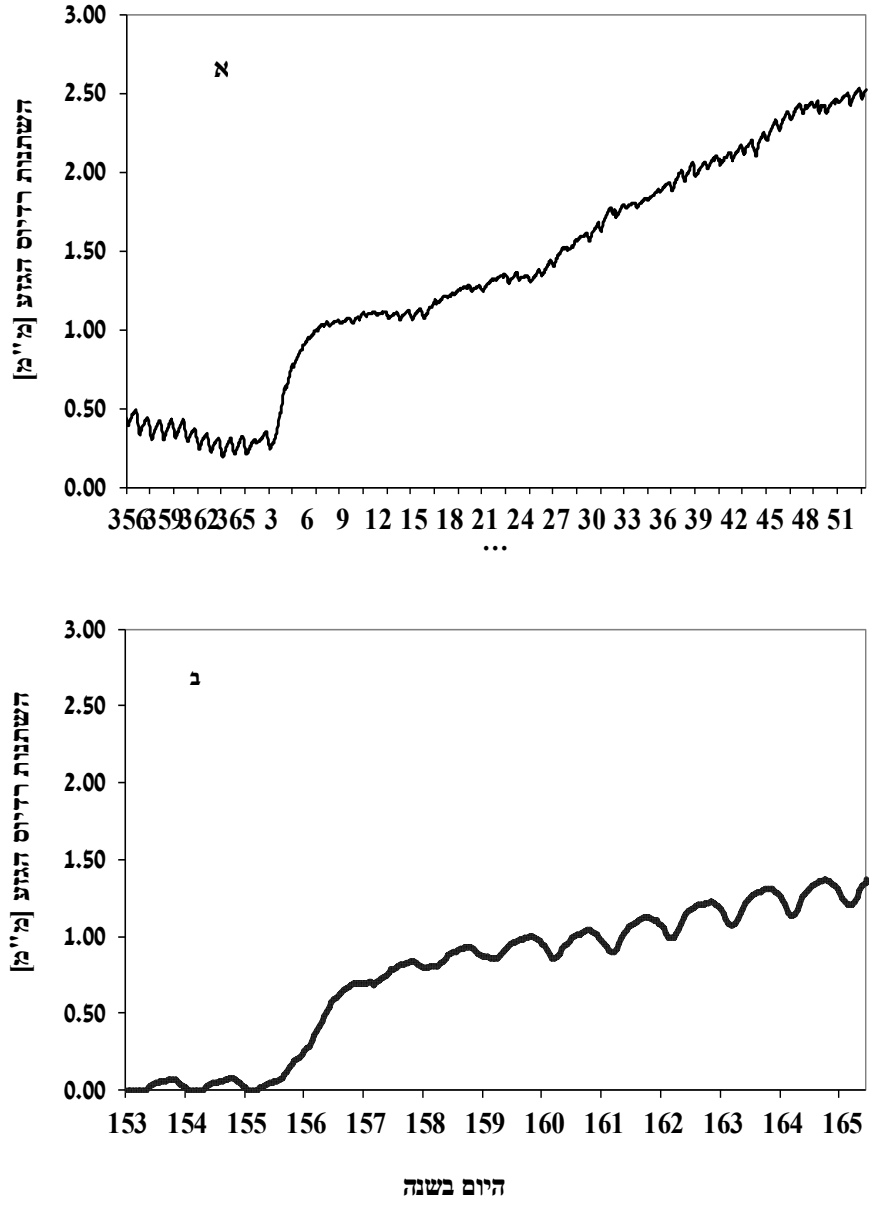
<u>איור 36</u> : היחס שבין מהירות הזרימה בגזע והיקפו במשך שעות היממה.

(TRC = הקף הגזע ; HPV = מהירות הזרימה בגזע).



השפעת הרטבת הקרקע עד קיבול שדה על ידי הגשם בתאריך השלישי בינואר ו/או השפעת השקאה ביום ה- 156 בשנה (החמישי ביוני) על התרחבות הגזע נראית באיור 37. לפני הגשם או ההשקאה השינויים היומיים בהיקף הגזע היו קטנים כי גם הדיות היה מצומצם מאוד עקב הגרעון הגדול במים בקרקע וגם בעצים. לאחר הגשם ו/או ההשקאה הייתה עלייה חדה בהיקף הגזעים כתוצאה ממילוי חוזר של מאגר המים בעצים, ובהמשכה גם עלייה מתמדת מיום ליום בהיקף הגזעים כתוצאה מצמיחה תוך תנודה יומית מודגשת. תוצאות אלו מאששות את מחקרו של קרשון [17] על גדילתו של *איקליפטוס המקור* בהשפעת זמינות המים, שהראה כי תוספת מים בהשקאה גרמה לעלייה עד פי שישה בתוספת הגידול השנתי לעומת הביקורת הבלתי מושקית.

<u>איור 37</u>: השפעת העלייה בזמינות מים בבית הגידול על הִתעבות הגזע לאחר תקופת יובש ארוכה. **א**. לאחר הגשם הראשון בשלישי בינואר ; **ב**. לאחר השקיה עד לקיבול שדה בתחילת הקיץ.



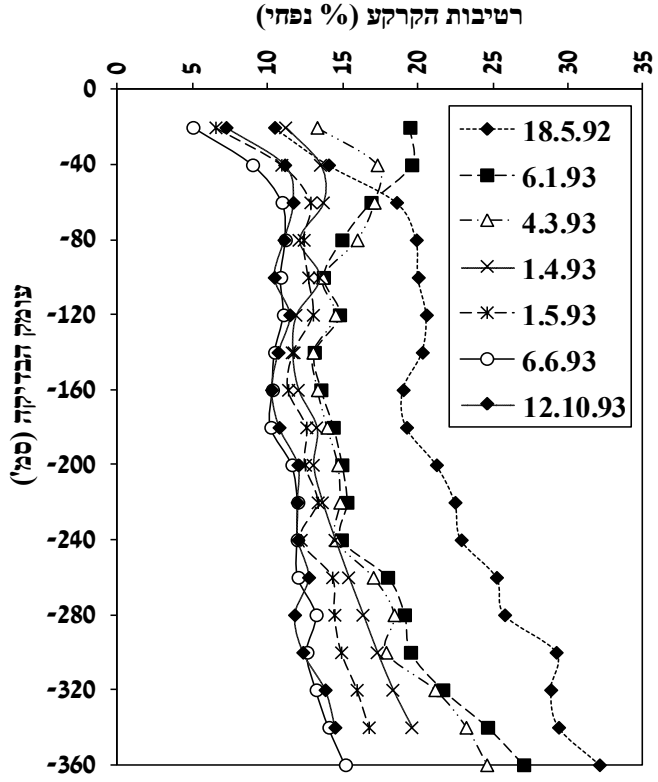
ד. לימון בנגב

נטיעות איקליפטוסים למיניהם התפשטו גם לאזורים יובשניים לשם ייצוב חולות, מניעת התחתרות ערוצים, כמשברי רוח וכחגורה ירוקה סביב ובתוך יישובים ומחנות צבא, נטיעה לאורך הכבישים במדינה לצורכי הסוואת התנועה מפני תצפית ממרחקים ומתן צל. מיני

איקליפטוסים נִטעו במרחבי הנגב גם בחלקות קטנות יחסית, סכורות על ידי סוללות עפר אשר אגמו מי נגר עִלי שהופנו אליהם מתוך הוואדיות שהובילו מים בעת גשמים עזים; הכינוי לחלקות אלו הוא "לימן".

עוצמת הדיות של עצי *איקליפטוס* (*E. populinea*, *E. gomphocephala*, E. *striklandii*), שניטעו בלימן טללים בקִרבה לשדה בוקר נמדדה בעזרת "שיטת פולס החום" [35], כדי לנסות ולאשש את הרעיון של פרופ' אהרון יאיר מהאוניברסיטה העברית בירושלים בדבר זרימות מים תת-קרקעיות על גבי שכבות הסלע, המאפשרות קיום צומח בתנאי אקלים יובשניים בנגב [96]. הבדיקה נעשתה לאחר חורף 1992/3 שהיה שחון, כי ירדו בשדה בוקר הסמוכה רק 57 מ"מ בחמישה אירועים שלא יצרו נגר עִלי וזרימות בוואדי הסמוך, מכאן שגם לא נוצר איגום מים בלימן. כמות המים בעומקים השונים בקרקע לאחר חורף גשום 1991/2 של 169.1 מ"מ ועם התקדמות עונת היובש מתחילת אפריל 1992 ועד ספטמבר 1993, מתוארים באיור 38.

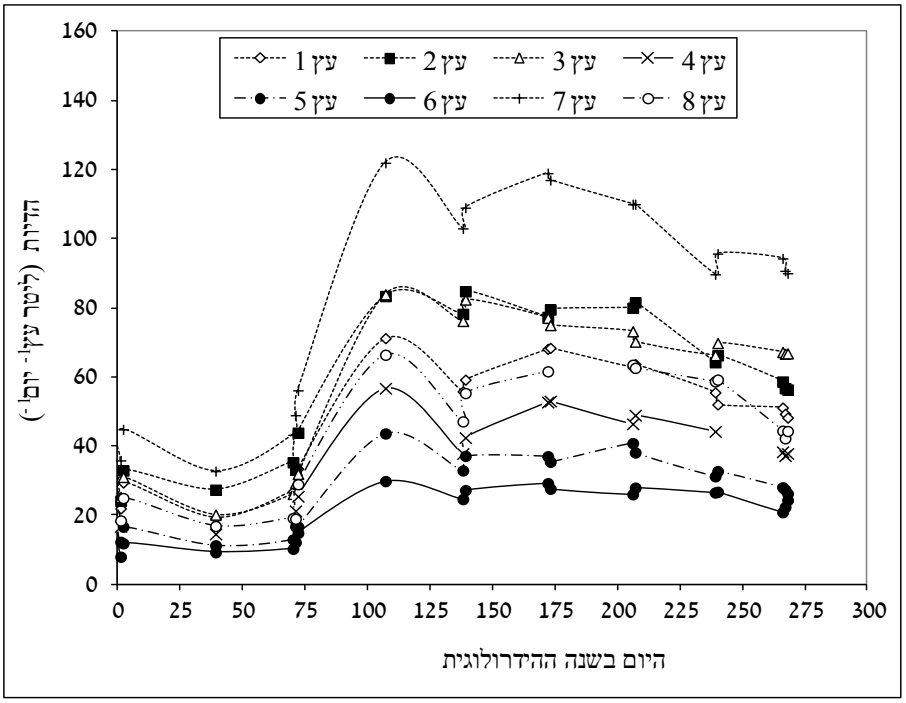
<u>איור 38</u>: כמות המים בקרקע (% נפחי) עם העומק בלימן טללים.



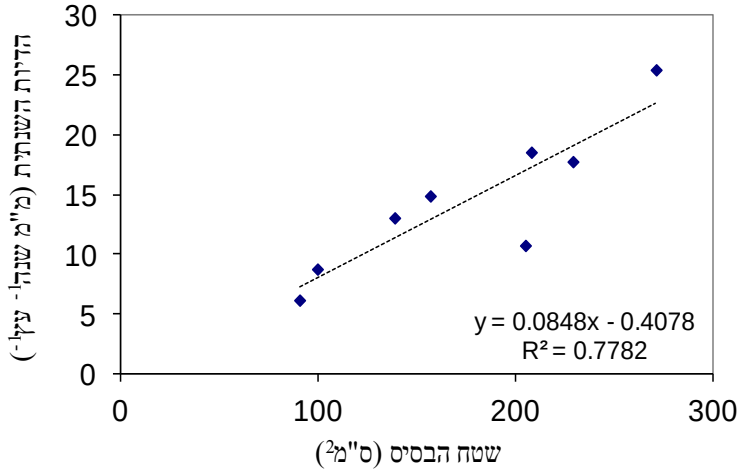
מהאיור נִראה שבספטמבר 1993, כעשרים חודשים לאחר הגשם האחרון שהביא לידי נגר עִלי ואיגום מים בלימן, רטיבות הקרקע שמעל שכבת הסלע, בעומק של 360 ס״מ, הייתה פחותה מ- 15% נפחית.

עוצמת הדיות היומי של שמונת עצי *האיקליפטוס* במועדים שונים במשך השנה מתוארת באיור 39. מהאיור נִראה כי הדיות היה נמוך בחודשים ינואר ועד מחצית מרץ׳ ולא עלה על 45 ליטר עץ$^{-1}$יום$^{-1}$, כנראה עקב תנאי האקלים. הדיות עלה לאחר מכן, במחצית אפריל (היום ה- 100 בשנה) הוא השתנה בין 30 ל-120 ליטר עץ$^{-1}$יום$^{-1}$ בהתאמה לשטח הבסיס של העץ (איור 40). ממועד זה חלה ירידה הדרגתית בעוצמת הדיות היומי עד לסוף תקופת המדידות.

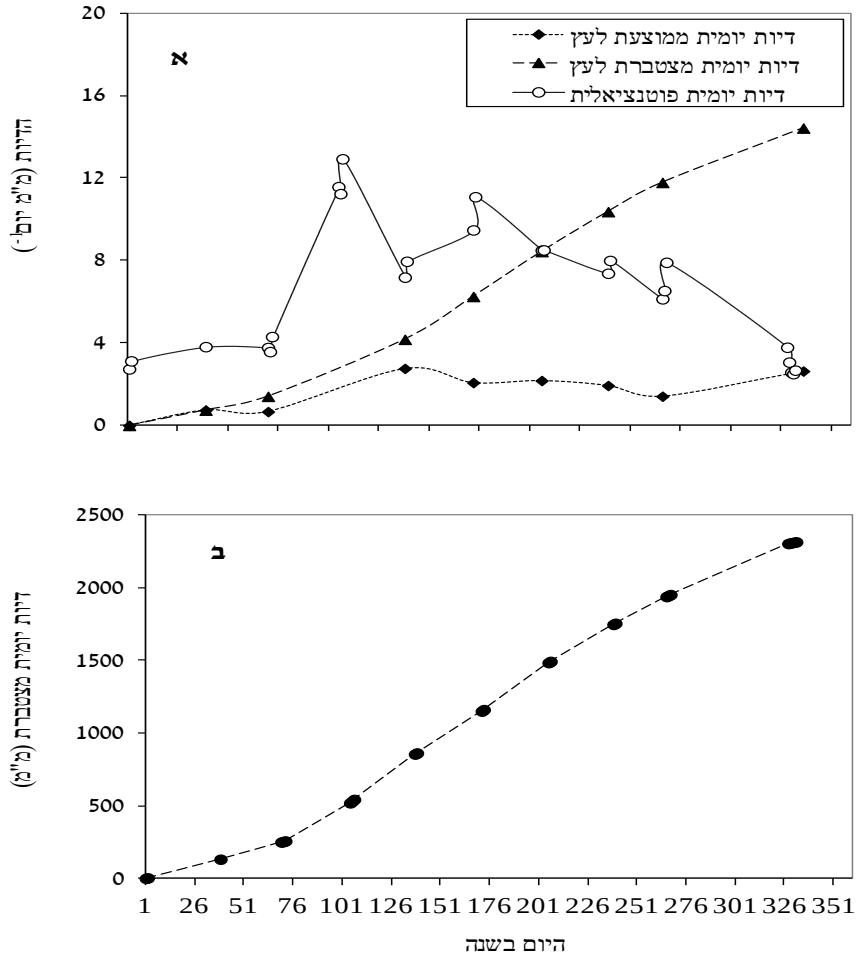
<u>איור 39:</u> מהלך שנתי של הדיות היומי של כל עץ שבו נמדד קצב זרימת המים בגזע.



<u>איור 40</u>: היחס שבין כמות הדיות השנתית לשטח הבסיס של העץ. (שטח הבסיס הוא שטח חתך הרוחב בגזע בגובה 1.30 מ' מפני הקרקע).



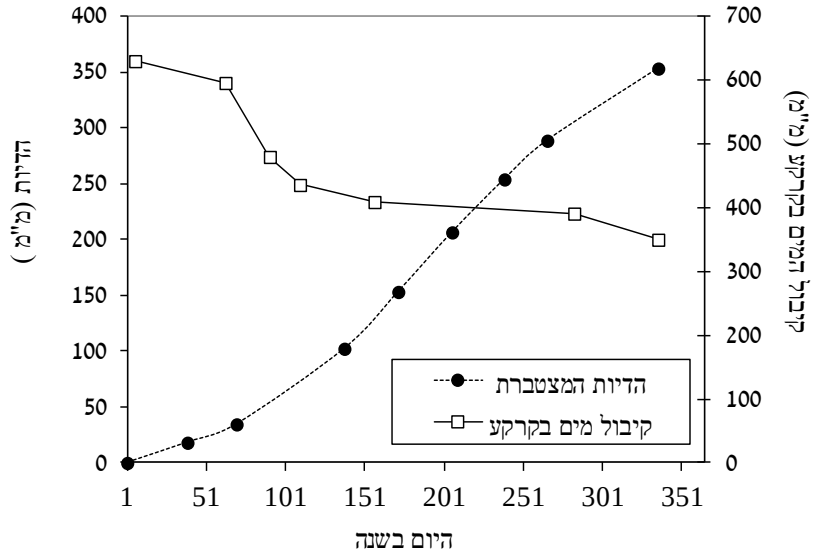
<u>איור 41</u>: **א**. הדיות היומי הממוצע לעץ במשך השנה, הדיות היומי הממוצע המצטבר לעץ, והדיות היומי הפוטנציאלי בלימן טללים; **ב** הדיות היומי הפוטנציאלי המצטבר.



מאיור 41 נִראה כי במשך תקופת מדידות הדיות בשנת 1993, שנעשתה במשך ולאחר חורף שחון ללא נגר עִלי, העצים המשיכו לדיית בין 0.7 ו-3.0 מ״מ ביום בממוצע לעץ. הדיות היומי הממוצע המצטבר לעץ במשך השנה היה 14.42 מ״מ, סך הדיות של 22 העצים בדונם לימן היה כ-321.4~ מ״מ, זאת לעומת כ-2,313.5~ מ״מ אבפוטרנספירציה פוטנציאלית (PET) מצטברת באותה התקופה. כלומר, הדיות של העצים היווה רק כ- 14%~ מההתאדות הפוטנציאלית במקום.

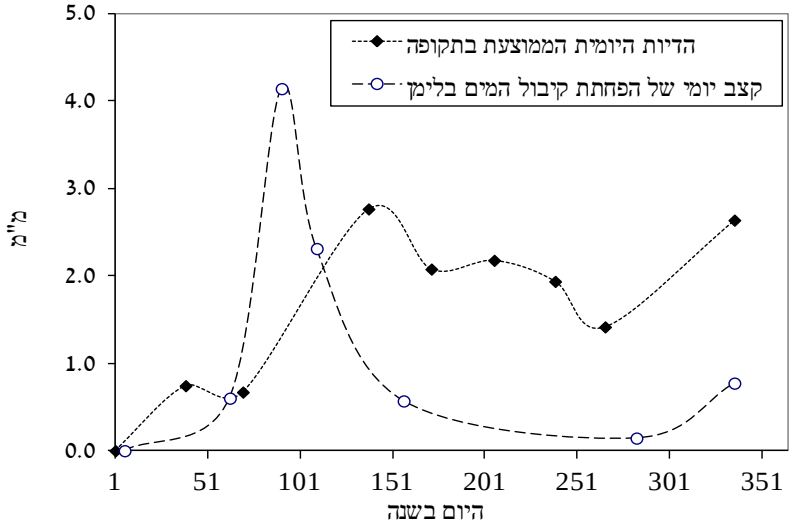
בדיקות של קיבול המים בקרקע הלימן עד לעומק של 3.6 מ׳ שנערכו בשנת 1993, אִפשרו לחשב את השתנות קיבול המים בלימן בעיקר כתוצאה מהדיות של העצים. השתנות קיבול המים בקרקע בהשוואה לכמות הדיות היומי המצטבר מתואר באיור 42.

<u>איור 42</u>: מהלך שנתי של הצטברות הדיות בהשוואה להפחתה בקיבול המים בקרקע.



הדיות המצטבר לדונם היה, כפי שכבר נכתב, 321.4 מ״מ~ בשנה (331 יום), בעוד שהפחתת קיבול המים בלימן באותה התקופה הייתה 239.06 מ״מ~. כלומר, הדיות עלה ב- 82.3 מ״מ~ על הפחתת המים בקרקע הלימן. המקור למים אלו עשוי להיות: **א**. מערכות השורשים של העצים חדרו לסדקים שבסלעים וניצלו מהם מים אגורים. ב. התקיימה זרימת מים על פני שכבת המסלע בקרקעית הלימן שאִפשרה את הדיות ברמה שבין 1.5 ל-3.0 מ״מ ליום במשך הקיץ. על-פי סטיבה [92] שורשי מיני *איקליפטוס* עשויים לחדור לעומק רב מאוד בהתאם לתנאי הקרקע.

<u>איור 43</u>: מהלך השנתי של הדיות היומית הממוצעת וקצב הפחתת קיבול המים כלימן.



ה סיכום כללי:

אומדן הדיות השנתית של מינים שונים בהשפעת אזור הגידול (התנאים האקולוגיים), בהשפעת הדילול, ובהשפעת כמות הגשמים מסוכמים בטבלה 15. מהטבלה ניראה שמידת הדיות משטח יער ביחס לכמות הגשמים קשורה בעיקר:

א. בצפיפות היער (מס' צמחים ליחידת שטח, שטח העלווה) <u>וכמות הגשמים השנתית</u>, כפי שניתן לראות במקרה של אורן ירושלים ביער יתיר ובמקרה של האלון המצוי ברמת הנדיב. ביתיר 60 עצים בדונם דייתו 80% מכמות הגשם השנתית, אך 30 עצים בדונם, בשנה גשומה או יבשה יחסית, לא דייתו מעבר ל-65%. דילול חזק של החורש ברמת הנדיב שעיקרו אלון מצוי הפחית את הדיות לכדי 13% ו-20% מסך הגשם בעוד שהחורש הבלתי מדולל דיית באותה עת 44% ו- 54% מכמות הגשם בהתאמה.

ב. זמינות המים באזור בית השורשים המורכב מקרקע ומסלע, ובתכונות ההידרולוגיות של המסלע. תופעה זו מוצגת בברור עבור בר-זית בינוני ואיקליפטוס. בר-זית גדל ברמת הנדיב בבתי גידול שונים מבחינת הקרקע והמסלע (בר, 1988; קפלן, 1989; בן-חור, 2008) אך כמות גשמים זהה; הוא דיית במידה שונה כתוצאה מהשוני בזמינות המים בבתי בגידול השונים. הבדל גדול במידת הדיות השנתית כתוצאה מהבדלים בזמינות המים בבית הגידול ניראה בסוג אקליפטוס. בחלקה שבעמק יזרעאל בה מפלס מי-התהום גבוה ואין הגבלה בזמינות המים, עוצמת הדיות של איקליפטוס המקור היא פועל יוצא ממגבלות מערכת

ההובלה בעצה, התנאים המטאורולוגיים ושטח הפנים של עלוות העצים; בעוד שבלימן בנגב שבו גדלים שלושה מיני איקליפטוס המגבלות בדיות הם תוצאה של זמינות המים הנמוכה בקרקע. הנתונים בטבלה זו וגם באיור 4 ו-8 ובטבלה 5 ו-6 בתת הפרק על הדיות של אורן ירושלים מדגישים את החשיבות המוחלטת של ממשק יערני שלוקח בחשבון:

1. את התנאים האקולוגיים (קרקע, מסלע, אקלים, טופוגרפיה ועוד),
2. את המין השולט ומידת התפתחותו וצפיפותו ליחידת שטח,
3. השפעת המין השולט על מאזן המים בכל בית גידול שבו אין נגישות למי-תהום;
4. ניצול של מעל ל-65% מכמות הגשם הרב שנתית הממוצעת אינה רצויה, היות ובשנים מועטות גשמים (שחונות) התחרות המתפתחת עשויה לגרום לתמותה רבה ולהתמוטטות היער.
5. היות ויצור עץ למטרות מסחריות אינה מטרת היערנות הישראלית, אלא הקיימות של כלל מרכיבי היער, רצוי מאוד שממשק היער ייקח בחשבון את הצורך במים של צמחית תת-היער שחשיבותה אינה נופלת מחשיבות שכבת היער העליונה.

טבלה 15: סיכום הדיות השנתית של מיני עצי יער שונים באזורי גידולם וביחס לכמות הגשם השנתית.

המין	אזור הגידול	מס' עצים בדונם	ממוצע הקף הגזעים (ס"מ)	סך הגשם השנתי (מ"מ)	סך הדיות השנתית (מ"מ)	ממוצע שנתי של הדיות היומית (מ"מ יום$^{-1}$)	הדיות השנתית מכמות הגשמים השנתית (%)
אורן ירושלים [1]	הכרמל	160	38.4±5.0	486	388	1.1	80
אורן ירושלים [2]	יתיר	60	15.0±4.5	262	210	0.58	80
אורן ירושלים [3]	יתיר	30	16.9±4.8	231	148	0.59	64
אורן ירושלים [3]	יתיר	30	16.9±4.8	374	177	0.62	47
אורן ירושלים [3]	יתיר	30	16.9±4.8	224	134	0.47	60
ברוש מצוי [4]	בית דגן	150	38.0±2.5	393	252	0.72	64
אלון מצוי [5]	הכרמל	240	21.8±12.3	478	358	0.98	75
אלון מצוי [5]	הכרמל	240	21.8±12.3	672	298	0.82	44
אלון מצוי [5]	הכרמל	240	21.8±12.3	430	234	0.64	54
אלון מצוי [6]	גליל תחתון	32	54.2±6.4	578	256	0.95	44
אלון מצוי [5]	הכרמל	47	34.7±4.7	672	87	0.24	13
אלון מצוי [5]	הכרמל	47	36.7±5.5	430	84	0.23	20
אלון התבור [7]	גליל תחתון	14	77.1±10.4	578	239	0.79	41
בר-זית בינוני [8]	הכרמל	123	27.1±1.9	640	229	0.63	38
בר-זית בינוני [8]	הכרמל	123	27.3±4.3	640	234	0.64	39
בר-זית בינוני [8]	הכרמל	123	27.0±5.2	640	179	0.49	30
בר-זית בינוני [8]	הכרמל	123	28.7±5.2	640	365	1.00	61
אקליפטוס המקור [9]	עמק יזרעאל	130		507	986	2.7	194
אקליפטוס [10]	נגב	22			321	0.88	

מקורות:

1. Schiller and Cohn, 1995
2. Schille and Cohen, 1998
3. Schiller et al., 2011
4. Schiller et al., 2004
5. Schiller et al., 2003
6. Schiller et al., 2010
7. Schiller et al., 2007
8. Schiller et al., 2002
9. Zohar and Schiller, 1998
10. Cohen et al., 1997

ספרות, מקור הציטוט

1. בן-חור מ., 2008. התכונות ההידרולוגיות של הסלע המשפיעות על התפתחות הצומח הטבעי ברמת הנדיב. *יער, כתב-עת ליער, חורש וסביבה* **10**, עמ' 25-31.

2. בר י., 1988. הגיאולוגיה של רמת הנדיב. דו"ח מחקר מס' 1. הוצאת החברה להגנת הטבע וקרן יד הנדיב, 44 עמ'.

3. גבירצמן ג., 1960. הדולומיטיזציה של סלעי הקנומן העליון *באזור ירושלים*. עבודת גמר לתואר מוסמך, המחלקה לגיאולוגיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

4. דנין א., 1970. מונוגרפיה פיטוסוציאולוגית-אקולוגית של הנגב הצפוני. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית בירושלים.

5. הר נ., 1998. מסלע וסלע כגורם אקולוגי של תפוצה והתפתחות ביער *אלון התבור* באזור אלונים-שפרעם. עבודה לשם קבלת תואר מוסמך, האוניברסיטה העברית בירושלים..

6. הר נ., 2008. מבנה מערכת הקרקע והסלע והדינמיקה של משק המים בבית הגידול כגורמים אקולוגיים עיקריים בתפוצת *אלון התבור והאלון המצוי* באזור אלונים- מנשה. עבודה לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית בירושלים.

7. הר נ., 2000. גורמים ותהליכים המכוונים את תפוצת חורש *האלון המצוי* בצפון הארץ על סלעי אבן גיר, דולומיט וקרטון מחבורת יהודה ועבדת. נתונים, הנחות ותהליכים מוצעים. המחלקה לקרקע ומים בפקולטה למדעי החקלאות, התזונה ומדעי הסביבה.

8. ווינשטין, א., השפעת דילול וגיזום על התפתחות חורש טבעי של *אלון מצוי* בכרמל. *רותם* **18**, עמ' 82-79.

9. ויץ, י., 1970. היער והייעור בארץ. הוצאת מסדה בע"מ, רמת-גן, ישראל, 622 עמ'.

10. זליגמן ר., עצמון נ., שילר ג., פיין פ. 2002. השתנות רדיוס הגזע *באקליפטוס המקור* בתגובה להשקיה. *יער, כתב-עת ליער, חורש וסביבה* **1**: עמ' 12-7.

11. כהן ע., קפלן, י. שרבני נ., 1966. מאזן המים בחורשת אורנים וצמחיה עשבונית טבעית בפרוזדור ירושלים. *ליערן* **16**: עמ' 58-53.

12. כהן, י., ושילר, ג., 1989. מדידת הדיות באורנים. *השדה*, **כרך ס"ט**, חוברת 8: עמ' 1495-1497.

13. מדור-חיים, י., 1985. מאה שנים של *אקליפטוס*. טבע וארץ (5)27: עמ' 26-22.

14. סבר נ., נאמן ג., 2008. התייבשות והתאוששות של עצי *אלון מצוי* בישראל לאחר רצף שנות בצורת. *יער, כתב-עת ליער, חורש וסביבה* **10**, עמ' 16-10.

15. פז.ש., 2004. מִדבור באגן המזרחי של הים התיכון: הסבר אקלימי להיווצרותו. *עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה;* כתב-עת בין-תחומי בנושאי סביבה ומשאבי טבע "צדק סביבתי". אוניברסיטת חיפה. כרך **ב**, חוברת 2, עמ' 17-7.

16. קפלן 1989 מ., קרקעות רמת הנדיב. דו"ח מחקר מס' 2. הוצאת החברה להגנת הטבע וקרן יד הנדיב, 52 עמ'.

17. קרשון ר., 1960. השפעת מרחקי נטיעה והשפעת ההשקאה על יבולי האיקליפטוסים והקזוארינות. ליערן 10, חוברת 4-1, עמודים 11-9.

18. קרשון ר., 1963. הכנסת *אקליפטוס* לארץ-ישראל. *ליערן* (1)**13**, עמ' 3-5.

19. קרשון ר., 1972. השפעת הכריתה על מאזן המים של *אקליפטוס המקור*. *ליערן* **22**, עמ' 11-2.

20. קרשון ר., 1972. סיכום על ההשתנות האקוטיפית *באקליפטוס המקור*. *ליערן* (3)**22**, עמ' 44-47.

21. קרשון ר., 1977. שינוי קלינלי בתכולת החומר היבש בעלי *אקליפטוס המקור* והקשר שלו לעמידות לכפור. *ליערן* **27**, עמ' 13-8.

22. קרשון ר., ואן-פראג י., 1954. השפעת עומק הנזז על גידול *אקליפטוס המקור*. *ליערן* **4**, עמ' 17-14.

23. קרשון ר. וחת ד., 1963. מאזן המים בחורשת *אקליפטוס המקור*. *ליערן* **17**, עמ' 19-2.

24. קולטון י., 1973. הגיאולוגיה של אזור חברון. תיכנון המים לישראל, תל-אביב.

25. רוזנצוויג ד., 1977. מודל לחישוב מאזן המים באגן היקוות קרסטי בהתאם להרכב הצומח שלו ובחינתו באגן כברי. פרסום מקדים מס' 6, משרד החקלאות, האגף לשימור הקרקע והניקוז, 31תל אביב, עמודים.

26. שחורי ע., 1966. אבפוטרנספירציה בשטחי חורש, אורן ומרעה באזור קרסטי בכרמל., דו"ח מחקר מס' P-15. משרד החקלאות, האגף לשימור קרקע, תל-אביב (תקציר בשפה האנגלית).

27. שילר ג., 1978. השפעת גורמי הסביבה על ההתחדשות הטבעית של *אורן ירושלים*. עבודת דוקטור אוניברסיטת תל אביב.

28. שילר ג., 1980. השפעת התשתית הגאולוגית על התפתחות *אורן ירושלים*. *ליערן* **30**, עמ' 5 - 1

29. שילר ג., אונגר ד., כהן י., 2001. ידיעת שיעור הדיות כגורם מכוון בממשק אקוסיסטמה ים-תיכונית - מִקרה רמת הנדיב. *אקולוגיה וסביבה* **6**, עמ' 177-170.

30. שמיר צ., שמידע א. וניברגר מ., 1996. דו"ח מחקר בפרויקט נחל נחש (כרמל). הוגש לידי אגף הייעור של הקק"ל.

31. Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, Th., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, T.T., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J-H., Allard, G., Running, S.W., Semmerci, A. and Cobb, N., 2009. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risksof forests. For. Ecol. Manage. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001.

32. Bellot, J., Escarre, A., 1998. Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest. *Annales des Sciences Forestières* **55**, 847–865.

33. Ben-Gai, T., Bitan, A., Manes, A., Alpert, P., Rubin, S., 1998. Spatial and temporal changes in rainfall frequency distribution patterns in Israel. *Theoretical and Applied Climatology* **61**, 177–190.

34. Cohen, Y., 1994. Thermoelectric methods for measurement of sap flow in plants. *In*: Stenhill, G. (Ed.), Advances in Bioclimatology, Vol. 3, pp. 63-88, Springer, Heidelberg, Germany,.

35. Cohen, Y., Adar, E., Dody, A., Schiller, G., 1997. Underground water use by *Eucalyptus* trees in an arid climate. *Trees***11**, 356-362.

36. Cohen, Y., Cohen, S., Cantuarias-Avilas, T. and Schiller, G., (2008). Variation in the radial gradient of sap velocity in trunks of forest and fruit trees. *Plant and Soil* **305**, 49-59.

37. Dawson, T.E., Burgess, S.S.O., Tu, K.P., Oliveir, R.S., Santiago, L.S., Fisher, J.B., Simonin, K.A. and Ambrose, A.R., 2007. Nighttime transpiration in woody plants from contrasting ecosystems. *Tree Physiol*. **27**, 561-575.

38. Fan, A., Werker, E., and Bass, P., 1986. Wood Anatomy and Identification of Trees and Shrubs from Israel and Adjacent Regions. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, p221.

39. Forestry Department of the FAO, 2010. Global Forest Resources Assessment, Israel. Country report, 52 pp.

40. Fisher, J.B., Baladocchi, D.D., Misson, L., Dawson, E.D. and Goldstein A.H., 2007. What the tower don't see at night: nocturnal sap flow in trees and shrubs at two AmeriFlux sites in California. *Tree Physiol*. **27**, 597-610.

41. Gindel I, 1964. Transpiration of the Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) as a function of environment. *Ecology* **45**, 868-873

42. Grunwald, C. and Karschon, R., 1974. Morphological differences between two populations of Eucalyptus camaldulensis Dehn. From New South Wales. In: Proc. Jt. IUFRO Meetings of WKg Party on Population and Ecological Genetics, Breeding Theory and Progeny Testing pp, 351-354. Dept of Forest Genetics, Royal College of Forestry, Stockholm.

43. Grunwald, C. and Karschon, R., 1982. Leaf xylem water potentials and water saturation deficits as related to seed origin of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. *Aust. For. Res.* **12**, 175-181.

44. Huber, B., 1932. Beobachtung und messung pflanzicher Saftstrome. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 50, 89-109.

45. Huber, B. and Schmidt, E.,1937. Eine Kompensations methode zur thermoelektrischen Messung langsamer Saftströme. Dtsch. Bot. Ges. Ber. 55, 514-529.

46. IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge.

47. Kane J M., Kolb Th E., 2010. Importance of resin ducts in reducing ponderosa pine mortality from bark beetle attack. *Oecologia* **164**, 601-609.

48. Karschon, R., 1967. Ecotypic variation in *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. In: Contribution on *Eucalyptus* in Israel, III, 1967. Forestry Division, The Volcani Institue of Agricultural Research, Ilanot.

50. Karschon, R., 1973. Growth of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. As related to latitude and longitude of seed origin. In: Burly, J. and Nikles, D.G. (Eds.) Tropical Provenances and Progeny Research and International Cooperation pp, 264-274. Commonwealth Forestry Institute, Oxford.

51. Karschon, R., 1974a. Effect of seed origin on coppice regeneration in Eucalyptus camaldulensis Dehn. Silvae Genet. 23, 141-144.

52. Karschon, R., 1974b. The relation of seed origin to growth of Eucalyptus camaldulensis Dehn. In Israel. *Israel J. Agric. Res*. **23**, 159-173.

53. Klein T., Cohen S., Yakir D., 2001. Hydraulic adjustments underlying drought resistance of Pinus halepensisi. *Tree physiology* , doi: 10.1093/treephys/tpr047

54. Kluitenberg, G. J. and Ham, J. M., 2004. Improved theory for calculating sap flow with the heat pulse method. *Agric. For. Meteorol*. **126**, 169-173.

55. Kravka, M., Krejzar, T., Čermák, J., 1999. Water content in stem wood of large pine and spruce trees in natural forests in central Sweden. Agri. and For. Meteo. **98**-99, 555–562.

56. Laatsch, W., 1967. Bezihungen zwischen Standort Ernährungzustand und Wuchsleistung von kiefernauffor stungen in Mittelmeergebiete. *Forstwiss. Centrabl*., **86**, 69-81.

57. Marshall, D.C., 1958. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. Plant Physiol. 33, 85-96.

58. Martinez-Vilalta, J., Prat, E., Oliveras, I., Pinol, J., 2002. Xylem hydraulic properties of roots and srems of nine Mediterranean woody species. Ecophysiology 133, 19-29.

59. Martinez-Vilalta, J., Mangiron, M., Ogaya, R., Sauret, M., Serrano, L., Penuelas, J., Pinol, J., 2003. Sap flow of three co-occurring Mediterranean woody species under varying atmospheric and soil water conditions. Tree Physiology 23, 747-758.

60. Maseyk, K. S., 2006. Ecophysiological and Phenological Aspects of *Pinus halepensis* in an arid-Mediterranean environment. Ph. D. Thesis, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel.

61. Melzack, R.N., Bravdo, B and Riov, J., 1985. The effect of water stress on photosynthesis and related parameters in *Pinus halepensis*. Physiol. Plant. 64: 295-300.

62. Monteith, J. L.;1965. Evaporation and environment. *In*: Fogg G. E. (Ed.) The State and Movement of Water in Living Organisms. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 205-234.

63. Ne'eman G., 1993. Variation in leaf phenology and habit in Quercus ithaburensis, a Mediterranean deciduous tree. J. of Efology 81, 627-634.

64. Ogaya, R., Penuelas, J., Martinez-Vilalta, J., Mangiron, M., 2003. Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest in NE Spain. *For. Ecol. Manage*. **180**, 175-184.

65. Oppenheimer, H., 1932. Zur kenntnis der Hochsommerlichen Wasserbilanz Mediterraner Gehölze. *Dtsch. Bot. Ges. Ber* **50a**, 185-245.

66. Oppenheimer, H.R., 1947. Studies on the water balance of un-irrigated woody plants. *Palestine J. Bot., Rehovot Ser*. **6**, 63-77.

67. Oppenheimer, H.R., 1949. The water turn-over of the Valonea oak. *Palestine J. Bot. Rehovot Ser*. **7**, 171-179.

68. Oppenheimer, H.R., 1953. An experimental study on ecological relationships and water expenses of Mediterranean forest vegetation. *Palestine J. Bot., Rehovot Ser*. **8**, 103-124.

68a. Oppenheimer, H.R., 1955. Pénetration active des racines de buissons Méditerranéens dans les roches calcaires. *Bull. Res. Coun. Israel* **5D**, 219-222.

68b. Oppenheimer, H.R., 1957. Further observations on root penetration into rock and their structure. *Bull. Res. Coun. Israel* **6D**, 18-26.

69. Oppenheimer, H.R., 1963. Zur kenntnis kritischer Wasser Sattigugsdefizite in Blattern und ihrer Bestiming. *Planta* **6D**, 51-69.

70. Oppenheimer, H. R., 1967. Mechanisms of drought resistance in conifers of the Mediterranean zone and the arid west of the USA. Part I: Physiological and Anatomical investigations. Final Report on project No. A10-FS 7, Grant No. FG-Is-119. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agriculture, Rehovot, Israel.

71. Pereira, J.S., Chaves, M.M., 1995. Plant responses to drought under climate change in Mediterranean-type ecosystems. In: Moreno, J.M., Oechel, W.C. (Eds.), Global Change and Mediterranean-type Ecosystems. Ecological Studies, vol. 117. Springer-Verlag Inc., New York, pp. 140–160.

72. Petit, R., Hampe, A., Cheddadi, R., 2005. Climate changes and tree phylogeography in the Mediterranean. *Taxon* **54**, 877–885.

73. Phillips, N.G., Ryan, M.G., Bond, B.J., McDowell, N.G., Hinckley, M. and Cermak, J., 2003. Reliance on stored water increases with tree size in three species in the Pacific Northwest. *Tree Physiol*. **23**, 237-245.

74. Poljakoff, A., 1945. Ecological investigations in Palestine. 1. The water balance of some Mediterranean trees. *Palestine J. Bot. Jerusalem Ser*. **3**, 138-150

75. Rambal, S., 1984. Water balance and pattern of root water uptake by a *Quercus coccifera* L. evergreen scrub. *Oecologia* (Berlin) **62**, 18–25.

76. Rey de Viñas, I.C., San Miguel Ayanz, A., 2000. Biomass of root and shoot systems of *Quercus coccifera* shrublands in Eastern Spain. *Ann. For. Sci*. **57**, 803–810.

77. Rodriguez-Iturbe, I., 2000. Ecohydrology: a hydrological perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resources Research* **36**, 3–9.

78. Rosenzweig, D., 1972. Study of difference in effects of forest and other vegetative covers on water-yield. Research report 33, Soil conservation & drainage division research unit, Agricultural Research Organization, the Volcani Centre,

79. Running, W.S., 1980. Relating plant capacitance to the water relations of *Pinus contorta*. *For. Ecol. Manage*. **2**, 237–252.

80. Schiller, G., 1982. Significance of bedrock as a site factor for Aleppo pine. *For. Ecol. Manag***. 4**, 213-223

81. Schiller, G. and Cohen, Y., 1995. Water regime of a pine forest under a Mediterranean climate. *Agric. For. Meteorol*. 74, 181-193.

82. Schiller, G. and Cohen, Y., 1998. Water balance of *Pinus halepensis* Mill. afforestation in an arid region. *For. Ecol. Manage*. **105**, 121-128.

83. Schiller, G., Korol, L. and Atzmon, N. 2002. *In*: Global, Physiological and Molecular responses to climatic stresses of three Mediterranean conifers. Final report to INCO-DC: International cooperation with Developing Countries; Contract No ERBIC 18CT 970-2000. pp154- 171.

84. Schiller, G., Ungar, E.D., Cohen, Y., 2002. Estimating the water use of sclerophyllous species under east-Mediterranean climate. I. Response of transpiration of *Phillyrea latifolia* L. to site factors. *For. Ecol. Manage*. **170**, 117-126.

85. Schiller, G., Ungar, E.D., Yosef, M., Cohen, S., Cohen, Y., 2003. Estimating water use by sclerophyllous species under East-Mediterranean climate. 2. The transpiration of *Quercus calliprinos* Webb. in response to silvicultural treatments. *For. Ecol. Manage*. **179**, 483–495.

86. Schiller, G., Moshe, Y and Ungar E.D., 2004. Transpiration of *Cupressus sempervirens* L. as influenced by canopy structure. *Israel J. Plant Sci*. **52**, 9-19.

87. Schiller G., Herr N., Shklar G. and Korol L., 2005. Diversity assessment, by means of random amplified DNA, of leaf phenology variation in *Quercus ithaburensis* Decne. *Israel J. of Plant Sci.* **53**, 77-80.

88. Schiller, G., Cohen, S., Ungar, E.D., Yosef, M., Herr, N., 2007. Estimating water use by sclerophyllous species under East-Mediterranean climate. 3. Tabor oak forest sap flow distribution and transpiration. *For. Ecol. Manage.* **179**, 483–495.

89. Schiller, G., Ungar, E.D., Cohen, S., Herr, N., 2010. Water use by Tabor and keremes oaks growing in their respective habitats in the lowoer Galilee region of Israel. *For. Ecol. Manage*. 259, 1018-1024.

90. Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D. and Hemingsen, E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. *Scince* **148**, 339-346.

91. Shachanovich, Y., Berliner, P. and Bar Pua, 2008. Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. *J. Hydrol*. **349**, 168-177.

92. Stibbe, E., 1975. Soil moisture depletion in summer by an Eucalyptus grove in a desert area. *Agro-Ecosys* **2**, 117-126.

93. Tsiouvaras, C.N., 1987. Ecology and management of Kermes oak (*Quercus coccifera* L.) shrublands in Greece: a review. J. Range Manage. 40, 542–546.

94. Waring, R.H., Whitehead, H., Jarvis, P.G., 1979. The contribution of stored water to transpiration in Scots pine. *Plant, Cell and Environ*. **2**, 309–317.

95. Waisel, Y., Liphschitz, N., and Kuller, Z., 1972. Patterns of water movement in trees and shrubs. *Ecology* **53**, 520-523.

96. Yair, A., Adar, E., Geyh, ME. 1993. Processes of groundwater recharge in a small rocky arid watershed. Final report to G.I.F. project No. I-017/87

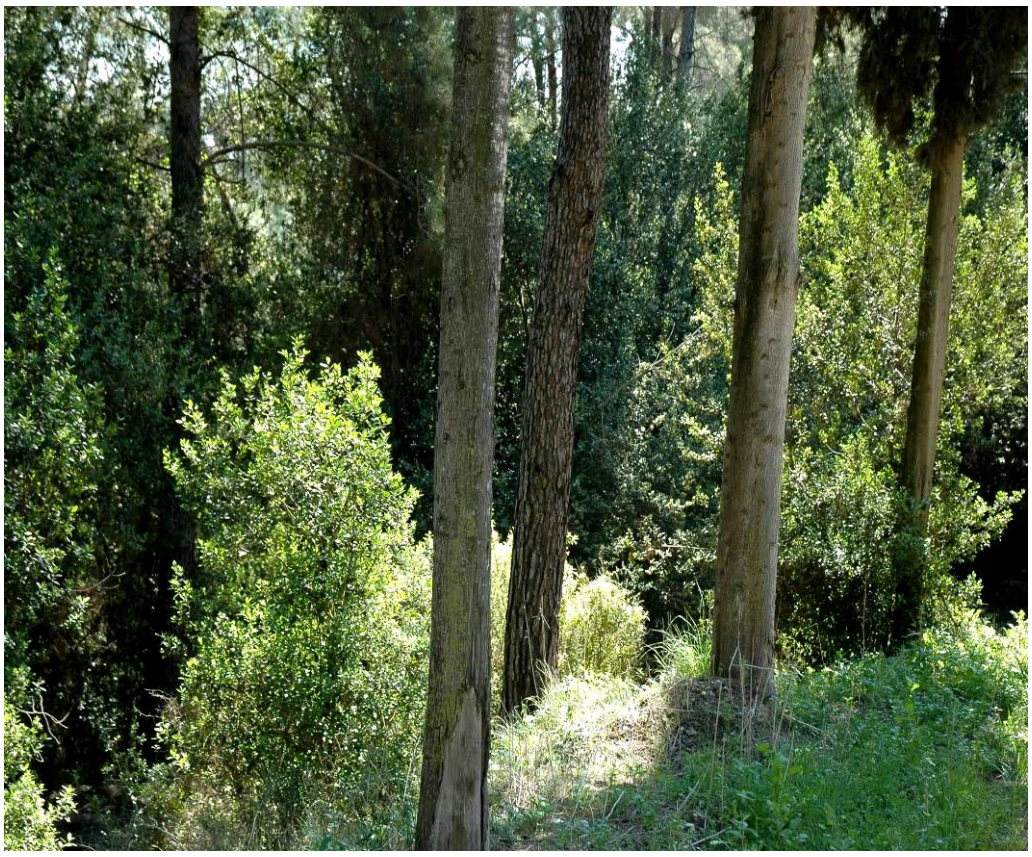
97. Zech, W., Cepel, N., 1970. Beziehungen zwieschen der nutzbaren Wasserkapazitat von Waldböden und dem Höhenwachstum von Pinus brutia. Z. Pflanzenernär. *Bodenkd.***127**, 9-41.

98. Zohar, Y. and Schiller, G., 1998. Growth and water use by selected seed sources of Eucalyptus under high water table and saline conditions. *Agric. Ecosys. Environ*. **69**, 265-277.

99. Zohary, M., 1962. Plant life of Palestine, Israel and Jordan. The Ronald Press Company, New York, 262 pp.

100. Zöttl, H.M., velasco, F., 1966. The state of nutrients and growth of different afforestation of the genus Pinus in Spain. *Ann. Edafol. Agrobiol*. **25**, 249-268.

5.0 יעראות (גידול עצי יער)



5.1 יעראות, כללי:

5.1.1 מבוא, היסטוריה מקומית

ניסיונות ראשונים בייעור (ייעור הוא פעילות של נטיעת עצי סרק בשטחים הפתוחים בצפיפות של בין עשרות למאות פרטים לדונם), נטיעת מטעי עצי פרי ללא השקיה, נעשו על ידי הקק״ל בתחילת המאה העשרים בבן-שמן, חולדה, קריית-ענבים, מעלה-החמישה ועוד. רק מינים אחדים הוכיחו את שרידותם ויכולת התפתחות בתנאים האקולוגיים ששררו בשטחים שניטעו. המינים ששרדו והתפתחו היטב היו: אורן ירושלים- *Pinus halepensis*, זית- *Olea europae* וברוש מצוי- *Cupressus sempervirens*, שהם מינים מקומיים. בנוסף, התפתחו היטב גם מינים שיובאו מחו״ל דוגמת מיני קזוארינה -Cassuarina sp. ומיני איקליפטוס -Eucalyptus sp., שמוצאם מאוסטרליה [14]. בנוסף לאורן ירושלים וברוש מצוי, שניטעו גם על ידי מחלקת היערות של ממשלת המנדט ביער שער הגיא, ביער ואדי קוף, ביער מורדות נצרת ובמקומות נוספים, ניטעו גם מינים מחטניים ורחבי-עלים שמוצאם ממקומות שונים בעולם, אלא שהם לא שרדו או שהתפתחותם הייתה דלה ביותר (דוחות מחלקת היערות של ממשלת המנדט מהשנים 1926-1948). זריעה ישירה ו/או שתילה של אורן הצנובר - *Pinus pinea* ביער בן-שמן, קרית-ענבים ובמקומות אחרים צלחה רק לעִתים רחוקות כתוצאה מתנאי הקרקע והאקלים [14]. זה בניגוד להצלחה מסוימת בייעור עם מין זה שבוצע על ידי הטמפלרים בכרמל, שנעשה למעשה בשטחים שהיו מעובדים קודם לכן. כתוצאה מהשרידות הרבה של אורן ירושלים והתפתחותו המהירה בנטיעות התגבשה ההחלטה להשתמש בעיקר במין זה ובברוש המצוי בנטיעת היערות באזורים הרריים [22].

התכונות שמאפשרות את הישרדות הצומח באזורים היובשניים בעולמינו בכלל, ובאזור הים-תיכוני בפרט, היוו מאז המאה ה-19 ועד היום נושא למחקרים רבים מאוד בתחום הבוטניקה, האקולוגיה והפיזיולוגיה. במשך השנים נעשו מחקרים רבים מאוד בחו״ל ובארץ במין אורן ירושלים כדי להבין את התכונות שמקנות לו עמידות רבה בתנאי היובש [52, 61, 70, 78]. תוצאות המחקרים יצרו תימוכין רבים וחזקים לשימוש הנרחב במין זה בנטיעת יערות חלוץ בארץ. יער חלוץ הוא יער שנוצר או נשתל לאחר אירוע שהרס לחלוטין את כסות הצומח הקודמת, המינים הם מינים עמידים בתנאים האקולוגיים הקשים שנוצרו. צורת יער זו היא ראשונית בתהליך סוקצסיה ארוך, שבסופו נוצרת

ומתקיימת חברת הקבע התואמת לתנאים האקולוגיים בבית הגידול. תימוכין נוספים נמצאו גם במדע האקולוגיה והיערנות כדלקמן:

1. בדיקות פלינולוגיות (בדיקות הימצאותם וכמותם היחסית של גרגירי אבקה של מיני צמחים במשקעי הקרקע בעומקים שונים) בחתכי קרקע שהוצאו מקידוחים יבשתיים וימיים, שנעשו במקומות שונים בארץ, הוכיחו כי אורן ירושלים גדל באזורנו (במזרח אגן הים-התיכון) מקדמת דנא [50, 64, 77, 84], ואינו מין שהובא לארץ בתקופות היסטוריות, כפי שסוברים אחדים [22]. בדיקות גנטיות הצביעו על הקִרבה הגנטית הרבה של אורן ירושלים הגדל באוכלוסיות שרידיות (רליקטים) בארץ (בכרמל, במסרק, ברכס ראש הנקרה, בירכא, בהר מירון, ביער אום צפא, ועוד) לאורן ירושלים הגדל בצפון אפריקה (טוניס). קִרבה זו גדולה יותר מאשר הקִרבה הגנטית לאורן ירושלים הגדל במערב צפון אפריקה (אלג׳יר ומרוקו) ובאירופה [54]. חישובים המבוססים על קצב התרחשות מוטציות ב- DNA הצביעו על כך, שמשך הזמן שחלף מאז נפרדו שני קיבוצים אלו (הצפון-אפריקאי והמזרח ים–תיכוני) והאפשרות לחילופי גנים ביניהם ניקטע (הפריה הדדית או חילופי זרעים) הוא מעל לשמונים אלף שנים [77]. ניתן, על כן, להניח כי אורן ירושלים הגדל בטוניס, התפשט לאזור המזרחי של אגן הים-התיכון בתקופה שבה תנאי האקלים אפשרו התפשטות מיני צמחים לבתי גידול חדשים [45], ואו היפוכו של דבר, על פי Grivet et al.- [47] סמנים גנטיים מרמזים שכיוון ההתפשטות היה ממזרח אגן הים התיכון מערבה

2. מבין מעל ל- 100 מינים בסוג אורן [62] ישנם מינים ״שכובשים״ או ״מתנחלים״ ראשונים בשטחים מופרים בעקבות פגעי טבע, כגון: שריפות, גלישות קרקע ושיטפונות, או בעקבות פעילות אנושית אשר משמידים בחלקו או במלואו את בנק הזרעים של הצמחייה שנפגעה, המרוכז בשכבה העליונה שעל פני הקרקע, שמורכבת בעיקרה מחומר אורגני, וחושפים את הקרקע המינרלים. כלומר, ישנם מיני אורנים שהם חלוצים בטור סוקצסיוני [43, 53], שבאֶלם ובעקבותם יתפתחו מיני עצים (מחטניים אחרים או רחבי עלים) שבשלבים הראשונים להתפתחותם (שלב הזרע והנבט) אינם יכולים להתמודד היטב עם התנאים האקולוגיים בשטח החשוף. הם אינם זקוקים לעוצמות גבוהות של קרינה ישירה כדי להתפתח, דוגמת מיני אלונים. אורן ירושלים הוא מין חלוץ המצליח להפיץ את זרעיו למרחקים, לשרוד, לנבוט ולהתפתח בתנאים קשים ביותר [37, 63].

3. מחקרים פיזיולוגיות והאקופיזיולוגיות באורן ירושלים [2, 65, 66, 68, 69, 70] הסבירו את עמידותו של האורן זה בתנאי בית גידול קשים, כגון: קרקע עם גיר פעיל בריכוז גבוה, יובש בקרקע, ביכולתו של מין זה לגדל ולפתח את שורשיו בסלעי תת-הקרקע, ביכולתו של מין זה לגדול בקרקעות דלות מאוד במינרלים דוגמת אדמות חוליות, ביכולתו של מין זה לווסת את משק המים שלו בעזרת סגירת פיוניות כאשר זמינות המים בקרקע יורדת וכוח התאחיזה שלהם עולה.

4. סיבות אובייקטיביות נוספות עודדו גם הן את השימוש הרב באורן ירושלים, כגון: קלות הריבוי והטיפול בו במשתלות, אשר בשנות ה-20 וה-30 נוהלו בתחילה על ידי אנשים בלתי מנוסים, דוגמת משתלות "משק הפועלות" ברחבי הארץ [35]. היקלטותו ושרידותו לאחר הנטיעה בתנאים היובשניים בארץ באחוזים גבוהים יחסית למינים אחרים, הפכה מין זה למועמד טבעי לייעור בארץ.

5. בנוסף לכך, בדיקות לשם קביעת האיכות של עצת אורן ירושלים הגדל ביערות וניצולה לשימושי נגרות הוכיחו את איכות העצה (ראה הערות מס' 30, 31, 32, אצל ליפשיץ וביגר [22]). תוצאה זו תרמה לחזון של אספקת עץ מיערות הארץ, ועודדה את נטיעתו גם למטרות תפוקת עץ. בדיקות נוספות של איכות חומר הגלם, שנעשו במחלקה לחקר היער של מינהל המחקר החקלאי [20] ובתחנה לחקר הבנייה שבטכניון [31], אישרו בשנית כי עצת אורן זה כלל אינה נופלת באיכותה מזו של עצת אורנים אחרים המיובאת מחו"ל.

השיטות שננקטו בקנה מידה נרחב, מתחילת הנטיעות ועד שנות השבעים, בהכנת השטחים לשם נטיעה של יערות חלוץ, שהמין המחטני העיקרי בהם היה אורן ירושלים, עורר עם הזמן התנגדות רבה בקרב הציבור בטענה של הרס הצומח הטבעי, הרס הנוף, "הקמת מדבריות אורן ירוקים" ועוד [3, 25]. למרות זאת, אורן ירושלים היה ועודנו המין העיקרי בשימוש בייעור הארץ, דבר הנובע מהסיבות שהובהרו בפרק זה, ומכך שבתנאים אקולוגיים מסוימים אין תחליף למין זה.

5.1.2 השפעת מכלול התנאים האקולוגיים בבית הגידול על בחירתמיני העצים לנטיעה

נושא זה כבר נדון בפרק על יערות (האנציקלופדיה לחקלאות כרך ג, עמודים 348-377. הוצאת האנציקלופדיה לחקלאות 1976, תל אביב.) אלא שמאז כתיבתו התחוללו שינוים בהבנת היחסים בין גורמי הסביבה ופעילות האדם שהובילו לשינוים בגישה של ניהול משאבי טבע.

נטיעת יער חלוץ לשם יצירת יער גבה קומה, של עצים בני גזע אחד עבור כל מטרה שהיא, נעשתה ונעשית בארץ בשטחים שבדרך כלל אין בהם צומח מעוצה, או שיש בהם צמחיית גריגה, חורש מנוון ו/או יער קיים אשר אינו מתפתח בהתאם לרצוי למנהלי השטח. הבחירה הנכונה של המין או המינים, עבור בית גידול מסוים קובעת את ההצלחה ביחס למטרות יצירת היער. שגיאה בבחירת המין, והקו הגנטי (האקוטיפ, הגנוטיפ) עשויה לגרום לנזק גדול ובכייה לדורות, כפי שאכן קרה בנטיעות של אורן ירושלים בארץ, כי הכנת השטחים והנטיעה הן פעולות יקרות מאוד, שאינן ניתנות לתיקון באותו אופן שאפשר לתקן שגיאה בחקלאות, דוגמת הצורך בהרכבת זן חדש על כנה במטע כתוצאה משגיאה בבחירת הזן.

כדי להצליח בנטיעות ו/או בחידוש היער פיתחו בארצות יערניות את הגדרת האיכות האקולוגית של בית הגידול גם בעזרת סמנים צֶמחיים. כלומר, נוכחותו או חסרונו של צמח או צמחים מסוימים בשטח שמעידים על תכונותיו האקולוגיות: שטח יובשני או לח, קרקע עשירה או ענייה בחומר אורגני, עשירה או ענייה בזרחן או בחנקן או בכימיקלים אחרים, ועוד. ידע זה מאפשר בחירה אופטימאלית של מין או מינים שיינטעו בהתאם לתנאים האקולוגיים של בית הגידול כדי להשיג את הצימוח והבריאות המיטביים האפשריים. בארץ, מעבר לידע כללי מועט על כך שנוכחות מין מסוים מצביע על בית גידול לח (פטל קדוש, הדס, ער אציל, אגס סורי, מילה וכו') או יובשני יחסית (בר-זית בינוני, אשחר ארץ-ישראלי), או לח ועשיר בגיר פעיל (קטלב), עדיין אין בידינו ידע מספיק על הקשר שבין הנוכחות ואו היעדרות של צמחים מסוימים (בעיקר עשבוניים) מהשטח לבין איכותו כבית הגידול עבור מין זה או אחר (קטלב, עבור אורן ירושלים), שאמור להינטע [1].

באופן כללי, גם לאחר 100 שנות פעילות בניסיונות אִקלום וברירה של מינים שמקורם ברחבי תבל (ראה דוחות אגף הייעור המנדטורי. ראה הספר "איקלום צמחים" של דר' גינדל), עדיין אין בידינו מִגוון רחב של מיני עצי יער מקומיים ומאוקלמים, שבהם אקוטיפים-גנוטיפים המאפשרים בחירה של מין או מינים עבור כל בית גידול נתון. בנוסף לכך, גם המִבחר שבידינו הוא בעייתי מפני שאין לנו הכרות עמוקה עם אופן צמיחת המינים, ובמסגרתם האקוטיפים-הגנוטיפים אשר אמורים לגדול בצורה המיטבית בתנאים האקולוגיים הנתונים בשטח שאמור להינטע, וזאת מטעמים אחדים שהם:

1. יש לנו יערנות צעירה, ובמִקרים רבים הנטיעות הראשונות, כולל חלקות מעקב, עדיין לא הגיעו לסוף המחזור הביולוגי, ולכן לא הגיעה העת לסכם.

2. אין מעקב ואין רישום של הצמיחה והתפתחות של המינים הנטועים, ובמסגרתם האקוטיפ או הגנוטיפ (מקור הזרעים) בבתי הגידול השונים.

3. היערנים מתחלפים לעיתים תכופות בתפקידים והידע שאספו אך לא רשמו אובד כי אינו מועבר לדור הבא באופן מסודר.

4. הקושי הנעוץ בתופעה שבטופוגרפיה הררית או גיבעית התנאים האקולוגיים משתנים תדירות במרחקים אופקיים קטנים יחסית, כתוצאה מהחילופין במסלע ובתכונותיו, בשיפוע שכבות המסלע, כיוון הפניה של המדרון ושיפוע המדרון. תופעות אלו גם משפיעות על תכונות הקרקע. הפיצול הרב של איכויות בתי הגידול על פני מרחבים קטנים יחסית (לדוגמה: הר [9]) מקשה מאוד על ניהול היער מהבחינה האדמיניסטרטיבית, ועל כן קיימת נטייה חזקה להתעלם מחלק מהבדלים אלו למען האחידות ופשטות הביצוע ואין מנצלים אותם כדי לגוון את היער. כלומר, הגדלת מספר המינים וכל הנובע מכך.

5. מחסור גדול ותמידי ביערנים שקיבלו הכשרה אקדמית ובמדענים בתחום היערות.

6. כבר נכתב רבות על כך שאופן ניצול משאבי הצומח בארץ, מזה חמשת אלפים שנה ויותר, גרם עם הזמן לסחף קרקע רחב מימדים, כך שעומק שכבת הקרקע על פני המדרונות בהרים ובגבעות צומצם לכדי עשרות סנטימטרים בודדים (ריפנברג [34]). כתוצאה מהרדידות היחסית של שכבת הקרקע כמות המים הזמינים בה לצמחייה היא מוגבלת, והצמחים נזקקים לדרכים שונות כדי להתמודד עם המחסור. אחת הדרכים היא לנסות ולהרחיב את "תחום המחיה" על ידי החדרת שורשים אל הסלע, כאשר ההצלחה בכך תלויה מצד אחד בתכונות הליתולוגיות וההידרולוגיות של שכבת הסלע, ומצד שני בתכונות מורפולוגיות, אנטומיות ופיזיולוגיות של כל מין [56, 68, 69, 79, 81]. לשילוב בין תכונות הצמח והמסלע ישנה השפעה רבה על מאזן המים עבור כל מין ומין, ומכאן נובעת החשיבות הרבה בהכרת המאפיינים של שכבות הסלע השונות כגורם רב השפעה על התפתחות מיני עצי היער השונים. בארץ נעשו עבודות מחקר אחדות על התפתחות יערות נטועים, בעיקר יערות אורן ירושלים ואורן ברוטיה בהשפעת המסלע [1, 17, 18, 36, 38, 40, 41] וגם על השפעת המסלע על אופי מערכת השורשים ומאזני המים במיני אלונים [81]. נימצא כי התכונות הפיזיות והכימיות וכן רמת נקבוביות הסלע אשר משפיעות על רמת אגירת המים משפיעים מאוד על התפתחות העצים בישראל.

5.1.3 ממשק יער נטוע או שהתחדש באופן טבעי

ממשק יער נטוע ואו זה אשר חודש באמצעות זריעה עצמית יעשה בהתאם למטרות שנקבעו. פעולות הממשק יחקו תהליכים אשר מתרחשים באופן טבעי ורצוף ביער שאינו ממושק (יער טבעי), דוגמת ההפחתה לאורך זמן במספר הצמחים הגדלים על יחידת שטח אשר נובע מתחרות על משאבים מוגבלים; זו היא תופעה ידועה ומקובלת בעולם הצומח. כמות הזרעים מכל מין שמתפזרת ביחידת שטח היא בדרך כלל גבוהה מאוד, אך כמות הצמחים הבוגרים שהתפתחו מתוך אוכלוסיית הזרעים היא מועטה ביותר ומהווה רק שברי אחוז מכמות הזרעים שפוזרה. הפחתה במספר הפרטים ביחידת שטח היא בעיקר תוצאה של תחרות על המשאבים המוגבלים.

> דוגמה א: עץ אורן ירושלים בן 30 שנה מייצר כ-200 אצטרובלים כל שנה, שכל אחד מהם מכיל כ-70 זרעים. מספר העצים בדונם הוא כ-60, ומכאן שבדונם יער מתפזרים כ- 840,000 זרעים. אחוז ההישרדות של הזרעים בקרקע היער הוא כ- 25%, שהם 210,000 זרעים. אחוז הנביטה הוא 55%, שהם 115,500 נבטים על שטח של 1000 מ^2. כלומר, 115 נבטים ל- מ^2. במשך השנה הראשונה ימותו כ-80% מהנבטים, ובתום השנה הראשונה יישארו כ- 23 נבטים ל-מ^2.
>
> דוגמה ב: לשם חידוש טבעי של יער אורן ירושלים מומלץ להשאיר כ- 10 עצי זרעים בדונם. כל עץ מבוגר מייצר כ- 200 אצטרובלים בשנה. כלומר, על-פי אותו חישוב נקבל 19 נבטים ב- מ^2, ובתום השנה הראשונה יישארו רק 4 נבטים במ^2.
>
> דוגמה ג: בחלקות יער אורן ירושלים טבעי בכרמל, שגילן הממוצע היה כ- 10±43, גדלו בממוצע כ- 16±52 עץ בדונם. כלומר, עץ אחד על כל 15 עד 28 מ^2.

ביער "טבעי", כלומר, יער שאינו ממושק על ידי האדם, הברירה בין הפרטים היא תוצאה של יכולת עמידה בתנאי התחרות שמוכתבים על ידי "תנאי בית הגידול" (= סכום התנאים האקולוגיים בכל עומד) והתכונות הגנטיות של כל פרט. אך היות ואחת המטרות המרכזיות של היערנות בעבר ובהווה היא לספק תוצרת עץ בעלת איכויות מסוימות, ובכמות מספקת תוך פרק זמן סביר בהתאם לכל מין ומין, אין דרך אחרת אלא שהיערן יקבע את תוצאות התחרות (הברירה) ולא יסתמך על תוצאות התחרות הטבעית, הבין והתוך-מינית, בבית גידול מסוים. כלומר, הדרך היחידה הפתוחה בפני היערן לנהל את היער לאחר הנטיעה או לאחר גמר תקופת החידוש הטבעי היא באמצעות הדילול, שהוא בחירה מודעת בין העצים על-פי תכונותיהם במועד מסוים והקביעה מי ימשיך לגדול ומי ייכרת, כדי להקטין את התחרות על משאבים ומרחב המחיה בקרקע ומעליה ולהגדיל את זמינותם לעצים הנותרים, בכך להיטיב ולזרז התפתחות טובה יותר. היערן מבקש לכוון את תוצאות התחרות על

המשאבים על-ידי פסילתם של העצים שתכונותיהם אינן תואמות את אלו המבוקשות על ידיו. גישה זו נכונה גם לממשק יערות האמורים לספק בעיקר "שירותים חברתיים" שונים. ישנן מספר גישות לאופן הדילול הנובעות ממטרות המשק ומבנה היער במועד הדילול:

1. **<u>דילול נמוך</u>** הוא פעולה המתרכזת בשכבת הצומח המעוצה הנמוכה ביער (תת-היער), שכוללת בדרך כלל פרטים פגועים מסיבה כלשהי, כגון: פגיעה על ידי בעלי חיים, פיגור בהתפתחות מסיבה של פגם גנטי, פיגור בהתפתחות בגלל תחרות על משאבים שקשתה עליהם, ועוד. פעולה זו נועדה להקטין את התחרות על משאבים מצד צמחים שאין בהם תועלת כלכלית ואו אקולוגית.
2. **<u>דילול גבוה</u>** היא פעולה שמטרתה להחדיר אור אל בין כותרות העצים על מנת שהעלווה והענפים במורד הגזע לא יתנוונו מחוסר אור והעלווה תצטמצם רק לזו שבראש הכותרת. החדרת אור אל קרקע היער כדי שהצומח העשבוני והשיחי לא יתנוון מחוסר אנרגיה בתחום אורכי הגל הדרוש לקיום פוטוסינטזה. פעילות זו, המתרכזת בתחום כותרות העצים, <u>מתבססת ראשית כל על מספר שאלות</u> שהיערן שואל את עצמו <u>על דרך השלילה</u> והן:

-מיהו העץ המזיק לעצים שמסביבו, הגדול מדי, המשתלט ודוחק את כותרות העצים האחרים ומעוות את צורתם (עצי זאב)?
-מיהו העץ שיש לו ענפים בולטים, אשר בעת רוחות חזקות הם מצליפים סביבם והורסים את הכותרות של העצים אחרים?
-מיהו העץ שכותרתו אינה מאוזנת ואינה בנויה מענפים דקים המחולקים שווה בנוף אלא ממספר קטן של ענפים עבים?
-מיהו העץ שלא ניתן יהיה להפיק ממנו תוצרת עץ באיכות ובכמות המתבקשת?
-מיהו העץ בתת-היער אשר ייהנה מהאור ונוכחותו תתרום לבריאות האקולוגית של העומד (בדרך כלל מינים רחבי עלים ביער מחטני).

3. **<u>דילול ברירני (סלקטיבי)</u>** היא פעולה המתבססת על שאלה בגישה חיובית והיא:

-מיהו העץ האיכותי ביותר הראוי לטיפוח, ומיהו המתחרה החזק ביותר שלו, שעשוי לפגוע בו?

בעבר, העץ האיכותי ביותר היה זה אשר בפוטנציה עשוי היה לספק את תוצרת העץ הטובה ביותר, אלא שעתה כאשר <u>מטרות ממשק היער בישראל</u> אינן מתרכזות באספקת עץ, אפשר לנסח באופן שונה את הקריטריונים שעל פיהם ייקבע מיהו עץ איכותי הראוי לטיפוח, למשל:

<u>עץ איכותי יהיה זה שמבחינה פנוטיפית מהווה סיכון קטן לעתידו, כלומר:</u>

-המראה חיוניות רבה, שאינו פונדקאי למחלות ו/או מזיקים, ועלוותו בעלת צבע האופייני למין באותה עת בשנה.
-בעל גזע ישר, שמאפשר לרעידות החולפות בו לאורכו כתוצאה מתנודת הצמרת עקב מכות הרוח לחלוף בלי מעצורים שיכולים לגרום לשבירת הגזע.
-אינו מפוצל. נקודת הפיצול מהווה נקודת תורפה בגזע העלולה לגרום לקריעתו ברוח חזקה. נקודת התורפה מאפשרת גם קינון מזיקים ומחלות.
-כותרתו מורכת מענפים דקים מחולקים שווה בנוף. נקודת החיבור בין ענף עבה לגזע ("העין") מהווה נקודת חולשה בגזע.
-ענפיו מתחברים לגזע בזוויות שנוטות להיות חדות ולא ישרות או כהות, פוחתת האפשרות לשבירתם על ידי רוח סערה או תחת משקלם העצמי. שבר כזה אפשר שיהיה פתח לחדירת מזיקים ומחלות, הגורמים להתערערות בריאות העץ. אנו מבקשים עצים מאריכי ימים.
-כותרתו הירוקה ארוכה וצרה, הנוף הצמוד לגזע אינו מתפשט, והכותרת תהיה פחות פתוחה להשפעות האקלים על הדיות (טרנספירציה). (ראה הבדלים בעוצמת הדיות בין ברוש מצוי מזן צריפי לעומת הזן האופקי).
-אינו מייצר כמות רבה של חומר רבייה (פירות, איצטרובלים, זרעים) ביחס לנפח הכותרת. ייצור חומר רבייה רב גוזל כמות רבה של פחמימות ותוצרי פוטוסינתזה אחרים, הגורעים מהאפשרות של התפתחות פיזית של העץ, וגם ממשאבי התגוננות בפני מזיקים ומחלות ובפני הרעה זמנית בתנאי בית הגידול.
-עץ שהיקף גזעו בגובה החזה וגובהו גדולים במידה ניכרת מהממוצע של העצים בעומד.

שיטות הדילול השונות עשויות להיות מופעלות באותה חלקת יער עם התבגרותה: ראשית, דילול נמוך, אחריו דילול גבוה, ובהמשך דילול סלקטיבי המוביל לבסוף לדילול לקראת חידוש טבעי בשיטות של כריתת מחסה, השארת "עצי אם" לזרעים, וכריתה לשם יצירת פערים בגדלים ובכיוונים שונים. כלומר, חידוש היער הוא פעילות אינטגראלית בממשק היער, שהוא תהליך מעגלי אין-סופי בדומה לתהליכים אנושיים של לידה, התפתחות, התבגרות, זִקנה ומוות, וחוזר חלילה. תהליך זה דורש עין בוחנת ומיומנות בהבנת התנאים האקולוגיים בבית הגידול והשפעתם על התהליכים השונים. שימוש בחידוש טבעי רצוי שייעשה בכל מקום שאין מניעה לכך מטעמים ומסיבות אקולוגיות.

הסיבות לשימוש בחידוש טבעי הן:

1. תהליך החידוש הטבעי מושפע מאוד מהתנאים האקולוגיים המפעילים את הברירה הטבעית. הדור החדש, שאמור להיות צאצא של העצים היותר טובים והיותר מותאמים הגדלים ביער עד סוף המחזור, עובר תחילה ברירה חזקה על ידי התנאים האקולוגיים שבבית גידול. תופעה זו תגרום להתאמה גנטית טובה יותר לתנאים השוררים, שהוא אחד הבסיסים ליער בר-קיימא שהיערנות הישראלית שואפת אליו. חשיבות הברירה הטבעית נובעת מההיתכנות כי נטיעות שנעשו בעבר כללו מִגוון של אקוטיפים (גנוטיפים) מתחום האראל של כל אחד מהמינים, שחלקם לא מתאים מהבחינה הגנטית ומכאן בעיקר לא מהבחינה האקו-הפיסיולוגית לתנאי בית הגידול בהם ניטעו (ראה פרק על יעראות וגנטיקה).

2. השימוש בחידוש טבעי מייתר את המשתלה, את הכנת השטח לשתילה, את הנטיעה עצמה, ואת כל הסובב את הפעילות הזו ומוזיל את עלות חידוש היער.

3. תהליך החידוש הטבעי מאפשר גם למיני עצים אחרים "לנצל" את התנאים האקולוגיים שנוצרו (הפחתת תחרות שורשים ותחרות מעל לפני הקרקע, שיפור זמינות המים וקרינה) על מנת להתפתח וליצור שִכבה של מינים רחבי עלים דוגמת מבנה היער הטבעי של אורן ירושלים ותת-יער עשיר בכרמל.

4. הצמיחה של העצים בעת תהליך החידוש הטבעי היא איטית ביחס לצמיחה המהירה עד מהירה מאוד לאחר נטיעה, בהתאם לתנאי בית הגידול. היא כוללת את ההתמודדות היום-יומית של הנבט, הזריע, והעץ הצעיר עם תנאי הסביבה כפי שהם, מבלי להיות מושפע מעיבודי קרקע בעת הכנת השטח לנטיעה הראשונית. תנאי התמודדות אלו מאיטיים את קצב התפתחות הנבטים והזריעים ומקשיחים אותם, דבר שמקובל כמועיל כי התפתחות איטית בתחילה מאריכה את חיי הצמח.

5. קיימת תופעה ביערות מחטניים (במיוחד ביערות אורן ירושלים) של התחדשות טבעית רבה אשר יוצרת תת-יער מחטני של זריעים בלתי מפותחים לגילם כי גדלו זמן רב מדי תחת ההשפעה של אור מוחלש המכיל מרכיב גבוהה של קרינה כחולה. והטעם השני הוא, שקרוב לוודאי שהזריעים הם צאצאים לעצים המייצרים זרעים רבים במיוחד ואינם מעצי עלית. על כן רצוי מאוד לא להשתמש בתת-יער זה כנקודת המוצא לעומד החדש אלא לחסל אותו ולהתחיל בתהליכי חידוש טבעי על ידי דילול הפותח את חופת היער תוך השארת עצי אם לזרעים או כריתה מסוג אחר כדי שיתאפשר חידוש.

כאן ניתן לומר כי החוליים שנתגלו ביערות מהדור הראשון והשני, כלומר אלו שנשתלו במדינה משנות הארבעים ועד שנות השמונים, מזרעים שנאספו ביערות הראשונים (לדוגמה: יער שער הגיא, ואדי קוף, יער מורדות נצרת, ועוד), ומזרעים שיובאו מחו"ל, ניתנים לתיקון בדרך יעראית, שהיא גם הדרך הזולה היחידה שמאפשרת את תיקון חוסר ההתאמה הגנטית של העצים שניטעו לתנאי בית הגידול. הדרך היא לברור מבין העצים הגדלים בחלקה המיועדת לחידוש את העצים הטובים ביותר, על-פי קריטריונים יערניים מקובלים, כדי שישמשו כ"עצי אם" לזרעים, ויש להשתמש בהם בחידוש טבעי (זריעה עצמית מהעצים הנבחרים). דרך זו תאפשר ברירה על ידי התנאים האקולוגיים המקומיים כולל מזיקים ומחלות בעומד המתחדש, כך ימשיכו להתפתח בחלקה עצים (גנוטיפים) המותאמים טוב יותר לתנאים המקומיים. הדרך היקרה יותר היא להקים "מטעי אם" לזרעים באזורים הפיטוגאוגרפיים השונים במדינה, בהם יגדלו "עצי אם" נבחרים, שמהם ייאספו זרעים לשם ריבוי במשתלות וישתלו בחלקות שצריך לחדש. האפשרות של חידוש חלקת יער על ידי נטיעה תעשה ממספר סיבות כבדות משקל, והן:

1. התנאים האקולוגיים אינם מאפשרים חידוש טבעי של המין הנטוע.

2. התנאים האקולוגיים בבית הגידול אינם תואמים את הדרישות האקולוגיות של המין שניטע ראשונה. לדוגמה: נטיעה של אורן הצנובר בקרקעות בהן אחוז הגיר הפעיל גבוה ולכן, בעיקר בתקופת יובש העלווה בעלת גוון צהוב (כלורוטית) מתייבשת. נטיעת מיני איקליפטוס שונים, אך במיוחד איקליפטוס גומפוצפלה באזורים הררים ובקרקעות גירניות, בהם עלוות העצים צהובה וצמיחת העצים ירודה. נטיעת אורן ברוטיה במפנים דרומיים, על פני מסלע חסר סידוק ובאדמות גירניות חסרות עומק. נטיעת אורן קנרי בקרקעות בהן אחוז הגיר הפעיל גבוה, דבר שהגורם להצהבת העלווה ולבסוף להתנוונות העצים, ועוד.

3. הצורך בהחלפת המין הגדל בבית הגידול במין אחר, שעמיד בצורה טובה יותר בפני אש (חלקות יער שמטרתן הקטנת מהירות התפשטות שרפות, חלקות חיץ).

4. חלקות שיועדו לאחר הנטיעות לשמש כחניונים ולפעילות נופש, והמין שניטע אינו מתאים למטרה שיועדה לחלקה. בחלקות אלו על העצים להיות רמי-קומה כדי לאפשר אוורור טוב והקטנת עקת החום [39].

5. הזרעים, אשר ישמשו לנטיעה החדשה, חייבים להיאסף מעצי עֵלית מסומנים או מ"מטעי אם" לזרעים".

5.1.4 הסבה של יער מחטני חלוץ ליער בר-קיימא

בשנת 2005 הוחלט על ידי דירקטוריון הקק"ל שהיער בארץ חייב להיות יער בר-קיימא. כלומר, תערובת של עצי מחט ועצים רחבי עלים בהתאם לתנאים האקולוגיים בכל בית גידול. כפי שכבר נכתב, אחד מהסימנים של יער בר-קיימא הוא שהיער מותאם מהבחינה הגנטית לבית הגידול, דבר זה נובע מכך שבתנאים של יער חלוץ, שניטע ממקורות זרעים בלתי ידועים, חייבת להתרחש ברירה באמצעות תהליך החידוש הטבעי של עצי המחט. בנוסף, זה שנים מתקיימת התחדשות מזרעים ומבלוטים וגדילה של תת-יער ממינים רחבי-עלים בתוך יערות מחטניים נטועים [7, 83]. התנאים האקולוגיים המתאימים לכך, היחס בין שכבת היער העליונה המורכבת מעצי מחט ושכבת תת-היער המורכבת בעיקר מרחבי עלים אינה ברורה במידה מספקת, מה שמקשה על גיבוש פעילות יעראית מסודרת להכוונת ההתפתחות של התת-יער ופיתוח שיווי משקל בין שתי קבוצות צומח אלו [33]. ברור הוא, שקיימת תחרות על המשאבים העיקריים שהם אור ומים הדורשים התייחסות בעזרת דילול. עוצמת הדילול והשפעותיו אינם ברורים כי התגובה של תת-היער לעוצמות אור

שונות בגילים שונים איננה ידועה [86, 87]. כפי שמינים רחבי עלים "פולשים" אל תוך היער המחטני החלוץ, כן מינים מחטניים "פולשים" אל תוך החורש [21, 73, 74, 82]. בחלוף הזמן תופעות אלו עתידות, כנראה, לטשטש במקומות מסוימים את "הגבולות הברורים" בין תצורות הצומח השונות, שנבעו מתהליך הכנת השטחים לנטיעה ולהוביל להתפתחות יער רם רב-מיני ורב-גילי. הממשק של יער שכזה (הכוונת התפתחותו) דורש שיקול דעת ומיומנות רבה, שכרגע אינה בנמצא, גם המחקר בנושא זה הוא בחיתוליו.

הניסיון העולמי הוכיח כי יער חד-מיני (מונוקולטורה) ואחיד מבחינת המבנה הגנטי שלו עמיד פחות בפני מזיקים ומחלות ומשברים הנובעים מאיתני הטבע. יער מעורב עמיד יותר כי הוא מנצל טוב יותר את תנאי בית הגידול, הן ע"י ניצול טוב יותר של חלל היער על ידי העלווה (ניצול הקרינה), והן ע"י ניצול טוב יותר של הקרקע והמסלע על ידי מערכות שורשים בעלות תכונות ויכולות שונות.

עתה, כאשר חלק גדול מיער החלוץ המחטני מתמוטט לאיטו מסיבות רבות, (אך לא מזֵקנה כי רובו אינו עובר את גיל השישים, בעוד שאורן ירושלים בארץ עשוי להגיע לגילים שמעל ל-150 שנים) ישנה חשיבות עליונה לתשומת לב מרבית לנושא כדי להבין בעזרת מחקר יזום את התהליכים שמתרחשים [46, 60]. כל זאת על מנת שיהיו בידי היערנים כלים לשם פיתוח יער בר-קיימא שעמיד טוב יותר מהיער הנוכחי לתנאי סביבה יובשניים יותר כתוצאה משינויי אקלים [27, 30]. הדור הבא יוכל לשרת את המגוון הרחב של צרכי האוכלוסייה, להוות עוגן לפעילות כלכלית על ידי גיוון הנוף התורם לתירות ולנופש, שמירה על אדמות הלאום, מניעת סחף מים ורוח, ועוד.

5.1.5 יעראות של החורש הים-תיכוני (אלון מצוי, בר-זית בינוני, אלון התבור ועוד):

מאז שנת 1926, עת פורסם חוק היערות על ידי ממשלת המנדט הבריטי על ארץ-ישראל, שכלל פיקוח על ממשק הכריתה והרעייה, חלו שינויים הדרגתיים בשטחים הפתוחים, אשר הלכו והצטברו לכדי שינוי פני הארץ. התהליך קיבל תאוצה במיוחד לאחר קום המדינה, בשנת 1948 ובהשפעת השינוי הדמוגרפי במדינה [24, 32, 51]. הצמחייה הטבעית בשטחים הפתוחים, המורכבת ברובה ממינים רחבי עלים שלהם יכולת התחדשות וגטטיבית מהירה, החלה להשתקם בעיקר על ידי גדילת נצרים רבים מהגדמים. כלומר, כפי שכבר נכתב במבוא, הפרטים שהשתקמו הם ברובם שרידים לברירה דיסגנית (Dysgenic selection) והשפעותיה מזה אלפי שנים [55] אך באותה המידה הם גם שרידים לצמחייה שהתאימה

את עצמה מהבחינה גנטית ואקו-פיזיולוגית לתנאים שנוצרו כתוצאה מהידלדלות עומק הקרקע ופוריותה וממשטר השריפות והרעייה.

רובו של המחקר הגיאו-בוטני והאקולוגי בארץ, שסוכם על ידי זהרי [88], נעשה בזמן "שהשטחים הפתוחים" היו במצב ראשוני של השתקמות. שאלות על הגורמים והתנאים האקולוגיים המשפיעים על השתקמות החורש/היער רחב העלים ובמיוחד על השתקמות האלונים כמין המרכזי, העסיק חוקרים כבר בשנות השלושים של המאה העשרים [66, 67]. מעט מאוד שטחים של יער טבעי/חורש נשמרו או השתקמו בעבר לכדי מצב שמהווה דוגמה לאחד מהמבנים האפשריים בעתיד של יער רחב עלים דוגמת יער בירעם [85]; חלקות יער מעורב של אורנים ותת-יער של רחבי עלים בכרמל, יער אלון התבור ומינים נוספים באזור טבעון-בית לחם הגלילית. השתקמות החורש/יער, שעיקרו אלון מצוי ובר- זית בינוני, יצרה גוף צמחי נמוך יחסית וצפוף עד כדי חוסר אפשרות לנוע בחופשיות בקרבו [23]. מצב זה נוצר, כנראה, מהסיבות הבאות:

1. הנטייה של אלון מצוי ובר-זית לפנוטיפיות שיחית, וריבוי נצרים כבר בשלב מוקדם מאוד של הזריע (השתיל) הצעיר (שהם קרוב לוודאי תוצאה של ברירה דיסגנית). כמו כן קיים איבוד השלטון הקודקודי והשפעתו של אמיר הצמיחה גם עקב פגיעות פיזיות, ועוד [19, 26]. יתכן וסלקציה מכוונת למצב שיחי נמוך (עד גובה הברכיים) וממשק השומר על מצב זה כדי לגדל ולאסוף חרקים הגדלים על האלון המצוי, שמהם ניתן היה להפיק צבע אדום יקר ערך לצביעת בדים בעת העתיקה [44].

2. מחסור בחי-בר הניזון גם מרעייה בצומח מעוצה.

3. מחסור בבעלי חיים מתורבתים המסוגלים תחת פיקוח נאות להיזון בחורש וביער מבלי לגרום לנזקים אשר מונעים או מעכבים את התפתחותו (עיזים).

4. הפסקה בפעילות של דילול נצרים, שמאז ומעולם נעשתה כדי לספק חומר גלם בעיקר לתעשיית פחמי העץ, שריפת אבן גיר ליצור סיד, בנייה בעץ וחקלאות. הפסקת הדילול גרמה לתחרות עזה בתוך ובין בתי השורש אשר מנעה צמיחה טובה לגובה [11, 12]. המחסור בעדרי צאן ובקר הוא ראשית כל תוצאה של שינויים כלכלים-חברתיים וגם תוצאה מאיסור רעייה של העז השחורה (חוק העז השחורה, 1950). העז השחורה היא בעל חיים שיש לו יכולת לטפס בנוף השיחים והעצים הנמוכים והמסועפים ולרעות בו ובכך לתרום לעיכוב ומניעת השתקמות ולדפורמציה של נוף הצמחים. עתה מבינים כולם שלא העז אשמה אלא בעלי העדרים והרועים, אשר אפשרו לה לעשות כרצונה [28]. כתוצאה מהירידה הדרמתית בביקוש לפחם עץ לתעשייה ולצרכים ביתיים, שנבעה מחדירת תחליפים נקיים יותר דוגמת מוצרי נפטא ופחם-אבן, ששימשו לחימום, חלה נסיגה רבה מאוד בפעילות של דילול נצרים בחורש/יער. כל הגורמים הנ"ל גרמו לכך שגוף צמחי מרחבי זה מאבד ממגוון הצמחים

בקרבו כתוצאה מתחרות על משאבים, הוא גם צובר כמות רבה של חומר אורגני שמהווה תשתית מסוכנת להתלקחות שריפות ולהתפשטותן המהירה.

5. היער רחב העלים באזורנו, עבר ממשק אגרסיבי של כריתת כל חומר גלם טוב לשימוש האדם מאז ומעולם (ראה את התיאור של כריתת עצים ביער רחב עלים למטרות מלחמה בעמוד טראינוס ברומא). מה שנשאר שימש כמקור מזון לבקר וצאן לא זכה, מאז ימי קדם ועד עתה, להתייחסות מנקודות מבט יעראית. מבחינה זו, השתקמות החורש/יער שעיקרו אלון מצוי ובר- זית בינוני "יצאה מכלל שליטה". השימוש בבעלי חיים של משק הבית מושרש עד כדי כך בתרבות האנושית, שגם עתה, ממשק "השטחים הפתוחים" לשם שימור המגוון הביולוגי וגיוון הנוף, נאחז כמעט אך ורק בממשק השמרני של שימוש בעדרים למיניהם כדי להשיג את המטרה [15, 48, 49, 71, 72], זאת מבלי להתעניין ולחקור אפשרויות אחרות.

6. כפי שכבר נאמר, הממשק האגרסיבי על ידי האדם במשך יובלות רבים ביער רחב העלים הזה פירושו שניתן להניח שכרתו כל מה שהתאים לדרישות מהבחינה של ניצול עץ כחומר גלם לבנייה, והשאירו את כל מה שאינו מתאים מהבחינה הפנוטיפית, ומכאן גם הבחינה הגנטית, לצרכים אלו ("ברירה דיסגנית").

7. סביר מאוד להניח כי במסגרת הפעילות ביער העדיפו להשאיר את הפרטים המניבים יבול פירות ובלוטים גבוה כדי שישמש כתוספת מזון למשק החי וגם לאדם, דבר בעל חשיבות מרבית בשנות בצורת [4]. זאת בדומה לממשק סילווי-פסטורלי שהתפתח באירופה כתוצאה מאקלום, כנראה על ידי הרומאים, של הערמון מטורקיה שפירותיו שימשו מזון לחי ולאדם, בייחוד בשנות בצורת, ובדומה לשיטת המרעה ביער אלונים בספרד (הדהישה). אך הבחירה בפרטים בעלי נטייה גנטית ליצור חומר רבייה רב מנוגדת לבחירה של פרטים בעלי נטייה (גנטית) להשקיע בצמיחה, שתי נטיות אלו מנוגדות. מעבר לכך ובנוסף, גם הרעייה והשריפות השפיעו על בתי הגידול של גוף צמחי זה, צמצמו את פוריותו, ונוצר החורש/יער כפי שהוא מוכר לנו עתה [29].

נשאלת השאלה מהן המטרות <u>של הממשק היערני</u> העכשווי של גוף צמחי זה ומהן האפשרויות לממש מטרות אלו לא ממשק עדרים ושטחים לשם מרעה?

- <u>לתת "לטבע" לעשות את שלו</u>, שפירושו לאפשר לכל האירועים לקרות החל משריפה עד כלות, וכלה בחדירה של "מינים חדשים" לבתי הגידול השונים דוגמת תופעת התבססות מחטניים (בעיקר אורן ירושלים) בשטחי חורש [21]. תופעה זו מרמזת על כך שבעבר כנראה לא התקיימה הפרדה חד-משמעית מהבחינה האקולוגית בין תצורות צומח שהן יער מחטני או חורש/יער רחב עלים, בניגוד לדעתם של חוקרים אחרים [58, 59]. ההפרדה נוצרה רק בעקבות המיקום ובאופן נטיעת יערות חלוץ של מינים מחטניים. ברחבי חצי הכדור הצפוני קיימת תחרות ותחלופה בתוך בתי הגידול הנושאים בעיקר מיני עצי אורן לבין מיני עצי האלון, ובהתאם לתנאים האקולוגיים המשתנים באופן טבעי או כתוצאה ממעשי ידי אדם [53].

- התערבות במידת הצורך פרושה: מניעת התפשטות שריפות שמחזירות את גלגל התפתחות הצמחייה לשלבים הראשונים, זאת מסיבות אקולוגיות, נופיות, זיהום הסביבה, ועוד. כדי למנוע את התפשטות השריפות יש ליצור פסי הפרדה ואזורי חיץ בהם מתקיימת רעייה של בקר ומקנה, שמונהגת ומבוקרת על ידי רועים שעברו הכשרה בנושא מרעה בחורש. נטיעה של מינים המאטים את התפשטות האש בגבולות חלקות החורש (למשל ברוש מצוי מזן צריפי, מין שארץ- ישראל נכללת באראל שלו). פריסה של רשת דרכים בתוואים טופוגרפיים כדי לאפשר כיבוי אקטיבי. גיזום לשם הרמת הנוף ודילול נצרים על מנת להפחית תחרות בתוך בתי השורש וביניהם , בכך לעודד תגובה של צמיחה משמעותית רבה יותר בגובה ובקוטר [11, 12, 13, 42, 80]. פעילות זו אפשרית בקנה מידה קטן יחסית עקב העלות הגבוהה [14]. פעילות זו רצויה על מנת לפתח מקומות נופש ובילוי בהם ישרור מיקרו-אקלים משופר לעומת זה השורר בחורש הבלתי מטופל [39, 76, 83].

רק במקומות בודדים מוגבלים מבחינה טופוגרפית, בהם הקפידו על טיפולים (דילול נצרים, גיזום ורעייה) חוזרים ונשנים, הצליחו לעצב את החורש הסבוך לכדי יער נמוך, שהוא יותר פתוח באופן שאדם יכול לנוע בתוכו להנאתו ללא מאמץ רב. שני מקומות המהווים דוגמה למאמץ עצום ויקר זה הם יער "דרך נוף הכרמל", המכסה את המדרון הצפוני של הכרמל, ויער "פארק גורן" שבגליל המערבי. יער "דרך נוף הכרמל" הוא תוצאה של עבודה אינטנסיבית של מחלקת היערות המנדטורית (משה קולר ז"ל, בע"פ), ו"יער פארק גורן" הוא תוצאה של עבודה מאומצת של אגף הייעור של הקק"ל.

מידע רב על "החורש הים-תיכוני, רקע כללי - סיכום ספרות" התפרסם בהוצאת החברה להגנת הטבע ויד הנדיב [29].

5.1.6 שינוי מבני של החורש/יער רחב עלים ונמוך הקומה ליער רם בר-קיימא.

שינוי מבני פירושו נקיטת פעולות יעראיות לשם קידום התחדשות בעזרת רבייה מינית (זרעים, בלוטים) על פני התחדשות וגטטיבית (נצרים). בממשק היערני האירופאי ידוע זה מאות שנים שביער חליפין מתקיימת התופעה שככל שרבים יותר מחזורי כריתה והתחדשות וגטטיבית, איכות ההשתקמות יורדת והצמיחה קטנה. לכן, כאשר הדרישה לנצרים עבור חקלאות, פחם עץ, בנייה, מאכל לצאן ובקר נעלמה מהשוק, צורת ממשק זו הופסקה. הוחל בחידוש היערות על ידי רבייה מינית (זרעים, בלוטים) כדי שעוצמת הצמיחה ואיכות התוצר יחזרו למיטבן [75]. מן הראוי שגם בארץ יקדישו לנושא זה מחשבה ומחקר מדעי כי עדיין אין ידע וניסיון מעשי בדרך פעולה יעראית זו. מחקרים שונים מצביעים על פוטנציאל לקשיים רבים הכרוכים בדרך פעולה זו, שנובעים ממספר מקורות:

- זמינות בלתי מספקת בעיקר של בלוטים, אך כנראה גם זרעים של מינים אחרים. המחסור הוא תוצאה של טריפה על ידי בעלי חיים למיניהם [10, 16]. על מנת לטפח יער רם בעזרת חידוש חלקות של החורש, יש צורך בזמינות רבה מאוד של חומר ריבוי תוך פרק זמן קצר יחסית (שנים בודדות).

- תנאים אקולוגיים, שאינם מעודדים שרידות פיזיולוגית של הבלוטים, נביטה, קליטה בשטח והישרדות בשנים הראשונות [10, 16, 5].

- המצב הנוכחי מעיד על כך, שמקרב העצים הגדלים בחורשים/יערות כמעט ולא ניתן לבחור "עצי אם" לזרעים או לבלוטים שתואמים להגדרות היערניות של "עצי אם".

- הנטייה של מיני האלון, אך בעיקר של האלון המצוי וכנראה גם של בר-זית בינוני לפנוטיפיות שיחית ולא עצית. כלומר, לאורך זמן לא מתקיים שלטון קודקוד צמיחה הגורם להיווצרות ציר צמיחה מרכזי לגובה [19].

- מחסור בידע על אופן הפעילות היערית, שעשויה לעודד התפתחות נבטים וזרעים של מיני החורש במיוחד אלונים, בר-זית ומינים מלווים אחרים. כלומר, מה הן השיטות שיש לנקוט על מנת לקדם אי אכילה של בלוטים וזרעים, נביטתם, קליטה והתפתחות הזרעים לכדי עצים רמי קומה.

• ספרות, מקור הציטוט

1. אבני צ., 1981. בית גידול כמשפיע, וצומח טבעי כאינדיקאטור להצלחת עצי יער נטועים. עבודת גמר לתואר מוסמך. האוניברסיטה העברית ירושלים, 104 עמודים.

2. אופנהיימר ה., 1957. השפעת הקרקע על התפתחות עצי *אורן ירושלים* והרכבם. ליערן 7 , (3-4),עמ' 9-5.

3. אלון, ע., 1971. הרהורים וערעורים על מדיניות היעור. *טבע וארץ* 13 , עמ' 204-211 .

4. אליאב א., 1985. שימוש בבלוטי *אלון התבור* למאכל. *תם* 14, עמ' 72-73.

5. אשד י., 1991. ריבוי אלונים מקומיים מבלוטים וייחורים. עבודת מוסמך, הפקולטה לחקלאות של האוניברסיטה העברית בירושלים, 69 עמודים.

6. בן-חור מ., 2008. התכונות ההידרולוגיות של הסלע המשפיעות על התפתחות הצומח הטבעי ברמת הנדיב. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* 10, עמ' 31-25 .

7. גולדרינג י., 1977. התחדשות הצומח הטבעי ביערות אורן נטועים. עבודת מוסמך, האוניברסיטה העברית בירושלים.

8. דופור-דרור ז-מ, 2008. ניתוח מאפייני אוכלוסיות *אלון מצוי* ביערות אורנים באזור המרכז - בחינת תפקידן ביצירת יער בר-קיימא. דו"ח מסכם למחקר 04-7-125-90 הוגש לאגף הייעור של הקק"ל.

9. הר נ., 2008. מבנה מערכת הקרקע והסלע והדינמיקה של משק המים בבית הגידול כגורמים אקולוגיים עיקריים בתפוצת *אלון התבור והאלון המצוי* באזור אלונים-שפרעם. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה. האוניברסיטה העברית בירושלים, 150 עמוד.

10. ויזל י., פרידמן י., 1959. בעיות בנביטה ובהתחדשות *האלון המצוי*. *ליערן* 9,עמ' 10-13.

11. ויינשטין א., 1983. השפעת הטיפולים על החורש הטבעי. *ליערן* 33 : עמ' 19-21.

12. ויינשטין א., 1985. השפעת דילול וגיזום על התפתחות חורש טבעי של *אלון מצוי* בכרמל. *רֹתם, כתב עת לנושאי שדה בוטניים בארץ-ישראל* 18 : עמ' 79-92.

13. ויץ י., 1967. תקנתו של החורש הטבעי. *ליערן* 17, עמ' 92-104.

14. ויץ י., 1970 ; היער והייעור בישראל. הוצאת מסדה בע"מ, רמת-גן, עמ' 37-60.

15. זליגמן נ., 2005. מערכות מרעה טבעי, חומר רקע לקורס 71083, האוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, 205 עמודים.

16. חריף י., 1975. הנביטה ושיטת השורשים של מרכיבי הגריגה והחורש בשנתם הראשונה. *ליערן* 25, עמ' 3-11.

17. חת ד., 1968. גורמים אקולוגיים מכריעים בייעור אורן ברוטיה. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור. האוניברסיטה העברית ירושלים.

18. חת ד., 1976. התפתחות נטיעות אורן ירושלים בישראל : 1. השפעת הצפיפות. עלון מס' 55, המחלקה לחקר היער, מינהל המחקר החקלאי, המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני בית דגן.

19. טפר א., 1997. הגורמים המשפיעים על עיצוב צורת הגידול של האלון המצוי. עבודת גמר לתואר מוסמך, המחלקה לבוטניקה, האוניברסיטה העברית בירושלים, 112 עמודים.

20. טישלר, ק., 1971. תכונות מכאניות ופיסיקליות של אורן ירושלים. המחלקה לחקר היער, מכון וולקני לחקר החקלאות, פרסום מיוחד, המחלקה לפירסומים. 37 עמודים (בשפה הצרפתית).

21. לביא א., נוי-מאיר ע., קיגל י., 2004. הליכי התפשטות של אורן ירושלים מיערות נטועים לתוך צומח טבעי. יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה 6-5, 12-18.

22. ליפשיץ, נ. וביגר, ג. 1994. עלייתו ונפילתו של אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill.) כעץ יעור ראשי בארץ ישראל. המחלקה לפרסומים ולהסברה קולית–חזותית, אגף ההסברה, הקק"ל, ירושלים, 24 עמודים.

23. נאוה ז., 1985. הקלימאקס של החורש הים תיכוני - דימיון או מציאות. רֹתם, כתב עת לנושאי שדה בוטניים בארץ-ישראל 18 : 14-33.

24. סמוכה י., ליטב מ., פיין פ., ויזל י., 1980. מקצב התפתחות עצי חורש בהרי יהודה. ליערן 31, 6-15.

25. עומר, ה., 1971. היער – כיער. טבע וארץ 13 (י"ג), 305-307.

26. פולק ג., שוורץ-צחור ר., פרבולוצקי א., 2001. העיתוי והעוצמה של תהליכים פנולוגיים בבר-זית בינוני .Phillyrea latifolia L בתנאי סובב ים-תיכוני ותחת משטר הפרעה. אקולוגיה וסביבה 6, 170-178.

27. פז ש., 2004. מִדבור באגן המזרחי של הים-התיכון: הסבר אקלימי להיווצרותו. עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה ב (2), 7-17.

28. פרבולוצקי א, 1991. נקמת השעיר לעזאזל. טבע וארץ 33, חסר!!!

29. פרבולוצקי א., לחמן א., פולק ג., 1992. החורש הים-תיכוני, רקע כללי - סכום ספרות. פרויקט רמת הנדיב, חוברת 8. הוצאת החברה להגנת הטבע ויד הנדיב, 152 עמודים.

30. קאפלה ה. ח., ורוינס ב., 2010. מגמות אקלימיות בישראל 1970-2002: חם וצחיח יותר בפנים הארץ. אקולוגיה וסביבה 1, 16-22.

31. קורין, א., 1995. בדיקת תכונות של עץ יער ישראלי. המכון הלאומי לחקר הבניה, הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל,הפקולטה להנדסה אזרחית, חיפה, ישראל, 56 עמודים.

32. קידר ב"ז, 1991. מבט ועוד מבט על ארץ-ישראל. הוצאת משרד הביטחון ויד בן-צבי.

33. ריזמן-ברנע א., בן-יאיר ש., בוקן ב., 2010. יער או פער - התבססות *אלון מצוי* ביערות האורן בישראל. *אקולוגיה וסביבה, כתב עת למדע ולמדיניות הסביבה* 1, עמ' 40-49.

34. ריפנברג א., 1950. מלחמת המזרע והישימון. גלגולי התרבות החקלאית בארץ-ישראל ושכנותיה. מוסד ביאליק.

35. שילר, ג., 1974. תולדותיו של יער שער הגיא. *ליערן* 24:עמ' 48-52.

36. שילר ג., 1976. יחסי גומלין שבין התפתחות *אורן ירושלים* לבין תנאי הסביבה. *ליערן* 27, עמ' 13-23.

37. שילר, ג., 1978. השפעת גורמי הסביבה על ההתחדשות הטבעית של יער אורן ירושלים. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, אוניברסיטת תל-אביב, תל-אביב, 90 עמודים (ותקציר באנגלית).

38. שילר ג., 1980. השפעת התשתית הגאולוגית על התפתחות *אורן ירושלים*. *ליערן* 30, עמ' 1-5.

39. שילר ג., 1998. שימוש במדדים פיזיולוגיים בתיכנון וממשק יער וחורש למטרות נופש. *אקולוגיה וסביבה* 5, עמ' 34-44

40. שילר ג., פרבולוצקי א., שוורץ ר., יונתן ר., אטינגר ע., 2001. יער נטע אדם ברמת הנדיב: תוצאות והשלכות. *אקולוגיה וסביבה* 6 (3-4), עמ' 218-222.

41. שילר ג., ויינשטין א., 1978. השפעת התשתית הגיאולוגית והמפנה על התפתחות היער בוואדי קוף. *ליערן* 28, עמ' 2-10.

42. שמידע א., שמיר צ., וינברג מ., 1998. חלקת מחקר נחל נחש, דו"ח מחקר שש שנתי, 1998-1993. מוגש לוועדת מחקרים של הקק"ל, 62 עמודים.

43. Barbero, M., Loisel, R., Quezel, P., Richardson, M. and Romane, F., 1998.

44. Blondel J., Aronson J., 1999. Biology and Wildlife of the Mediterranean Region, Oxford University Press Inc, New York, Page 225.

45. Danin A., 1999. Desert rocks as plant refugia in the Near East. *The Botanical Review* **65**, 93-170

46. Gomez-Aparicio L., Zavala M V., Bonet F J., Zamora R., 2009. Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecol. Appl*. 19, 2124-2141.

47. Griver D., Sebastiani F., González-Martinez S C., Vendramin G G., 2009. Patterns of polymorphism resulting from long-range colonization in the Mediterranean conifer Aleppo pine. *New Phytologist* 184, 1016-1028.

48. Henkin Z., Gutman M., Aharon H., Perevolotsky A., Ungar E.D.' Seligman N.G., 2005. Suitability of Mediterranean oak woodland for beef herd husbandry. *Agri, Ecosyst. Environ*. 109, 255-261.

49. Henkin Z., Hadar L., Noy-Meir I., 2007. Human-scale structural heterogeneity induced by grazing in a Mediterranean woodland landscape. *Landscape Ecol*. 22, 577-587/

50. Horowitz, A., 1979. The Quaternary of Israel. Acadenic Press, New York.

51. Kadmom R. and Harari-Kremer R., 1999. Landscape scale regeneration of disturbed Mediterranean maquis. *J. Vegetation Sci*. 10, 393-402.

52. Kline T., Cohen S., Yakir D., 2011. Hydraulic adjustment underlying drought resistance of *Pinus halepensis. Tree Physiology* 31(6), 637-648.

53. Klötzli F., 1975. Ökologische besonderheiten Pinus –reicher waldgeselschften. *Schweiz. Z. Forstw*. 126, 672-710

54. Korol, L., Shklar Galina, Schiller, G., 2002. Diversity among circum-Mediterranean populations of Aleppo pine and differentiation from Brutia pine in their isoenzymes: Additional Results. *Silvae Genetica* 51, 35-41

55. Ledig F. Th., 1992. Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos* 63, 87-108.

56. Leshem B., 1965. The annual activity of intermediary roots of Aleppo pine. *For. Sci.* **11**, 291-298.

57. Leshem B., 1970. Resting Roots of *Pinus halepensis*: Structure, Function, and Reaction to Water stres. *Bot. Gaz*. **131**, 99-104.

58. Liphschitz N., Biger G., 1990. Ancient dominance of the Quercus calliprinos-Pistacia palastina association in Mediterranean Israel. *J. Vegeta. Sci* **1**, 67-70.

59. Liphschitz N., Biger G., 2001. Past distribution of Aleppo pine (Pinus halepensis) in the mountains of Israel (Palestine). *The Holocene* **11**, 427-436.

60. Maestre F T. & Cortina J., 2004. Are Pinus halepensis plantations usefull as a restoration tool in semi-arid Mediterranean areas? *For.Ecol. Manage*. **198**, 303-317.

61. Maseyk S K., 2006. Ecophysiological and phonological aspects of Pinus halepensis in an arid-Mediterranean environment. Ph.D. Thesis, the Weizmann Institute of Sciences, Rehovot, Israel.

62. Mirov N.I., 1967. The Genus Pinus. Ronald Press Co. New York.

63. Nathan R.,and Ne'eman G., 2000. Serotiny, seed dispersal and seed predation in Pinus halepemsis. *In*: Ne'eman G. and Trabaud L. (Ed`s). Biography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* forest ecosystems in the Mediterranean Basin, Backuys Publishers, Leiden, the Netherlands, pp 105-118.

64. Neumann F.H., Kagan E.J., Leroy S.A.G., Baruch H., 2009. Vegetation history and climate fluctuations on a transect along the Dead Sea west shore and their impact on past societies over the last 3500 years. *J. Arid Environ*, doi: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.015

65. Oppenheimer H.R., 1933. Studien zur Keimung und ersten Entwicklung der Aleppokiefer und Kermeseiche. *Gartenbau-wissenscaft* **7**(2), 308-364.

66. Oppenheimer H.R. 1935. Etudes sur le développment des racines de quelques plantes méditerranéenes. *Bull. Silvae Mediteterranea* **10**, 3-23.

67. Oppenheimer H. R., 1940. Etudes sur le probleme de la reconsitition de chenaies en Palestine. *Pal. J. Bot, Rehovot* **3**, 105-143.

68. Oppenheimer H.R., 1955. Penetration active des raciness de buissons mediterranéenes dans les roches calcaires. *Bull. Res. Counc. Israel* **5D**, 219-222.

69. Oppenheimer H.R., 1957a. Further observations on root penetration into rock and their structure. *Bull. Res. Counc. Israel* **6D**, 18-26.

70. Oppenheimer H.R., 1968. Mechanisms of drought resistance in conifers of the Mediterranean zone and the arid West of the U.S.A. Final Report on Project No.

A10-FS-7, Grant No. FG-Is-119. Part 1: Physiological and anatomical investigations. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agriculture, Israel.

71. Perevolotsky A., Haimov Y., 1991. Structural response of Mediterranean woodland species to disturbance: Evidence of different defence strategies. *Israel J. Bot*. **40**, 305-313.

72. Perevolotsky A., Haimov Y., 1992. The effect of thinning and goat browsing on the structure and development of Mediterranean woodland in Israel. *For. Ecol. Manage.* **49**, 61-74/

73. Perevolotsky A., Sheffer E., 2009. Forest management in Israel-the ecological alternative. *Israel J. Plant Sci*. **53**, 203-213.

74. Perevolotsky A., Sheffer E., 2011. Integrated management of heterogeneous landscape-Mediterranean Israel as a study case. *Israel J. Ecology &Evolution* **57**, 111-128.

75. Puettmann J.K., Coats K.D., Messier Ch., 2008. A CRITIQUE OF SILVICULTURE, Managing for complexity. Island press, Washington, the USA, 188 pp.

76. Schiller G., 1974. The relation of microclimate to thermal stress of man in two forest types on Mt. Carmel. *La-Ya'aran* **24**, 1-6

77. Schiller, G., Conkle M.T., and Grunwald Clara, 1986. Local differentiation among Mediterranean populations of Aleppo pine in their isozymes. *Silvae Genetica* **35**, 11-19.

78. Schiller, G., 2000. Ecophysiology of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. *In*: Ne'eman and Trabaud (Eds). Ecology, Biography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Publishers, pp 51-65.

79. Schiller G., Ungar E. D., Cohen Y., 2002. Estimating the water use of a sclerophyllous species under east- Mediterranean climate; I. Response of transpiration of *Phillyrea latifolia* L. to site factors. *For. Ecol. and Manag*. **170**, 117-126.

80. Schiller G., Unger D.U., Moshe Y., Cohen S., Cohen Y., 2003. Estimating water use by sclerophyllous species under east Mediterranean climate. II. The

transpiration of Quercus calliprinos Webb. in response to silvicultural treatments. *For. Ecol. Manage*. **179**, 483-495.

81. Schiller G., Ungar E. D., Shabtai C and Herr N., 2010. Water use by Kermes and Tabor oaks growing in their respective habitats in the Lower Galilee region of Israel. *For. Ecol. and Manag*. **259**, 1018-1024.

82. Sheffer, E., 2011. A review of the development of Mediterranean pine-oak ecosystems after land abandonment and afforestation: are they novel ecosystems?. *Ann. For. Sci*. (Doi 10.1007/s13595-011-0181-0).

83. Weinstein A., Schiller G., 1982. Microclimate, recreational value and management for recreation of an oak scrub. *For. Ecol. Manage***. 4**, 333-340.

84. Weinstein-Evron M. and Lev-Yadun S., 2000. Paleoecology of *Pinus halepensis* in Israel in the light of Palynological and archeological data. *In*: Ne'eman G. and Trabaud L. (Ed`s). Biography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* forest ecosystems in the Mediterranean Basin, Backuys Publishers, Leiden, the Netherlands, pp19-130.

85. Westphal Ch., von Oheimb G., Meyer-Grünefeld M., Tremer N., Härdtle W., Levanony T., Dayan T., Assman Th., 2009. Ya'ar Bar"am-an old Quercus calliprinos forest of high nature conservation value in the Mediterranean region of Israel. *Israel J. Plant Sci*. **57**, 13-23.

86. Zavala, M. A., Espelta, J. M. and Retana, J., 2000. Constraints and trade-offs in Mediterranean plant communities: The case of Holm oak-Aleppo pine forests. *The Botanical Review* **66**, 120-140.

87. Zavala, M. A., Espelta, J. M., Caspersen, J. and Retana, J., 2001. Interspecific differences in sapling performance with respect to light and aridity gradients in Mediterranean pine-oak forests: Implications for species coexistence. Can, J. For. Res. **41**, 1432-1444.

88. Zohary M., 1962. Plant life of Palestine, Israel and Jordan. The Ronald Press Co. New York, NY.262 pp

5.2 יעראות מוכוונת על ידי זמינות המים

5.2.1 מבוא

כפי שכבר הוזכר בהקדמה לפרק מיני עצים ומים, תחזיות על שינויי אקלים כלל עולמיים [14] ותחזיות אקלימיות למזרח אגן הים-התיכון [2, 13], חוזות הפחתה ברמת המשקעים עם הזמן. על-פי קאפלה וברוינס וסערוני וחבריו [4, 5], תופעה זו אכן מתרחשת במידה זו או אחרת באזור הנגב. לטענתם כמות המשקעים והיחס בינה לאבפוטרנספירציה הפוטנציאלית נמצאים במגמת ירידה, דבר המצביע על עלייה בצחיחות בפנים הארץ בכיוון מזרח ודרום. ולדוגמה: מאז תחילת הנטיעה של יער יתיר בשנת 1965 ועד 1994 (30 שנה), כמות הגשם הרב שנתית הממוצעת הייתה 279.3±76.7 מ״מ ומספר שנות הבצורת (200> מ״מ) היה רק שתים; משנת 1995 ועד 2012 (18 שנה) כמות הגשמים הרב שנתית הממוצעת ירדה לכדי 249.0±75.5 מ״מ ומספר שנות הבצורת עלה ל- 5. בעקבות החורפים השחונים בשנים 1995/6, 1998/9, 1999/00, 2008/9 ו- 2010/11, שממוצע הגשמים בהם היה 152.5±9.7 מ״מ התפשטה תופעה של תמותת עצים בודדים וחלקות יער בהיקפיים שלא נראו בעבר, לא רק ביערות שבאזורים הסמי-ארידיים אלא גם בתחום החבל הים תיכוני במדינה..הסיבה לכך קשורה כנראה להשפעות שיש לפחיתה בכמות המים הזמינים בקרקע על הצמחים.

לשנים מועטות גשמים, בהשוואה לממוצע הרב-שנתי באזור אקולוגי מסוים, ישנה השפעה רבה על הפעילות הפיזיולוגית של העצים. התגובה ליובש שונה בהתאם למינים, יש מינים אשר סוגרים את הפיוניות כאשר מתח המים באזור בית השורשים עולה עד לסף מסוים,.שבאורן ירושלים למשל הוא 2.8 מגה פסקל (MPa). סגירת הפיוניות גורמת להפסקת תהליך חילופי גזים, תהליך ההטמעה וייצור הפחמימות הדרושות לצמח לשם קיום, כלומר, הרעבה (למשל באורנים) [17]. לעומת זאת, ישנם מינים למשל אלונים או בר-זית, אשר ממשיכים לדיית עד אשר עמודת המים בצינורות ההובלה נְקטעת כתוצאה מהמתח הגבוה יחסית שבין 5 ו- 8 מגה פסקל, האוויר חודר לצינורות ומונע זרימה, תופעה המכונה- Embolism [8, 9, 10, 16, 19].

זה מכבר ידוע כי עקות מים גורמות לשינויים במסלול היצור של חומרים שניוניים המשמשים מגן לצמחים בפני חרקים ומחלות, דוגמת שינויים בכמות היחסית של חומרים המרכיבים את השרף בעצי מחט ושינוים בכמות הכללית של השרף [28]. באופן זה נחלש קוו

ההגנה הראשוני של העץ כלפי מזיקים חיצוניים וכלפי מזיקים השוכנים בתוך העץ (פטריות חיידקים ווירוסים ועוד), שפעילותם נבלמת כל עוד התנאים "תקינים". במרב השטחים המיוערים בארץ, הצירוף של המבנה הגנטי של העצים שניטעו (גנוטיפים) והתנאים האקולוגיים בהם ניטעו, אינם תומכים בצמיחה בכמות ובאיכות הדרושים לשם ממשק יער מוכוון לייצור עצה, שאמור להיות ממושק בעזרת טבלאות יבול ונפח [24].

לכן, המטרות האחרות שבבסיס היערנות הישראלית שהן: לשמור על קיימות היער והשירותים החברתיים שהוא מספק כגון: מניעת סחף מים ורוח, שיפור הנוף והמיקרו-אקלים, מקום לנופש ותיירות, המרצת תהליכים אקולוגים להתהוות יער בר-קיימא מתוך היער החד-גילי והחד-מיני (יערות החלוץ שניטעו), תפיסת שטחים ציבוריים ואחזקתם ושמירתם מפני שימושים חורגים- צריכים להיות הבסיס אליו מוכוון הממשק. היות והעלות של נטיעת יערות ותחזוקתם היא עצומה, ובאין הכנסות מתוצרת עץ, אין רצון וכוונה שההון המושקע ירד לטמיון עקב ממשק שאינו מתאים את עצמו לשינויים אקולוגיים בבית הגידול שנובעים משינויי אקלים דוגמת הקטנת זמינות המים. היות והשירותים החברתיים שהיער אמור לספק עומדים בראש סדר העדיפויות, אנו מעדיפים שחלקות היער יאריכו ימים, דבר שמתאפשר על ידי נטיעת מינים מתאימים לתנאי בית הגידול, לאחר מכן טיפול (הדילול) שייעשה מנקודת הראות של הבטחת קיומו של הדור הנוכחי של היער בתנאים האקולוגיים השוררים במשך תקופת המחזור (פחיתה בזמינות המים).

לאחרונה התרבו הדיווחים בעיתונות המקצועית מאזורים שונים בעולם על תמותה של עצים ויערות בעקבות שנים של מיעוט גשמים בצירוף עלייה בטמפרטורות האוויר [8]. גם בארץ ישנם דיווחים על תמותת עצים ויערות בעקבות בצורות אקלימיות קשות, המוגדרות על ידי כצנלסון [1] כ "שנים בהם אחוזי הגרעון מכמות הגשמים הממוצעת שווים או גבוהים מהערך הכפול של ההשתנות היחסית הממוצעת". תמותה בהיקף של כ- 7000 דונם ביער הנטוע באזור גיאוגרפי שמשתרע מצפון הנגב ועד הכביש תל-אביב ירושלים (הידע ממחלקת הסקר של אגף הייעור בקק"ל) אירעה לאחר חורפים מאוד שחונים -1998/9 ו- 1999/2000 של 144 ו- 150 מ"מ בהתאמה. כמו כן גם נרשמה פגיעה בעצי החורש [3]. הפגיעה הייתה בעיקר בחלקות שלא טופלו כראוי (דוללו). כלומר, בחלקות יער שבהן כמות המים לא הספיקה לקיים את כלל העצים ורבים מהם מתו. לאחרונה, בעקבות שלושה חורפים שחונים וחמים (2007/8, 2008/9, 2010/11) בהן כמות הגשמים השנתית

האפקטיבית פחתה מ- 200 מ״מ, שוב נגלתה תמותה בחלקות יער שונות, בפארקים וגינות לא מושקות לא רק בנגב הצפוני אלא ברחבי הארץ.

לאור התחזיות להפחתה נוספת בכמות הגשמים השנתית כתוצאה משינויי אקלים והאפשרות של עלייה בתדירות שנות הבצורת, חייב הממשק של היערות להתאים בעזרת דילול מדוקדק את ניצול המים על ידי הצמחייה (הדיות) לזמינות המים בבית הגידול (כמות הגשמים האפקטיבית הממוצעת החזויה בשנות בצורת). על הדילול לטפח את העצים המתאימים ביותר לתנאים שייווצרו [7]. אך יש גם לדעת כי כתוצאה ממגבלות התפתחות מערכת השורשים של העץ הבודד מצד אחד, אידוי גובר מהקרקע החשופה ודיות גוברת מתת-היער מצד שני להפחתה בצפיפות העומד יש גבול תחתון, אשר מתחתיו כל דילול נוסף לא ישפר את זמינות המים לעץ הבודד.

להלן מוצעות דרכים למשק את היער (קביעת הצפיפות הרצויה של עומד בגיל מסוים) המבוססת על מדידות מאזן המים ו/או פוטנציאל המים בקרקע ובנוף, כדי שהיער לא ייפגע או יגווע כתוצאה מהפחתה בכמות הגשמים האפקטיבית הרב-שנתית הממוצעת הנובעת משינויי אקלים ו/או בעקבות שנות בצורת. דרכים אלו עשויות לשמש את הממשק של כל יער באשר הוא.

5.2.2 ממשק יער מונחה על ידי מידת דיות העצים

א. ממשק יער מחטני באזור יובשני (יתיר)

נוסחת מאזן המים בחלקת יער כלשהי הניזונה רק ממי הגשמים:

$$[1].\quad P = R + ET + S + D,$$

$$[2].\quad ET = T + I + E$$

כאשר: P- מציין את כמות הגשמים, R- מציין את כמות הנגר העלי; ET- מציין את האבפו-טרנספירציה (דיות ואידוי) מהאקוסיסטמה (נמדד מעל לחופת היער) וכולל את ההתאיידות של מי הגשמים הנתפסים בנוף העצים (האינטרספציה - I); S- מציין את השינוי משנה לשנה בכמות המים באוגר הקרקע והסלע בתחום בית השורשים; D- מציין את כמות המים שהתווספה למי התהום. T- מציין את הדיות של הצמחייה המעוצה; E- מציין את הדיות של תת היער (שיחים ועשבוניים) והאידוי מהקרקע.

זה מספר שנים נעשות מדידות מטאורולוגיות ואקופיזיולוגיות ביער יתיר בחלקה שנמצאת במרכז הגיאוגרפי של היער. החלקה ניטעה באורן ירושלים בשנת 1970, -צפיפות

העצים בה עתה היא 30 עץ דונם[1]-. בחלקה הוקם מיגדל מטאורולוגי המתנשא מעל לחופת היער ובעזרת המיכשור המורכב עליו נעשו מדידות שונות דוגמת שטף הקרינה על מרכיביה השונים, שטף חילופי גזים בין היער והאטמוספרה כגון: הדיות והאידוי של האקוסיסטמה (ET), ונתונים מטאורולוגיים שונים. מדידות הדיות של העצים (T) נמדדה בעזרת שיטת פולס החום, האידוי מהקרקע ודיות מתת היער (E) נמדד בעזרת מד חילופי גזים ניד [23, 24, 44]. מדידות אלו אפשרו את החלוקה של הדיות והאידוי הכולל של האקוסיסטמה (ET) למרכיביה השונים שהם: דיות העצים (T) מצד אחד, אידוי מהקרקע ודיות צומח תת-היער ואינטרספציה ביחד (E) מצד שני.

<u>טבלה 1</u>: כמות הגשם , הדיות והאידוי, ומידת הדיות השנתית של עץ אחד בחלקת יער אורן ירושלים ביתיר בשנים 2004-2012.

השנה	צפיפות עצים	ממוצע	גשם שנתי	גשם אפקטיבי	דיות ואידוי	דיות עצי	הדיות מהגשם	הדיות השנתית
ההידרולוגית	בדונם	גיל העצים	(מ"מ)	(מ"מ)*	(מ"מ)*	האורן (מ"מ)*	האפקטיבי (%)	לעץ (מ"מ)
2004	30	34	231.0	214.8	235.0	152.0	70.8	5.1
2005	30	35	334.5	311.1	343.0	164.0	52.7	5.5
2006	30	36	224.0	208.3	227.0	133.0	63.8	4.4
2007	30	37	313.0	291.1	313.0	156.5	53.8	5.2
2008	30	38	205.0	190.7	205.0	110.0	57.7	3.7
2009	30	39	158.5	147.4	158.0	81.9	55.6	2.7
2010	30	40	237.0	220.4	237.0	118.5	53.8	4.0
2011	30	41	176.0	163.7	176.0	88.0	53.8	2.9
2012	30	42	342.5	318.5	342.0			
ממוצע			246.8	229.6	248.4	125.5	57.7	4.2
סטית התקן			67.7	63.0	68.9	31.2	6.4	1.0

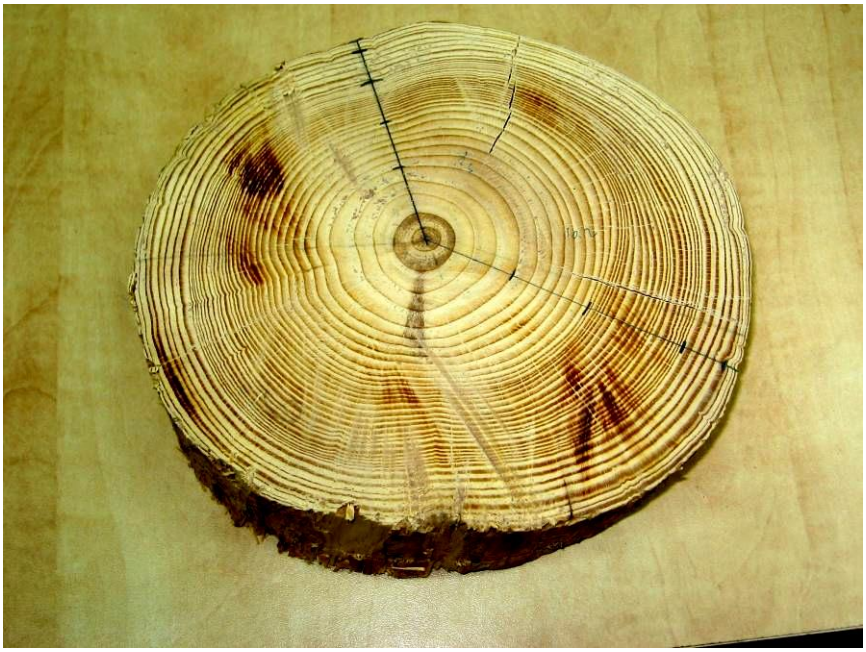
התוצאות של מדידות וחישובים של דיות העצים, דיות ואידוי כולל של האקוסיסטמה בשנים ההידרולוגיות 2004 - 2012 מרוכזים בטבלה 1. מהטבלה ניראה כי כמות הדיות והאידוי השנתי הכולל (Evapotranspiration [ET]) של האקוסיסטמה כפי שנמדדה מעל לחופת היער, דומה עד זהה לכמות הגשמים השנתית; הוא נחלק בין דיות האורנים שמהווה בממוצע 6.4%±57.7% מהגשם האפקטיבי לבין, האידוי מהקרקע והדיות מתת-היער שמהווים כ-42.3% בממוצע. בנוסף לכך במחקרים נוספים ביער יתיר נעשו מדידות רבות ושונות שאפשרו את הכימות של אחדים מהמרכיבים השונים במאזן המים והם: נגר עלי [26], גשם ואינטרספציה [27] עומק חזית ההרטבה בקרקע [20]. המחקרים שצוטטו לעיל

הראו כי אין יציאה של נגר עלי מתחום היער (R = 0), מידת השינוי באוגר המים בקרקע משנה לשנה הוא זניח (S = 0), גם מידת העשרת מי תהום היא זניחה (D =0).

אלא שמשך חיי העצים נקבע בין היתר על ידי אירועים קיצוניים, דוגמת שנות בצורת בהן כמות הגשמים השנתית האפקטיבית באזור יתיר הייתה פחותה מ-200 מ״מ. על פי בדיקת עובי הטבעות השנתיות שיצרו עצי האורן ביער יתיר במשך השנים, נימצא כי העצים שמתו לאחר חורף שנת 2007/8 יצרו טבעת שנתית שהייתה דקה ביותר או שכלל לא יצרו טבעת שנתית, כלומר, יתכן והעץ ״הורעב״.

<u>צילום 1</u>: חתך רוחב בגזע של אורן ירושלים מיער יתיר שמת בשנת 2010 בעיקבות ההשפעות הנובעות ממיעוט גשמים בחורפים 2007/8 ו-2008/9. חתך רוחב זה מאפשר גם ללמוד על ממשק היער (הדילול) אשר משפיע על עוצמת התחרות על מים ומכאן על רמת הפוטוסינתזה המשפיעה על רוחב הטבעת השנתית:

1. בחמש שנים ראשונות עובי הטבעת השנתית הולך וגדל.
2. בשבע השנים הבאות עובי הטבעת הולך וקטן בהדרגה, כניראה כתוצאה מהתגברות התחרות.
3. בתשעה-עשר השנים הבאות (מקטע שלישי), עובי הטבעות בדרך כלל מאוד קטן, כניראה עקב תחרות גבוה מאוד על מים כתוצאה מחוסר דילול. רק בשתי שנים בהם ירדו גשמים מרובים מאוד –מעל ל 300 מ"מ עובי הטבעות רב יותר.
4. בחמש השנים הבאות, בעיקבות דילול חזק, עובי הטבעות השנתיות גדל מאוד.
5. במקטע האחרון העץ החל שוב לסבול ועובי הטבעות הצטמצם מאוד והעץ מת.



תגובה דומה למחסור במים זוהתה בשנת 1973 ביער שער הגיא וגם לאחר הבצורות של שנת 1997/98 ו- 1998/99 ביער כרמים [7, 8]. תופעה זו מעלה את השאלה –

מהי הצפיפות של עומד עצי אורן ירושלים, שגילו מעל ל-35 שנה, שתאפשר ליער להתקיים כאשר כמות הגשמים השנתית האפקטיבית היא רק - 150 מ״מ?.

תוך הבנה כי הפחתת מספר העצים בעומד (דילול) תפחית גם את כיסוי הכותרות ובכך תגביר את האידוי מהקרקע והדיות מתת-היער [12, 24]. פתרון אפשרי נמצא בעזרת הנוסחה:

$$D_{max} = (P_{min} - ET)/T_{min} \quad [3]$$

כאשר D_{max} - הוא מספר העצים המרבי אשר מאפשר את קיום הדיות המינימאלי לעץ שמספיק (הדרוש) כדי לשמור על קיומו ובריאותו; P_{min} – היא כמות הגשם המינימאלית (מ״מ בשנה) עבורה אנו מעוניינים לקבוע את מִמשק היער (150 מ״מ); E – היא הדיות והאידוי מהקרקע ומתת-היער (מ״מ בשנה); T' – הוא הדיות המינימאלי הנחוץ כדי לקיים את העץ (מ״מ עץ$^{-1}$שנה$^{-1}$) בבריאות טובה. כמות דיות זו היא כמות הדיות המחושבת לעץ בשנה ההידרולוגית 2006 (ראה טבלה 1), שנה שחונה כתוצאה מחלוקת הגשמים ועוצמתם בעונת החורף, שהייתה גרועה במיוחד בהשוואה לשנים קודמות, אך העצים לא נפגעו בשנת בצורת זו.

טבלה 2: הערכה של צפיפות עומד אורן ירושלים ביתיר על סמך מאזן המים

גשם שנתי בעת בצורת (מ״מ)	150
אינטרספציה (מ״מ) (7% מהגשם)[1].	11
גשם אפקטיבי (מ״מ)[2]	139
דיות האורנים (מ״מ) (64% מהגשם האפקטיבי)[3]	89
מספר עצים אפשרי בהתאם לצורך בדיות של 4.4 מ״מ לעץ בשנה [4].	~16-20

הסברים לטבלה:

1. הגשם שנתפס בכותרות העצים ומתאדה משם.
2. גשם החודר לקרקע (גשם שנתי – אינטרספציה)
3. דיות האורנים מסך הדיות ואידוי שנמדדה בשנת 2005/6-
4. בהתאם לכמות הדיות לעץ בשנת 2006.

טבלה 2 מתארת את אופן החישוב כדי לאמוד את צפיפות העומד אשר יאפשר לכל עץ את כמות המים המינימאלית כדי לשרוד. מהטבלה אנו למדים כי צפיפות העצים ביער יתיר, 30 עץ דונם$^{-1}$, בגיל שבין 35-42 שנה, גבוהה מהרצוי; על כן יש להפחית ממספרם לכדי 16-20 עץ דונם$^{-1}$ בממוצע [1]. זאת מכיוון שבשנה שחונה יחסית לא תעמוד לרשות העצים כמות

המים שמאפשרת פעילות פיזיולוגית במשך תקופת הזמן המינימלית, הדרושה לייצור מוצרי פוטוסינתזה בכמות הדרושים לתחזוקת העצים (נשימה), והם יסבלו מעקה עד כדי תמותה. חיזוק לדעה כי יערות אורנים נטועים בתנאי אקלים סמי-ורידיים חייבים למשק (לדלל) בהתאם לזמינות המים בבית הגידול, מובעת גם על ידי Moreno-Gutierrez et al. [21]. החוקרים טוענים כי ההשפעה על "ביצועי הצמח" בשל חוסר ממשק בהתאם לזמינות המים, שיוצר תחרות קשה, הוא בעל השפעה שלילית בהרבה מאשר ההשפעות העשויות לנבוע כתוצאה מדילול (נגר עלי רב יותר, מיעוט חדירת מים לקרקע).

ב. ממשק חורש אלון מצוי באזור אקלימי ים-תיכוני (הכרמל, רמת הנדיב)

ההשפעה שיש להפחתת מספר העצים ליחידת שטח , ובמקרה שלנו להפחתת מספר הנצרים בכל בית שורשים על הדיות היומי של הגזע שנותר, ומכאן על הדיות מיחידת שטח שדוללה, נבחנה בשתי קבוצות של בתי שורש הדומים מבחינת התפלגות הקף הגזעים, כלומר, שטח הבסיס ושטח עצת הירך בין הגזעים בתוך בתי השורש. קבוצה אחת לא עברה דילול, ובקבוצה השנייה הדילול השאיר רק את הנצר (הגזע) הראשי בבתי השורשים. אינדקס שטח העלווה (LAI) לפני הדילול היה 3.4 ; שנה לאחר הדילול הוא היה 1.9, ושנתיים לאחר הדילול הוא עלה לכדי 2.6 כתוצאה מצמיחה חזקה במיוחד בגזעים שהיו בבתי שורש שדוללו.

<u>טבלה 3</u> : סיכום ההבדלים בין הקבוצות בדיות היומי הממוצע במשך שלוש שנים הידרולוגיות

השנה	הקף הגזע הממוצע בקבוצת		ממוצע שנתי של הדיות היומית		ממוצע ההפרשים בדיות היומית הממוצעת בין המדוללים ללא מדוללים ליטר (יום$^{-1}$עץ$^{-1}$)
	המדוללים ס"מ	שאינם מדוללים ס"מ	מדוללים ליטר (יום$^{-1}$עץ$^{-1}$)	שאינם מדוללים ליטר (יום$^{-1}$עץ$^{-1}$)	
1996				4.1 ± 3.8	
1997	31.8 ± 5.5	32.0 ± 6.5	12.2 ± 7.7	9.4 ± 8.8	2.8 ± 2.9
1998	34.7 ± 4.7	33.1 ± 7.3	5.1 ± 3.0	3.4 ± 1.8	1.7 ± 1.5
1999	36.7 ± 5.5	34.2 ± 7.3	4.9 ± 1.5	2.7 ± 1.1	2.2 ± 2.2

טבלה 3 מראה את כמות הדיות היומית הממוצעת של הגזע המרכזי הממוצע ב-16 בתי שורש, שנחלקים בין שתי הקבוצות הנ"ל ומותאמים ככל שניתן בזוגות שווי שטח בסיס, שנמדד במשך שלוש שנים 1997-1999. העצים בבתי השורש בהם הסירו את כל הנצרים

מלבד המרכזי, דיתו יותר מאשר הגזעים המרכזיים המקבילים להם בשטח הבסיס בבתי השורש בהם לא בוצע דילול. המדידות שנעשו אפשרו לאמוד את צריכת המים השנתית של עצי האלון המצוי בחורש, שהרכבו הפיטוסוציאולוגי ומידת התפתחותו דומה לזה של החורש ברמת הנדיב, הוא גדל באזור אקלים ים-תיכוני. טבלה 4 מסכמת את הדיות היומי הממוצע של העצים בבתי השורש המדוללים ושאינם מדוללים. הדיות היומית הממוצע בבתי השורש שדוללו היה גבוה מהדיות היומית הממוצע בבתי השורש שלא דוללו. כתוצאה מהדילול, הדיות היומית והדיות השנתית שחושב עבור דונם חורש, היה נמוכה באופן משמעותי מהדיות לדונם בחורש ללא דילול .

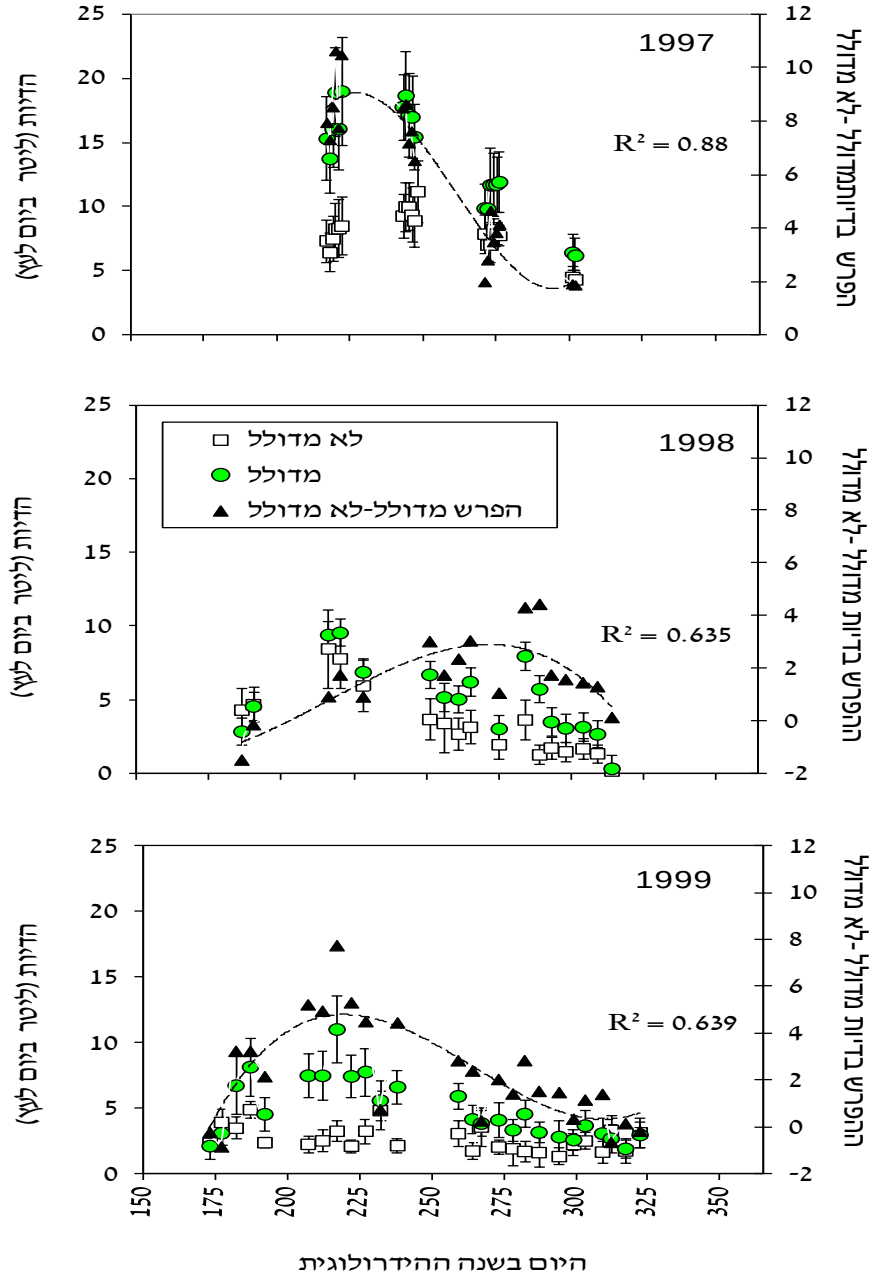
טבלה 4: סיכום הדיות היומי הממוצע לגזע לכדי דיות יומי ושנתי לדונם וסך הדיות כאחוז מהגשם השנתי

השנה	מספר גזעים לדונם	דיות יומית ממוצעת לגזע (ליטר)	דיות יומית לדונם (ליטר)	הדיות שנתית לדונם (מ״מ)	אחוז מכלל הגשם (%)
ללא דילול					
1996	240	4.09 ± 3.8	982	358	74.8
1997	240	9.4 ± 8.8			
1998	240	3.41 ± 1.81	818	298	44.3
1999	240	2.68 ± 1.14	643	235	54.4
לאחר דילול					
1996		-------	----------	--------	--------
1997	47	12.2 ± 7.7			
1998	47	5.08 ± 3.02	239	87	13
1999	47	4.90 ± 1.51	231	84	20

* בשנת1997, הדיות נימדדה ברצף של מספר ימים בארבע מועדים שונים בתקופת האביב.

בהנחה שהממוצע השנתי של הדיות היומי בשעות האור <u>בחורש שלא דולל</u> הוא 3.4 ו-2.7 ליטר ביום לעץ בשנת 1998 ושנת 1999 בהתאמה, הרי שסך הדיות השנתי הוא של 298 ו-234 מ״מ בהתאמה, המהווים 44.3% ו- 54.5% מכמות הגשמים השנתית בהתאמה. <u>בחורש שדולל</u> והושארו בו רק 47 הגזעים המרכזיים בכל בית שורשים בדונם, הממוצע השנתי של הדיות היומי הוא 5.1 ו- 4.9 ליטר ביום לעץ בשנים 1998 ו- 1999 בהתאמה, הדיות השנתי הסתכם ב-84 ו- 87 מ״מ, או 13% ו- 20% מכמות הגשמים השנתית בהתאמה. כל זה תוך ידיעה ברורה שמצב זה הוא ארעי, כי העצים שנשארו לאחר הדילול ושוחררו מלחץ התחרות יגבירו את קצב הצימוח ומכאן את כמות הדיות. המהלך השנתי של הדיות היומי הממוצע בשעות האור בשתי הקבוצות הנ״ל, במשך שלוש שנים הידרולוגיות, מתואר באיור 1.

<u>איור 1</u>: מהלך שנתי של הדיות היומי הממוצע בשעות האור של אלון מצוי בבתי שורש שדוללו ולא דוללו וההפרש ביניהם. הפולינום בדרגה שלישית בא להדגיש את המהלך השנתי של ההפרש בדיות בין שתי הקבוצות (הקווים האנכיים מציינים את שגיאת התקן).



התוצאות מראות עד כמה דילול החורש עשוי להשפיע על מאזן המים. כלומר, אפשר יהיה להפנות מים לשימושים אחרים, החל מחלחול רב יותר לאקוויפר ועד השימוש בהם על ידי צמחייה עשבונית והגדלת כמות המרעה לחי-בר ולעדרים. תוצאות אלו נתמכות גם במחקרים אחרים שבדקו את השפעת הדילול על מאזני המים באלון אילקס [20].

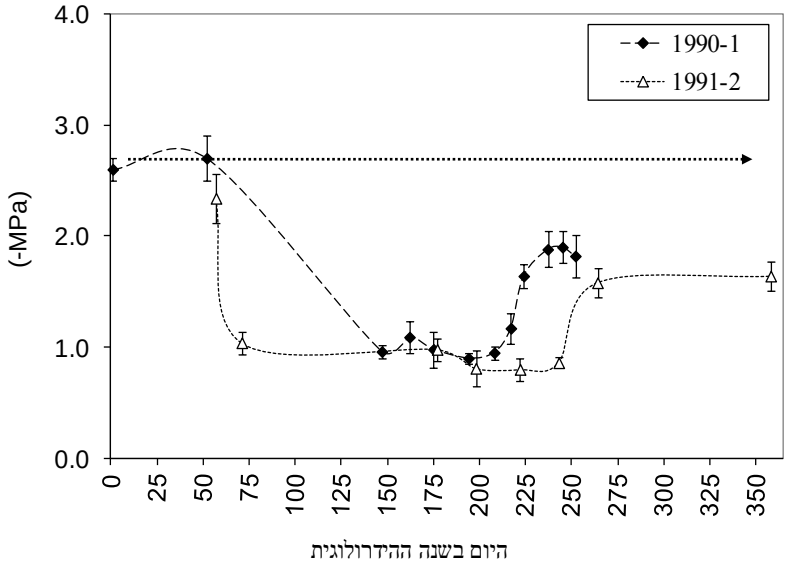
5.2.3 ממשק יער המונח על מדידות כוח תאחיזת המים בענפונים בנוף העץ

ביטוי פיסיקלי לזמינות המים לצמחים ומיום הרקמות הצמחיות כתוצאה מכמות וזמינות המים בקרקע, היא העלייה או הירידה בכוח התאחיזה של המים בצמח, הנובע בעיקר מכח התאחיזה של המים בקרקע, שקשור לתכונות הפיסיקליות והכימיות שלה וכמות המים בה . לכל מין צמח יש גבול עליון לכוח תאחיזת המים בקרקע שמעליו הצמח אינו יכול יותר לקלוט מים והם אינם ברי תנועה בצינורות ההובלה שבגוף הצמח. חלק ממיני הצמחים (מחטניים ורחבי עלים שונים) מגיבים לעליה בכוח תאחיזת המים בסגירת פיוניות כדי למנוע איבוד מים באמצעות הדיות, תופעה זו גורמת לירידה בפוטוסינתזה וביצירת מוטמעים דבר שמוביל להרעבת הצמח ולבסוף למותו. למשל אורן ירושלים סוגר את הפיוניות שלו כאשר כוח התאחיזה של המים במחטים מגיע לכדי 2.8 מגה פסקל (MPa), דבר שמונעה חילופי גזים והטמעה. מערכת הובלת המים קורסת כאשר כוח התאחיזה עולה לכדי 3.1 מגה פסקל [15, 17]. מינים אחרים (מחטניים ורחבי עלים) מסוגלים לקלוט מים מהקרקע כשהם "קשורים" בכוח תאחיזה גבוהה יחסית ולהמשיך לדיית ולהמשיך בתהליך ההטמעה עד שעמודת המים בצינורות ההובלה ניתקת עקב המתח הרב, ואוויר חודר למערכת ההובלה ומונע המשך זרימת המים [18, 42].

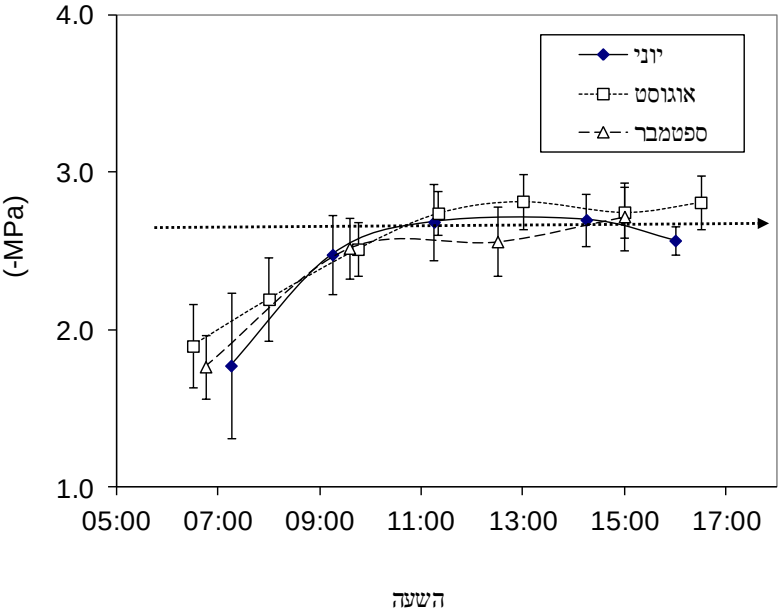
אחת מהשיטות למדידת כוח תאחיזת המים בעצה (קסילם=xylem), של עלים או ענפונים דקים נושאי עלים בכותרת הצמחים המעוצים ביער,הוא שימוש בתא לחץ בשיטת שולנדר וחבריו [41]. כוח תאחיזת המים בעצת הצמח עם הזריחה, אמור להיות בשיווי משקל עם כוח תאחיזת המים בקרקע כתוצאה מזרימת מים לילית למילוי אוגר המים שבצמח, שנוצל על ידי הדיות ביום שחלף. שיטה זו מאפשרת לאבחן הבדלים בין מינים ובין זנים (אקוטיפים) בתוך המינים ביחסיהם עם המאזן ההידרולוגי של בית הגידול. במילים אחרות, עמידותם בתנאי מחסור במים, כלומר, בתנאים של מתח מים גבוה בקרקע ומכאן בצמח.

<u>איור 2</u>: מהלך שנתי של כוח תאחיזת המים בעצת ענפונים של אורן ירושלים עם שחר, בשתי שנים שונות בכמות הגשמים ובחלוקתם ברמת הנדיב

(הקווים האנכיים מסמנים את שגיאת התקן, הקוו האופקי מסמן את כוח התאחיזה בו נסגרות הפיוניות).

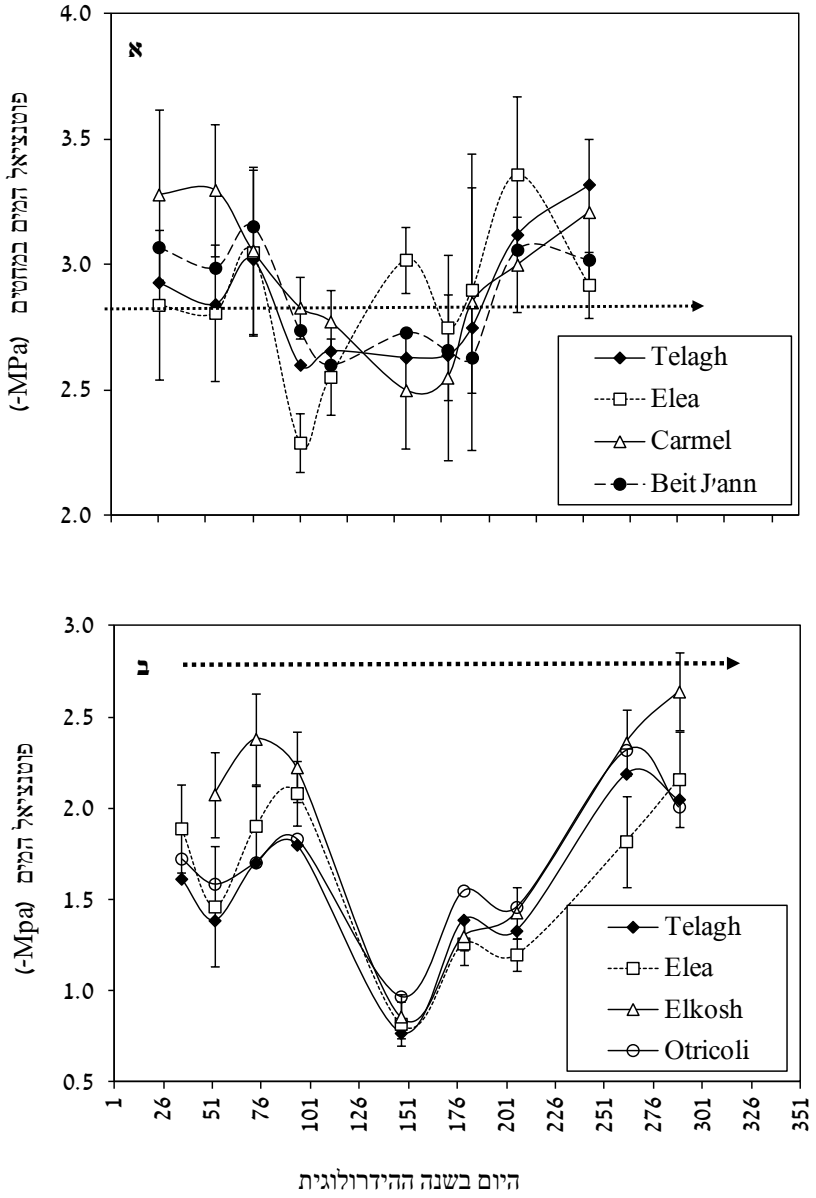


<u>איור 3</u>: מהלך יומי של כוח תאחיזת המים באורן ירושלים בשלושה ימים בעונת הקיץ ברמת הנדיב (הקוו האופקי מסמן את כוח תאחיזת המים בו נסגרות הפיוניות)



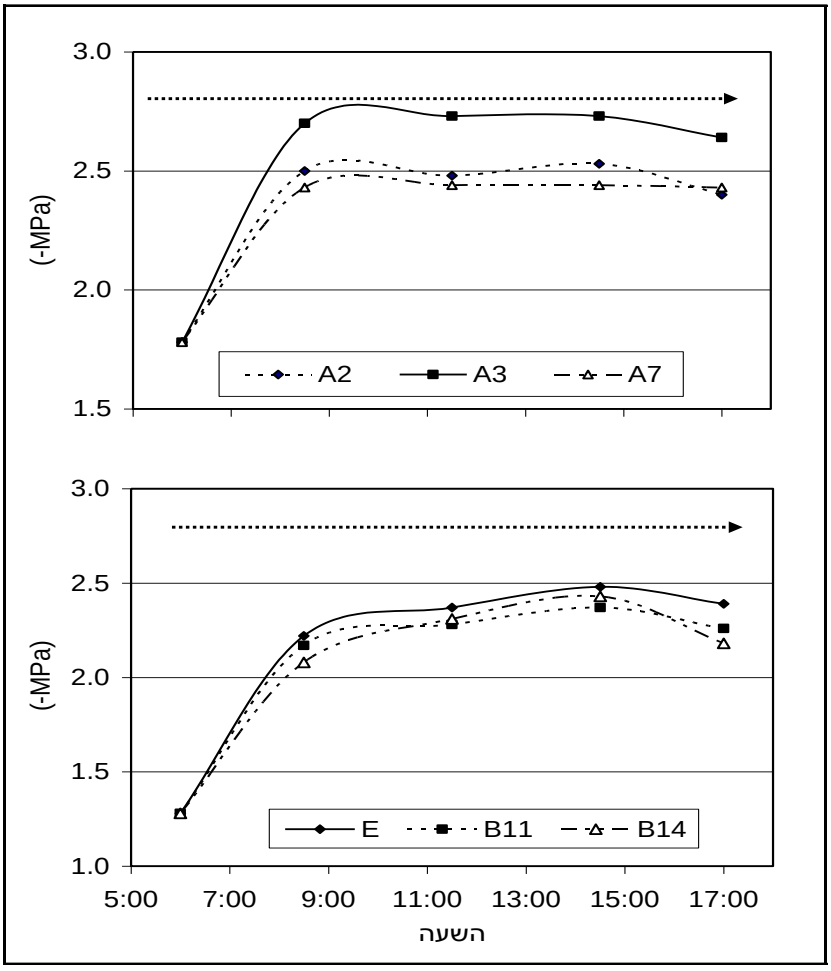
מהאיור ניתן להסיק כי זמינות המים אינה מספקת והחל משעה עשר כוח התאחיזה של המים שהתגבר מונע את פתיחת הפיוניות עד לשעות אחרי הצהרים המאוחרות.

<u>איור 4</u>: הבדלים בכוח תאחיזת המים באורן ירושלים עם שחר בין שני בתי גידול ובין אקוטיפים בתוך בית הגידול. **א**. יער יתיר, 144 מ״מ גשם בחורף 1998/9
ב. בית דגן 250 מ״מ גשם בחורף 1998/9



האיור מראה כי באותו בית גידול (אותו כוח תאחיזה של המים בקרקע במועד מסוים) קיימים הבדלים מובהקים סטטיסטית בין אקוטיפים שונים של אותו המין.בכוח תאחיזת המים עם שחר בענפונים. האיור גם מראה כי קיים הבדל ניכר במהלך השנתי של כוח תאחיזת המים בענפונים בהתאם לכמות הגשמים בכל בית גידול. בבית דגן פוטנציאל המים עם שחר אפשר פתיחת פיוניות בעוד שביתיר פוטנציאל המים כמעט ולא אפשר פתיחת פיוניות

<u>איור 5</u>: מהלך יומי של כוח תאחיזת המים בענפונים של A אקוטיפים של אורן ירושלים, B אורן ברוטיה, E אורן אלדריקה, בתנאי בית הגידול אחידים ברמת הנדיב, בחודש אוגוסט 1985. (הקו המקווקו מסמן את פוטנציאל המים של 2.8 MPa-.[על פי 13].



מהאיור ניראה כי בחלקת ניסיון אחידה ברמת הנדיב, באורן ירושלים האקוטיפ A7 מייצר כוח תאחיזה גבוה יותר מאשר האקוטיפים A_2 ו- A_3 של אורן ירושלים וגם כוח תאחיזת מים גבוהה מאשר באורן ברוטיה ואלדריקה. תופעה המראה כי האקוטיפ A7 רגיש יותר מאחרים לפחיתת מים בקרקע.

<u>לסיכום</u>: מדידת המהלך היומי של פוטנציאל המים (כוח התאחיזה של המים) בעלווה של עצים במועדים שונים בשנה ההידרולוגית מאפשרת להסיק על זמינות המים לעץ בבתי גידול. ביצוע דילולים ומדידת פוטנציאל המים מאפשר להסיק על הצפיפות הרצויה של העומד לאורך מחזור הגידול.

ספרות, מקור הציטוט

1. אונגר ד. יו., רוטנברג א., רז-יסיף נ., כהן ש., יקיר ד., שילר ג., 2013. דילול יער מונחה מאזן מים: מודל פשוט והשלכות ליער יתיר. אקולוגיה וסביבה.

2. כצנלסון י., 1960. הבצורת בארץ-ישראל. *ליערן* **10**, עמ' 12-16.

3. פז ש. 2004. מִדבור באגן המזרחי של הים-התיכון: הסבר אקלימי להיווצרותו. בתוך קליאוט נ, עורכת *"עיונים בניהול משאבי טבע וסביבה"*, כרך **2**, חוברת 2, 7–18. הוצאת החוג לניהול משאבי טבע וסביבה אוניברסיטת חיפה.

4. סבר נ., ונאמן ג., 2008. התייבשות והתאוששות של עצי אלון מצוי בישראל לאחר רצף של שנות בצורת. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **10**, עמ' 10-16.

5. סערוני ה.,.זיו ב., פרגמנט ר., חלפון נ., פורשפן א., אוסטינסקי-צדקי א., .2012. תנודות בגשמי הנגב בחמישים השנים האחרונות- האם עדות לשינוי באקלים. *אקולוגיה וסביבה* **3** (1): עמ' 62-71.

6. קאפלה ה. ח., וברוינס ה., 2010. מגמות אקלימיות בישראל 1970-2002: חם וצחיח בפנים הארץ. *אקולוגיה וסביבה* **1**: עמ' 16-22.

7. שילר ג., 1977. יחסי גומלין שבין התפתחות אורן ירושלים לבין תנאי הסביבה. *ליערן* **27**, עמ' 13-23.

8. שילר ג., אונגר יו. ד., וגניזי א., 2005. האם גורל העץ כתוב בטבעות שנתיות? אפיון עצים ביער כרמים בעקבות החורף השחון 1998/9. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **7**, עמ' 18-26.

9. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger Th., Rigling A., Breshears D.D., Hogg T.T., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J-H., Allard G., Running S.W., Semmerci A. and Cobb, N., 2009. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risksof forests. *For. Ecol. Manage*. Doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001.

10. Adams H.D., Guardiola-Claramonte M, Barron-Gafford G.A., Villegas J.C., Breshears D.D., Zou Ch. B., Troch P.A., and Huxman T.E., 2009. Temperture sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change type drought. *PNAS* **106**, 7063-7066.

11. Breshears D.D., Myers O.B., Meyer C.W., Barnes F.J., Zou C., Allen F.D., McDowell N.G. and Pockman W.T., 2009. Tree die-off in response to global change-type drought: mortality insights from a decade of plant water potential measurements. *Front. Ecol. Environ.* **7**, doi: 10.1890/080016.

12. Delzon S. and Loustau D., 2005. Age-related decline in stand water use: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence. *Agri. and For. Meteorol*. **129**, 105-119.

13. Grunwald C and Schiller G., 1988. Needle xylem water potential and water saturation deficit in provenances of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. *foret mêditerranéeene* **10**, 407- 414.

14. Hertig E. and Jacobeit J., 2008. Assessments of Mediterranean precipitation changes for the 21st century, statistical down scaling techniques. *Int. J. Climatol*. **28**, 1025-1045.

15. IPCC, 2007. Climat change 2007: the physical science basis. In: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L., (Eds.), Contribution of working group 1 to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.

16. Klein T., Cohen S., and Yakir D., 2011. Hydraulic adjustment underlying drought resistance of *Pinus halepensis*. *Tree Physiol*. Doi: 10.1093/treephys/tpr047.

17. van Mantgem Ph J., Steohenson N.L., Byrne J.C., Daniels L.D., Franklin J.F., Fulé P.Z., Harmon M.E., Larson A.J., Smith J.M., Taylor A.H., Veblen T.T., 2009. Widspread Increase of Tree Mortality Rates in Western United States. *Science* **323**: 521-524.

18. Maseyk, K S., 2006. Ecophysiological and phenological aspects of *Pinus halepensis* in an arid-Mediterranean environment. Ph. D. Thesis, the Weizmann Institute of Science, Israel.

19. McDowell N., Pockman W.T., Allen C.D., Breshears D.D., Cobb N., Kolb Th., Plaut J., Sperry J., West A., Williams D.G., and Yepez E. A., 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* Doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x (published online).

20. Merzer T., 2007. The effects of different vegetative cover on the local hydrological balance of a semi-arid afforestation. M. SC. Thesis, Ben-Gurion University of the Negev, Israel.

21. Moreno-Gutierrez, C., Cubera E., 2008. Impact of stand density on water status and leaf gas exchange in *Quercus ilex*. *For. Ecol. Manage*. **254**, 74-84.

22. Moreno-Gutierrez, C., Battipaglia, G., Cherubini, P., Saurer, M., Nicolasa, E., Contreras, S., Querejeta, JL., 2012. Stand structure modulates the long-term vulnerability of Pinus halepensis to climatic drought in a semiarid Mediterranean ecosystem. *Plant Cell Environ*. **35**, 1026-1039.

23. Raz-Yaseef N., Yakir D., Rotenberg E., Schiller G. and Cohen S., 2009. Ecohydrology of a semi-arid forest: Partitioning among water balance components and its implication on predicted precipitation changes. *Ecohydrology*, doi 10.1002/eco.65.

24. Raz-Yaseef N., Ritenberg E. And Yakir D., 2010. Effects of spatial variations in soil evaporation caused by tree shading on water flux partitioning in a semi-arid pine orest. *Agri. and For. Meteo*. **150**, 454-462.

25. Roehle, H., 1991. Yield Tables for Aleppo pine (*Pinus halepensis*) in Israel. Chair of Forest Yield Sciences, University of Munich, Federal Republic of Germany.

26. Safriel, N.U., 2005. Monitoring and evaluation of watersheds in the Middle East. Final Scientific Report-Israel. Submitted to the US Forest Service.

27. Shachanovich Y. Berliner P.R., and Bar P., 2008. Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. *J. hydrol*. **349**, 168-177.

28. Sprinstin M., Karnieli A., Berliner P., Rotenberg E., Yakir D., and Cohen S., 2007. The effect of spatial resolution on the accuracy of leaf area index estimation for a forest planted in the desert transition zone. *Remote Sensing of Environ*. **109**, 416-428.

29. Schiller G. and Madar Z., 1991. Variation in foliage resin composition within the Italian cypress (*Cupressus sempervirens* L.) species complex and its relation to canker diseases. *Eur. J. For. Path*. **21**, 179-184.

30. Schiller G, Ungar E. D., Yosef M., Cohen, S. and Cohen Y., 2003. Estimating water use by sclerophyllous species under East-Mediterranean climate. 2. The transpiration of *Quercus calliprinos* Webb. in response to silvicultural treatments. *Forest Ecol. Manage.* **179**, 483-495.

31. Schiller G., Ungar E. D., Shabtai C and Herr N., 2010. Water use by Kermes and Tabor oaks growing in their respective habitats in the Lower Galilee region of Israel *Forest Ecol. Manage.* 259, 1018-1024.

32. Scholander P F., Hammel H T., Bradstreet E D.,and Hemminsen E A., 1965. Sap pressure in Vascular plants. *Science* **149**, 389-394.

33. Sperry J.S., Hacke U.G., Oren R. a*nd ComstokJ.P., 2002*. Water deficits and hydrauliclimits to keaf water supply. *Plant, Cell Environ*. **25**, 251-263.

34. Ungar E. *D., Rot***enb**erg E., Ras-Yaseef N., Cohen S., Yakir D., Schiller G., 2013. Transpiration and annual water balance of Aleppo pine in a semiarid region: implications for forest manage*ment. For. Ecol. Manage***. 298**, 39-51

5.3 יעראות מוכוונת על ידי השונות הגנטית

5.3.1 מבוא

החקלאות שינתה את המערכת האקולוגית בשטחים המעובדים בהתאם לצרכים (קרקע מפולחת, מושקית, מדושנת ומזובלת, פעילות של הדברת מזיקים ומחלות ומחזור זרעים). אך השטחים שבהם גדלים יערות, בדרך כלל אינם ניתנים לעיבוד עקב הטופוגרפיה (מדרונות תלולים) והמורפולוגיה (סלעים, אבנים). בנוסף לכך בדרך כלל אין השקיה ואין הדברת עשבים, מזיקים ומחלות. כלומר, אין שינויים או רק שינויים מזעריים מעשי ידי אדם באקולוגיה של בית הגידול לטובת העצים שאנו רוצים לגדל. על כן, כדי להצליח בגידול יער נטע אדם קיים צורך מוחלט להתאים את מיני העצים לתנאי בית הגידול שאינם ניתנים לשינוי כפי שהדבר נעשה בחקלאות.החקלאות מבוססת ברובה הגדול על גידולים שמחזור הגידול שלהם הוא בין שבועות ספורים לבין שנים אחדות (במטעים); אפשר לטפח באופן מתמיד זנים וקווים גנטיים משופרים לעמידות בפני פגעי הטבע. לעומת זאת, משך מחזור גידול של עצי יער נע בין עשרות בודדות ועד מאות שנים אחדות. ברוב עצי היער התחלת תקופת הפוריות היא בין 10 ו-100 השנים הראשונות. כלומר, משך הזמן להצלחת פעולות השבחה ביער שנהוג בו חידוש טבעי עשוי להימשך עשרות רבות של שנים, בדרך כלל מעבר לתקופת עבודתו של היערן הבודד. הדרך המקובלת לקדם את האיכות של עצי היער היא בעזרת ברירה (על פי קריטריונים ברורים) בחלקות היער של העצים "הטובים": הוצאת "הפחות טובים" על ידי דילול, השארת "עצי אם" לזרעים לצורכי חידוש טבעי ו/או לשם איסוף זרעים עבור גידול שתילים במשתלה. "עצי האם" לזרעים עשויים להוות גם נקודת מוצא להשבחה בעזרת "מטעי אם" קלונאליים לזרעים. ההחלטה משנת 2005, בדבר ממשק יערני בר-קיימא, מחייבת חידוש טבעי של היער.

רצון עז להרחיב את המִגוון של עצי יער באמצעות אימוץ של מינים מאזורי אקלים הומולוגיים התפתח בארץ כבר בתחילת הפעילות היערנית בסוף המאה ה-19 (נטיעות הטמפלרים, נטיעות פיק"א), זאת עקב המגוון המועט יחסית בארץ של מינים רמי-קומה. פעילות של שימוש "במינים אקזוטיים" הייתה מקובלת ביערנות העולמית למטרות הגדלת היבולים; למשל, שתילת המין פסוודו-טסוגה מנזיאנזי (*Pseudotsuge menziensii*) במרכז אירופה; שתילת מיני איקליפטוס בדרום מזרח-אסיה, אפריקה וברזיל; שתילת אורן מקרין (*Pinus radiata*) בדרום אפריקה, ניוזילד ואוסטרליה ועוד. הספר של דר' גינדל "אקלום

צמחים" [1] מספק צוהר למאמצים הרבים בכיוון זה. בנוסף לאימוץ מינים חדשים לאזורנו, יובאו גם זרעים של מינים מקומיים דוגמת אורן ירושלים. כנראה שבעיני היערנים דאז, האוכלוסיות השרידיות בארץ לא היו ראויות כמקור לזרעים, כך ניטעו בארץ במסגרת כל מין ומין שתילים שנוצרו מזרעים שנאספו מאזורים גיאוגרפיים שונים ממרחבי התפוצה (האראל) של כל מין (אקוטיפים) ונוצרה תערובת מורכבת של אקוטיפים ביערות בארץ. הזרעים שיובאו לארץ בעיקר על ידי חברות זרעים, אך גם על ידי הגופים המייערים בעצמם, הובאו ללא ציון המיקום הגיאוגרפי מהם נאספו, דבר שהיה מאפשר לקשר בין התנאים האקולוגיים השוררים במקום מוצאם לבין בריאותם, התפתחותם והתנהגותם בתנאים האקולוגיים במקום שתילתם בארץ.

עד שנות ה-50 של המאה העשרים לא ייחסו משמעות רבה, עקב חוסר ידע, לאינטראקציה שבין התנאים האקולוגיים המקומיים והרקע הגנטי של העץ. כלומר, להתאמה שנוצרה עם הזמן בעזרת הברירה הטבעית בין מין מסוים והתנאים האקולוגיים המקומיים בהם הוא גדל בתחום אזור תפוצתו הטבעית כלומר, להיווצרות אקוטיפים. המחקר בתחום הגנטי באוכלוסיות עצי יער עדיין לא היה מפותח, על כן, כאשר הגיעה השמועה לאוזניהם של יערנים כי באזורי יער רחוקים גיאוגרפית וגם שונים אקולוגית גדל מין מסוים בהצלחה רבה מאוד והעצים מתפתחים בצורה יוצאת דופן בהשוואה לאזורים אחרים, הם הזמינו זרעים מאותם אזורים בתקווה שגם אצלם תתרחש גדילה מרשימה; בדרך כלל צפי זה לא התגשם [2].

כפי שכבר נאמר, אחת מהמטרות המרכזיות של היערנות הישראלית <u>עתה</u> היא לפתח מתוך יער החלוץ החד-מיני והחד-גילי, בכל מקום שהדבר אפשרי מהבחינה האקולוגית, יער בר-קיימא שהוא רב-מיני ורב-גילי. אחד מאבני היסוד לקיומו של יער מסוג זה היא ההתאמה הגנטית של המין שניטע בעבר לתנאים האקולוגיים בכל אתר ואתר. השתילים שמקורם בזרעים ממקורות רבים ושונים (אקוטיפים שונים), שנשתלו בארץ ביערות הראשונים (F_0), הכליאו עם התבגרותם בעיקר באמצעות האבקת רוח (במחטניים ובאלונים) בתוך ובין היערות. הזרעים שנוצרו (F_1), נאספו ושמשו להמשך הייעור. דבר זה גרם לכך שעתה גדלים ביערות שלנו עצים שהמבנה והמגוון הגנטי שלהם אינו דומה לזה של העצים הטבעיים המקומיים והוא גם אינו ידוע לנו. מכלל העצים הגדלים בעומדים השונים רק בודדים הם "עצים טובים" מהבחינה היעראית. כלומר, עצים שראוי כי זרעיהם ישמשו לחידוש טבעי או מלאכותי של היער, כי הם בעלי צורה טובה בהתאם להגדרות של "עץ אם"

לזרעים. הם מראים חיוניות רבה, צמיחה טובה, הכותרת בנויה היטב, הם אינם פגועים על ידי מזיקים ומחלות ולא על ידי רוחות סערה.

ממשק היער כולל מספר פעולות:

א. במידה וישנה התאמה טובה בין האקוטיפים שגדלים בשטח לבין התנאים האקולוגיים בו; רצוי לנקוט בדילולים כל פרק זמן עד "סוף המחזור" ואז לחדש העומד בעזרת "חידוש טבעי".

ב. שתילה - כאשר אנו רוצים להחליף את האקוטיפ של המין או את המין הגדל בעומד לאחר, המותאם טוב יותר לתנאי בית הגידול.

גם ביערות, שמטרת גידולם אינה כוללת יצור עץ למטרות מסחריות, רצוי שהשיקולים וההחלטות על דילול עץ זה או אחר יכללו גם את נקודת המבט המשווה בין "האיכות היערית" של העץ המועמד להיכרת לזה המועמד להישאר. עץ בעל "איכות יערית" גבוהה קרוב לוודאי שהוא עץ שמספר הגנים הפולימורפיים = מספר הגנים שיש להם יותר מאלל אחד, גבוה יותר ויתכן שיש בו אללים ייחודיים או נדירים לעומת עץ שמוגדר כבעל איכות יערית נמוכה. ריבוי גנים פולימורפיים מאפשר לעץ להתמודד טוב יותר עם התנודות העונתיות והרב-שנתיות בתנאי בית הגידול. למשל, שינויים אקלימים ברמת המִשקעים והטמפרטורות [3, 4, 5, 6, 7, 8].

ספרות, מקור הציטוט

1. גינדל י., 1957. אימוץ צמחים. הוצאת עם עובד 355

2. Bradshaw R.H.W., 2004. Past anthropogenic influence on European forests and some possible genetic consequences. *For. Ecol. Manage*. **197**, 203-212.

3. Knowles P., Grant M.T., 1981. Genetic patterns associated with growth variability in *Ponderosa pine*. *Am. J. Bot*. **68**, 942-946.

4. Knowles P., Mitton J.B., 1980. Genetic heterozygosity and radial growth variability in *Pinus contorta*. *Silvae Gent*. **29**, 114-118.

5. Larsen J.B., 1986a. Das Tannenesterben: Eine neue Hypothese zur klärung das Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weistanne (*Abies alba* Mill.). *Forstw. Cbl*. **105**, 381-396.

6. Larsen J.B., 1986b. Die geographische variation der Weisstanne (Abies akba Mill.) Wachstumsentwiklung und Frost resistanz. *Forstw. Cbl*. **105**, 396-406.

7. Schiller G., Korol L., Shklar G., 2004. Habitat effects on adaptive genetic variation in *Pinus halepensis* Mill provenances. *For. Genet*., **11**, 325-335.

8. Schiller G., Atzmon N., 2009. Performance of Aleppo pine (pinus halepensis) provenances g*rown at the edge* of the Negev deser*t: A revie*w. ***J** of Arid Environ*. **73**, 1051-1057.

5.3.2 *אורן ירושלים*

א. הבדלים בין אוכלוסיות שרידיות בארץ (אקוטיפים, גנוטיפים)

מין זה גדל בארץ מקדמת דנא (לפחות *מתקופת הפליסטוקן*, *שני* מליון שנה) בפלשתינה (ישראל וירדן) [29]. כלומר, מין זה הוא חלק מובנה מהצומח של ארץ ישראל [52]. מההבדלים בכמות גרגירי האבקה של אורן ירושלים שנמצאו בשכבות קרקע שהוצאו מעומקים שונים בקידוחים יבשתיים וימיים ניתן להסיק על תנודות גדולות יחסית בנוכחותו בתקופות גיאולוגיות ואו היסטוריות שונות [51]. בתחילת המאה העשרים עדיין נותרו ממנו רק מספר אוכלוסיות שרידיות (טבעיות) [11, 22, 25, 30]. תופעות של התנוונות עצים ביער שער הגיא, שאירעו בראשית שנות השבעים, יצרו התעניינות מרובה באורן זה ובסיבות לתופעת ההתנוונות של יערות נטועים שהלכה ופשתה בארץ. מחקרים רבים נעשו במטרה לזהות את הסיבות לתופעה זו ובינותם גם מחקרים על הבדלים מורפולוגיים, פיזיולוגיים וגנטיים בין העומדים הנחשבים לטבעיים (לא נטועים, או לחילופין נטועים מחומר מקומי קדום). העומדים שנחקרו הם: רכס ראש הנִקרה, ירכא, הר מירון (חורבת שפנים), הכרמל הגבוה (עוספיא), הכרמל הנמוך (ניר עציון), ביתא, אום-צפא וסביבותיה, בית מאיר (המסרק), ואורנים בודדים בוואדיות למרגלות הר חברון, האורנים בכנסייה הרוסית בחברון, האורנים ברובע הארמני בירושלים ובאזור עגור בשפלה הפנימית ועוד. תוצאות המחקרים הצביעו על הבדלים מובהקים בין האוכלוסיות בפנוטיפיות של העצים, כלומר, במבנה המחטים, הקליפה, האצטרובלים ועוד [33]. הבדלים בפרמטרים מורפולוגיים שונים של הזרעים והנבטים [34]. הבדלים בין אוכלוסיות בפרמטרים פיזיולוגיים בזרעים, בנבטים ובשתילים [3, 39]. הבדלים מובהקים בהרכב השרף שהופק מהקסילם [38]. הבדלים מובהקים בתדירות של אללים במספר גנים [26]. המסקנה מהמחקרים היא שהאוכלוסיות הנ״ל הן

שריד לאוכלוסייה קדמונית אחת שהתפצלה, וכל חלק הותאם לבית הגידול שלו. היחסים בין האוכלוסיות השרידיות השונות סוכמו במאמר בשפה העברית [11].

אחת מהשיטות המהימנות לזהות הבדלים בין מינים ובין אוכלוסיות שונות במסגרת של המין (אקוטיפים, גנוטיפים) בתחילת שנות השמונים של המאה העשרים, הייתה לבדוק את המבנה הגנטי. כלומר, את כמות הגנים הפולימורפיים והמונומורפיים באוכלוסיה ואת התדירות של האלל האחד או השני באוכלוסיה. בדיקה זו נעשתה בעזרת איזוזימים שהם חלבונים תוצרי הגנים ולכן גם להם יש יותר מצורה מולקולארית מרחבית אחת בהתאם לאלל האחד או השני של הגן; בדרך כלל יש שתי צורות מרחביות (שני אללים). האיזוזימיים הופקו מריקמת המגה-גמטופיט (=האנדוספרם) אשר בזרעי אורנים שהיא רקמה ממוצא אימהי בלעדי, דבר המאפשר לקבוע את הגנום של עץ האם (העץ נושא הזרעים) וגם את התרומה של עץ האב כאשר משווים את הגנום האימהי לגנום בעובר שבזרע. הבדיקות הראו כי מבין 22 איזוזימים שונים (22 גנים שונים) שאפשרי היה לבדוק מבחינה טכנית בתחילת שנות השמונים של המאה העשרים במיני עצים שונים, רק בודדים מהם נמצאו פולימורפים באורן ירושלים. המיעוט של אזוזימים פולימורפיים (גנים פולימורפיים) מתבטא בסופו של דבר במגוון הגנטי המבוטא כהטרוזיגוטיות של העץ הבודד, האוכלוסייה והמין. נימצא כי ממוצע רמת המגוון הגנטי הצפויה (He) באורן ירושלים היא 0.045, שהיא נמוכה בהשוואה לרוב מיני האורנים בעולמינו, שנעה בין 0.000 ב- *Pinus torreyana* ועד 0.356 ב- *Pinus sylvestis*; ו- 0.110 באורן ברוטיה. אך גם במסגרת המין המגוון הגנטי משתנה מאזור גיאוגרפי אחד למשנהו (ראה פרק שני בספר זה על אורן ירושלים וגם [32]).

התדירות של האללים בשמונה גנים (איזוזימים) פולימורפיים באוכלוסיות השרידיות וביערות נטועים של אורן ירושלים מוצגת בטבלה 5. הטבלה מראה כי בחלק מהיערות הנטועים ישנם אללים שאינם קיימים בגנום של האוכלוסיות השרידיות בארץ, אלא רק באוכלוסיות בחו״ל, מה שמעיד על כך שהיה יבוא של זרעים מחו״ל לשם ייעור. למשל, באתר (Locus) של הגנים Adh_2, Lap_1, Mdh_3 יש רק אלל אחד באוכלוסיות הטבעיות בארץ, בעוד שיש שני אללים בחלק מהיערות הנטועים.

טבלה 5: תדירות האללים בשמונה גנים באוכלוסיות שרידיות טבעיות וביערות נטועים בישראל.

Locus	RH	BJ	Yi	Is	NE	Be	US	Bm	Mosk.	1	2	3	4	5	6	7	8
Allele	ר ה	ב ג	יר	עס	נ ע	בי	אוצ	ב מ	ח	אל	ה ד	מ ה	ב ש	ש ה	ק ע	יע הק	ע
Aap_1																	
1	0.77	0.21	0.23	0.26	0.59	0.86	0.37	0.52	0.73	0.20	0.14	0.35	0.90	0.72	0.62	0.21	0.58
2	0.23	0.79	0.77	0.74	0.41	0.14	0.63	0.48	0.27	0.80	0.86	0.65	0.10	0.28	0.38	0.79	0.42
Aco																	
1	0.92	1.00	0.91	0.92	0.85	0.53	0.70	0.56	0.81	0.84	0.92	0.86	0.47	0.80	0.54	0.72	0.69
2	0.08		0.09	0.08	0.15	0.47	0.30	0.44	0.19	0.16	0.08	0.14	0.53	0.20	0.46	0.23	0.31
Adh_2																	
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00
2														*0.02*			
Cat_2																	
1	0.89	0.90	0.91	0.79	0.79	1.00	0.76	0.90	0.83	0.80	0.95	0.91	1.00	0.98	0.98	0.81	0.91
2	0.11	0.10	0.09	0.21	0.21		0.24	0.10	0.17	*0.20*	*0.05*	*0.09*		*0.02*	*0.02*	*0.19*	*0.09*
Lap_1																	
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.92	1.00	1.00	0.89	1.00	1.00	0.98
2										*0.03*	*0.08*			*0.11*			*0.02*
Mdh_3																	
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.95	1.00	0.72	0.92	1.00	0.98
2										*0.02*	*0.02*	*0.05*		*0.28*	*0.08*		*0.02*
Mdh_4																	
1	0.78	0.78	0.74	0.56	0.52	0.76	0.68	0.64	0.88	0.63	0.33	0.97	0.67	0.19	0.58	0.65	0.47
2	0.22	0.22	0.26	0.44	0.48	0.24	0.32	0.36	0.12	0.37	0.67	0.03	0.33	0.81	0.42	0.35	0.53
$6Pgd_2$																	
1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	0.98	1.00	0.99	1.00	0.94	1.00	1.00	0.96
2					0.02		0.02			*0.02*		*0.01*		*0.06*			*0.04*

היערות הנטועים שנבדקו: המוסקוביה בחברון -ח, עגור- ע, יער הקדושים- יע הק, קריית-ענבים - ק ע, שער הגיא – ש ה, בן-שמן – ב ש, משמר העמק – מ ש, הר דבורה – ה ד, אלקוש - אל,
האוכלוסיות השרידיות שנבדקו: בית מאיר (המסרק) – ב מ, אום-צפא – או צ, ביתא – בי, ניר עציון – נ ע, עוספיה -עס, ירקא – יר, בית ג'אן - ב ג, ראש הנקרה – ר ה.

טבלה 6 מראה כי באוכלוסיות השרידיות מספר האללים הממוצע באתר (locus) = גן נעה בין 1.10 ל- 1.17, בעוד שבאוכלוסיות הנטועות הוא נעה בין 1.10 ל- 1.27 כלומר, באוכלוסיות אלו יש אללים נוספים שנוספו באתרים אשר היו מונומורפיים באוכלוסיות הטבעיות, לכן אחוז האתרים הפולימורפיים שהיה בין 10.00% ל- 16.67% באוכלוסיות הטבעיות עלה לכדי בין 13.33% ו- 23.33%.

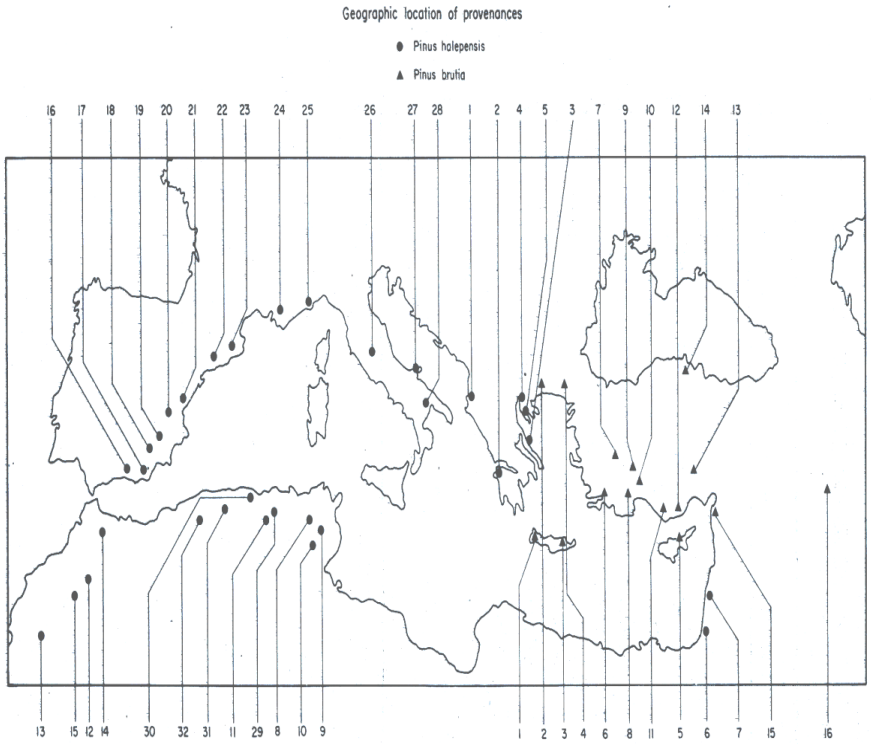
טבלה 6: מספר אללים ממוצע, אחוז אתרים (locus) פולימורפיים וההטרוזיגוטיות הממוצעת כפי שהם נובעים מהנתונים בטבלה 1.

מקור הזרעים	מספר אללים ממוצע באוכלוסיה	אחוז האתרים הפולימורפיים (קריטריון של 1%)	הטרוזיגוטיות ממוצעת	
			ספירה ישירה (H)	צפויה (He)
אוכלוסיות טבעיות				
ראש הניקרה, גליל עליון	1.13	13.33	0.03	0.04
בית ג'ן, גליל עליון	1.10	10.00	0.04	0.03
ירקא, גליל עליון	1.13	13.33	0.04	0.04
ביתא, שומרון מזרחי	1.13	13.33	0.05	0.05
עוספיה, הכרמל הגבוה	1.17	16.67	0.06	0.05
ניר עציון, הכרמל הנמוך	1.10	10.00	0.04	0.04
אום צפא, השומרון	1.17	16.67	0.06	0.06
בית מאיר, הרי יהודה	1.13	13.33	0.07	0.06
חברון (המוסקוביה)	1.13	13.33	0.03	0.04
ממוצע וסטית התקן	1.13 ± 0.02	11.86 ± 5.02	0.046 ± 0.014	0.044 ± 0.010
אוכלוסיות נטועות				
יער אלקוש	1.23	23.33	0.05	0.05
יער הר דבורה	1.24	20.00	0.03	0.04
יער משמר העמק	1.24	20.00	0.04	0.05
יער בן שמן	1.10	10.00	0.01	0.04
יער שער הגיא	1.27	26.67	0.04	0.06
יער קרית ענבים	1.16	16.66	0.06	0.06
יער הקדושים	1.13	13.33	0.04	0.05
ממוצע וסטית התקן	1.20 ± 0.07	18.57 ± 5.73	0.038 ± 0.015	0.049 ± 0.008

ב. התאמת מקורות זרעים מחו"ל לתנאים האקולוגיים בארץ

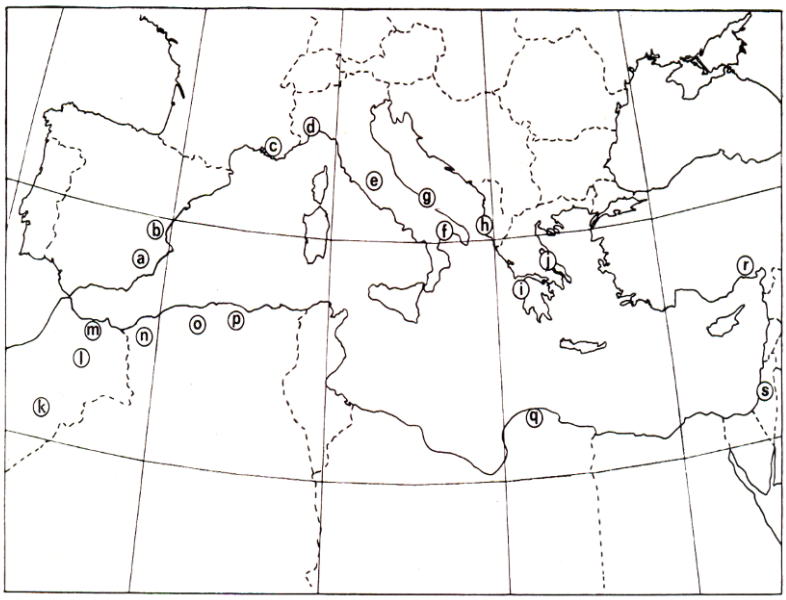
ההתעניינות הבין-לאומית במחטניים ים-תיכוניים, עמידים יחסית ליובש, גדלה מאוד בשנות השישים והשבעים. על כן, תחת המטרייה של Silva-méditerranéene, גוף שמטרתו לרכז שיתוף פעולה במחקר יערני בין מדינות שלחופי הים התיכון, נעשה איסוף זרעים ביערות טבעיים נבחרים במרחבי האראל של המינים השונים. מפה 1 מציינת את נקודות האיסוף של זרעי אורן ירושלים, אורן ברוטיה ואורן אלדריקה ביערות טבעיים בתחום האראל של כל מין [36].

<u>מפה 1</u>: המקומות הגיאוגרפיים בהם אספו זרעי אורן ירושלים (עיגולים שחורים), אורן ברוטיה (משולשים שחורים) (מתוך: Forest Genetic Resources Information-5, 15)

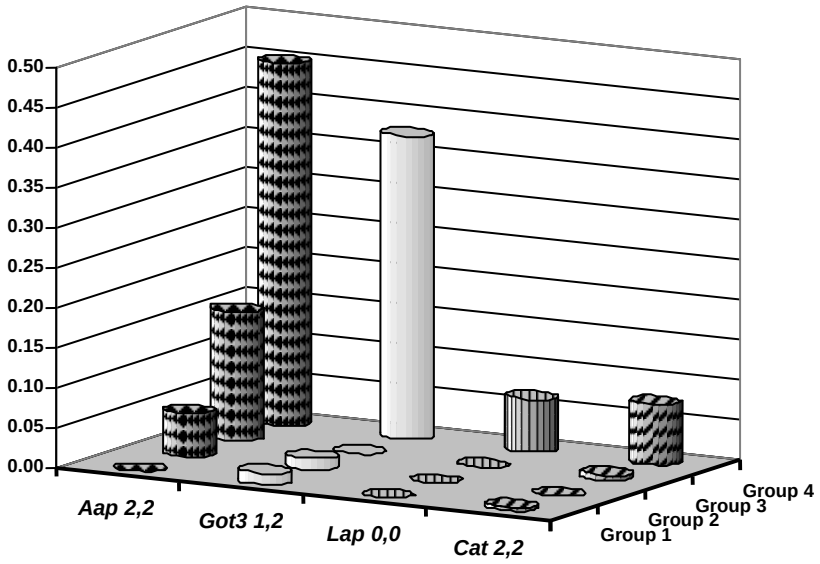


כל מדינה שהייתה מעוניינת במחקר על ההבדלים בהתפתחות שבין מקורות הזרעים השונים, כדי לבחור לעצמה את המקורות המתאימים ביותר למטרות ייעור, קיבלה חלק ממאגר הזרעים שנאספו. גם ישראל קיבלה משלוח זרעים. המקורות ששימשו למחקר בארץ מצוינים במפה 2. המגוון הגנטי של האוכלוסיות מהם התקבלו זרעים (ראה מפה 2) ניבדק בעזרת איזוזימים, התוצאות מוצגות בפרק שתים שבספר, תת פרק על אורן ירושלים, איור 1 מתאר את הירידה במגוון הגנטי (ההטרוזיגוטיות) באורן ירושלים ממזרח אגן הים התיכון (חצי האי הבלקני, למערבו (ספרד, מרוקו). בנוסף נימצא כי קיימים הבדלים מובהקים סטטיסטית, ברמה של $P> 0.001$, בתדירות של האללים בגנים השונים כלומר בתדירות של הגנוטיפים השונים כפי שחלקם מתוארים באיור 6 [44] בין 19 האוכלוסיות (מקורות הזרעים) שניבדקו.

<u>מפה 2</u> : המקורות של הזרעים של אורן ירושלים ששימשו לבדיקות גנטיות ומורפולוגיות ועוד. (* האותיות בתוך העיגולים מציינים את האוכלוסייה. האוכלוסייה S מסמנת את אורן ירושלים טבעי בישראל.)

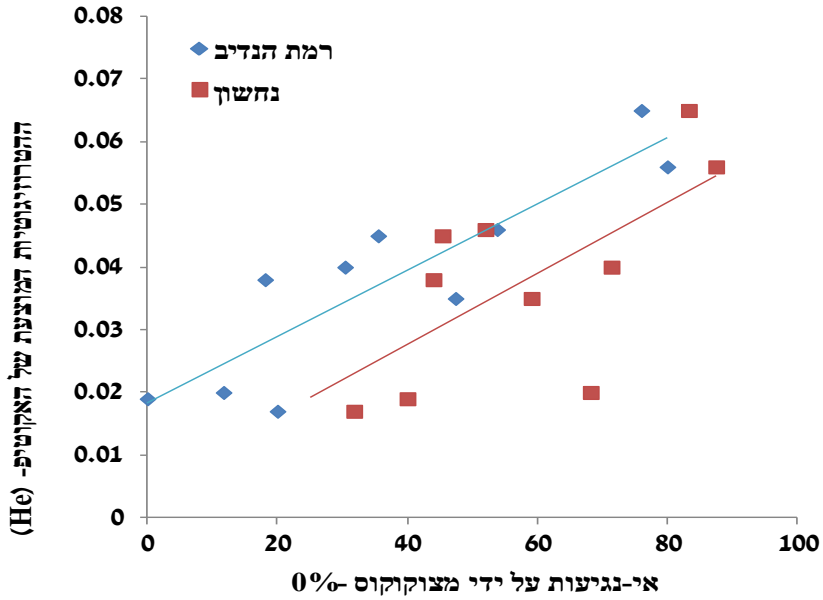


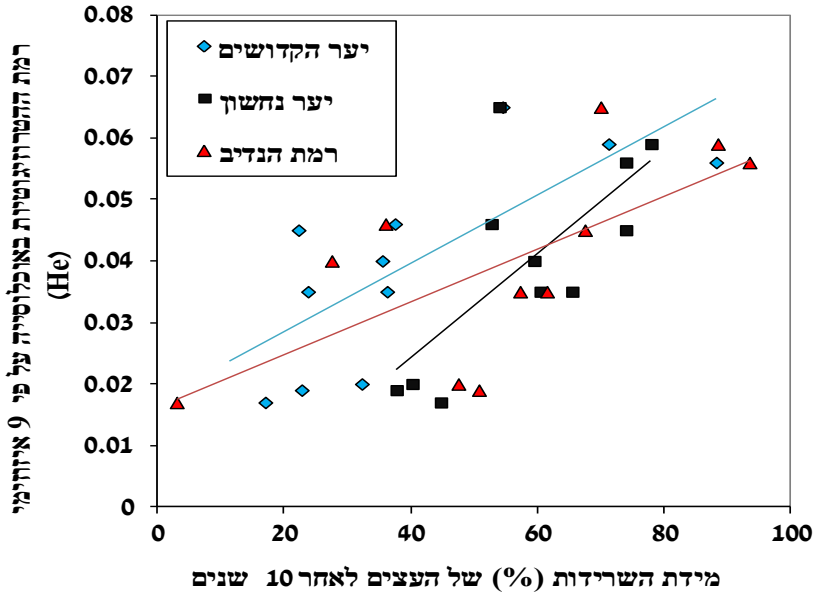
<u>איור 6</u> : תדירות הגנוטיפים בגנים שונים בארבעת הקבוצות הגאוגרפיות של אורן ירושלים.
קבוצה 1 כללה אוכלוסיות ממערב ארופה-ספרד וצרפת ומצפון אפריקה-מרוקו ;קבוצה 2 כללה אוכלוסיות מאיטליה ויון ; קבוצה 3 כללה אוכלוסיות מטוניס ; קבוצה 4 כללה אוכלוסיות מישראל, ירדן וטורקיה.



כדי לבדוק את הצמיחה והעמידות של שתילי אורן ירושלים שמקורם מאוכלוסיות שונות מסביב לאגן הים התיכון, בתנאים האקולוגיים השונים בארץ, נשתלו בשנת 1976 שלוש חלקות ניסוי: ברמת הנדיב, ביער הקדושים וביער נחשון [49, 50]. חלק אחר של הזרעים שימש לבדיקות גנטיות. מאמץ מחקרי רב הוקדש ללימוד הבדלים בין העצים ממקורות הזרעים השונים שנתקבלו מחו״ל והתפתחו בחלקות המעקב: תוצאות המחקרים הראו כי קיימים הבדלים מובהקים במגוון הגנטי כפי שנבחנו בעזרת בדיקת איזוזנזימים [40]; בקצב הצמיחה והשרידות [50, 51]; במורפולוגיה ואנטומיה של המחטים [לא פורסם]; ביחסי צמח-מים [27]; בהרכב השרף במחטים [38, 41]; בנגיעות על ידי כנימת המצוקוקוס [35]. היחס שבין המגוון הגנטי (המבוטא כהטרוזיגוטיות הממוצעת) לבין השרידות של העצים בחלקות הניסיון מוצג באיור 7א; היחס שבין מידת אי-הנגיעות בכנימת המצוקוקוס [35] לבין המגוון הגנטי של האוכלוסיות השונות הנטועות בשתי חלקות ניסוי ניתן באיור 7ב. מהאיורים ניראה שככל שמקור הזרעים מאופיין על ידי מגוון גנטי גבוה יותר, כלומר, הוא מאוכלוסיה יותר מזרחית בתחומי אגן הים התיכון, כן השרידות והגדילה של העצים טובה יותר בחלקות הניסוי בארץ, שנשתלו בתנאים אקולוגיים שונים [49, 50]. בנוסף נראה בברור כי ככל שגדל המגוון הגנטי פוחתת הנגיעות במצוקוקוס [35]. אפשר רק להצטער שבחלקות הניסוי האלו לא נשתלו גם שתילים שמוצאם מהיערות הטבעיים בארץ. היות והמגוון הגנטי הממוצע של אורן ירושלים טבעי בארץ ובירדן הוא 0.046 או 0.123, והמגוון הגנטי בחצי האי הבלקני הוא 0.064 או 0.183, על פי בדיקה בתשע או 15 איזוזימים בהתאמה (ראה איור 1 בפרק השני), ניתן להניח בסבירות גבוהה שצאצאים מהאוכלוסיות של אורן ירושלים טבעי במזרח אגן הים התיכון יהיו בעלי שרידות גבוה ונגיעות מועטה במצוקוקוס.

<u>איור 7</u>: **א.** שרידות שתילי אורן ירושלים בחלקות הניסוי ביחס לרמת ההטרוזיגוטיות הממוצעת של כל מקור זרעים.. **ב.** היחס שבין מידת אי-הנגיעות על ידי המצוקוקוס והמגוון הגנטי. (נוסחאות קווי הרגרסיה הליניארית בתחתית האיור)





<u>איור 7א</u>: הרגרסיה הליניארית בין שני המשתנים:		**<u>איור 7ב</u>**: הרגרסיה הליניארית בין שני המשתנים הנ"ל	
ברמת הנדיב	$r^2 = 0.390$, $P< 0.030$, n = 12	ברמת הנדיב	$r^2 = 0.786$, $P< 0.0006$, n = 10
ביער נחשון	$r^2 = 0.410$, $P< 0.026$, n = 12	ביער נחשון	$r^2 = 0.445$, $P< 0.035$, n = 10
ביער הקדושים	$r^2 = 0.460$, $P< 0.0015$, n =12		

בשנות השמונים נִשתלו חלקות נוספות ובהן חלק מהמקורות המצוינים במפה 2 וממקורות נוספים. רק שתי החלקות, אלו שניטעו ביער יתיר נִשמרו עד עתה והן תרמו רבות לאבחנה בין מקורות הזרעים השונים (אקוטיפים) במידת עמידותם ליובש, בשינויים

בפרמטרים גנטיים כתוצאה מסלקציה של התנאים האקולוגים ביתיר באוכלוסיות ממקורות שונים [13, 15, 42, 44].

הסקרים והמחקרים הרבים, בכל חלקות המעקב שנשתלו במדינות שונות סביב אגן הים התיכון, עם שתילים מאותם מקורות הראו כי השתילים והעצים שמוצאם מחצי האי הבלקני הם אלו שהתפתחו בצורה הטובה ביותר בהשוואה לכל שאר המקורות [18, 23]. תופעה זו מוסברת בכך שבאורן ירושלים שגדל בחצי האי הבלקני, קיימת הטרוזיגוטיות (Ht) שהיא הגבוהה ביותר מבין שאר מקורות הזרעים שנִבדקו [31, 38].

ג. המשמעות היערית של יבוא ו/או איסוף זרעים בארץ לייעור

בשנת 1972 הגיחה לידיעת הציבור כרעם ביום בהיר הפגיעה שנתגלתה בעצי אורן ירושלים ביער שער הגיא המנדטורי, שנִשתל בין השנים 1927-1937 [6, 8]. הציבור, באמצעות התקשורת, דרש הסברים לתופעה זו כי יער זה היה קרוב ללֵבו במיוחד בעקבות אירועי מלחמת השחרור והקרבות לפתיחת הדרך לירושלים. הפגיעה חרגה מאוד במימדיה ובאופייה מהמקובל בהתייבשות הנוף כתוצאה מתחרות על אור, הנובעת מצפיפות רבה, והתבטאה בהתייבשות הענפים מתחתית הנוף כלפי מעלה, וממקום חיבור הענף לגזע אל קצהו. כמו כן נִצפו הפרשות שרף רבות על פני הקליפה. הפגיעה נצפתה גם בעצים שלא גדלו בתנאי תחרות על אור. חוסר ידע והבנה של הגורמים, העשויים להביא לידי תופעה זו, היוו זרז לביצוע מִגוון נרחב של בדיקות ומחקרים בתחומים רבים ושונים על ידי מדענים וחוקרים מהאוניברסיטה העברית בירושלים, ממֶנהל המחקר החקלאי ומאוניברסיטת תל-אביב, ועוד. אי קיומו של "ספר היער", שבו אמורים היו להירשם ההחלטות הממשקיות והפעולות ביער שער הגיא, חוסר-מידע בקרב אנשי אגף הייעור של הקק"ל שקיבלו את האחריות על היער בשנת 1961, חוסר מידע בקרב אנשים אחרים המקורבים לפעולות הייעור שאמורים היו לדעת את מה שנעשה ביער זה בעבר, עודד ביצוע סריקה וסקירה של מסמכי אגף הייעור של ממשלת המנדט ושל ממשלת ישראל אשר בגִנזך המדינה. סקירה זו העלתה שעל מנת לקדם ולזרז את הייעור בארץ נִקנו במשך שנים כמויות גדולות יחסית (10-20 ק"ג-למשלוח) של זרעי אורן ירושלים מחברות זרעים בחו"ל [6], למרות שבארץ היו מקורות לזרעים של מין זה בעצים בודדים ועומדים שרידיים שגדלו בגליל, בכרמל, בשומרון וביהודה. מצילומים שנעשו בסוף המאה ה- 19 ובתחילת המאה ה- 20, הגנוזים בספריית הקונגרס האמריקאי ובמקורות אחרים, ניתן להסיק שמצבם של העומדים הטבעיים בארץ

מבחינת התפתחותם ואיכותם בתחילת המאה ה- 20 עשוי היה לגרום לראשי מערכת הייעור המנדטורית, שהיו יערנים מקצועיים, לחשוב כי מוטב לייבא זרעים של אורן ירושלים מחו״ל.

בשנים 1974-1976 נעשה סקר יערני מקיף ביער שער הגיא על מנת לעמוד על הקף הפגיעה, ולנסות ולהסביר את הפגיעה בעצים בתנאי בית הגידול המשתנים בתדירות גבוהה. תוצאות הסקר הצביעו על כך שביער גדלים במעורב עצי אורן ירושלים בעלי מופע (מבנה כותרות וקליפה) השונים אחד מהשני (פנוטיפים שונים), חלקם פגועים בדרגות שונות וחלקם אינם פגועים כלל [8]. חלק נוסף מהמחקרים סוכמו ופורסמו בשנת 1976 בביטאון אגודת היער בישראל - ״ליערן״, כרך 25, מס׳ 4-3. אך בסיכומו של דבר הם לא תרמו לגילוי ולהבנת הגורמים לפגיעה שנצפתה, שבחלוף הזמן גם התפשטה ביערות אורן ירושלים רבים במדינה. תוצאות הסקר הנ״ל הוכיחו גם כי לתנאי בית הגידול (התנאים האקולוגיים המקומיים) השפעה חזקה על גדילת העצים. מצד שני לא נמצא קשר כל שהוא בין תנאי בית הגידול לבין מופע העצים ומידת הפגיעה בהם [8, 10].

על מנת להבין האם הפנוטיפים השונים, שזוהו ביער שער הגיא, אכן שונים אחד מהשני ולא רק על פי מראה עיניים, נעשתה בדיקה תוך שימוש בגז–כרומטוגרפיה של הרכב השרף. הרכב השרף, כלומר, היחסים הכמותיים בין המרכיבים השונים של השרף נחשב כסמן מבדיל. שיטה זו הייתה מקובלת בשנות ה-70 וה-80 של המאה העשרים במחקרים על הבדלים גנטיים בין אוכלוסיות עצי יער מאותו המין [16, 17, 19, 28, 45, 47]. לצורכי הבדיקה הנ״ל הופק שרף מהעצה של עצים פגועים ועצים שאינם פגועים שגדלו ביער זה, ומעצים שגדלו באוכלוסייה השרידית במסרק. הבדיקה העלתה כי קיים הבדל גדול ומובהק בין שלושת קבוצות העצים הנ״ל בהרכב השרף [1].

השימוש בחלבונים תוצרי גנים (איזוזימים; Isoenzymes) חשפה את העובדה, שנשכחה לחלוטין, כי ביער שער הגיא וביערות אחרים שניטעו בתקופת המנדט הבריטי גדלים עצי אורן ירושלים שהתפתחו מזרעים מיובאים. נמצאו בהם סמנים גנטיים (אללים) שמאפיינים מין זה כאשר הוא גדל באזורים גיאוגרפים שונים ומוגדרים ברחבי אגן הים התיכון. בנוסף, נתגלתה גם תופעה אחרת, שההטרו-זיגוטיות המדודה (H) בחלקת יער הרצל שביער בן-שמן נמוכה מאוד (H=0.011%) בהשוואה ליערות אחרים שנבדקו, שבהם ההטרוזיגוטיות המדודה נעה בין 0.028 – 0.059. לפיכך חלקת יער הרצל ניטעה קרוב

לודאי מזרעים שנאספו מעץ אחד העומד בודד. כנראה העץ אשר עמד בחצר מוזיאון רוקפלר, השתילים נטעו גודלו במשק הפועלות בירושלים על ידי רחל ינאית [5].

באופן כללי ישנה משמעות יעראית ומעשית רבה מאוד ליבוא זרעים מחו״ל גם לגבי אותם המינים הגדלים באופן טבעי בארץ. שתילתם של מינים חדשים, ואף של מינים הגדלים בארץ אך ממקורות של זרעים מאזורים גיאוגרפיים אחרים, מבלי שעברו בחינה במשך תקופה ארוכה בחלקות אִקלום ומחקר, בהם התנאים האקולוגיים זהים לאלו שבשטחי הייעור, שנמשכת לפחות שליש מאורך החיים הצפוי של העצים, עשויה להיות הרת אסון. אכן, זה מה שנחווה לראשונה ביער שער הגיא ובהמשך ביערות רבים אחרים של אורן ירושלים במדינה.

המחקרים על הבדלים פנוטיפיים, אקו-פיזיולוגיים וגנטיים, כפי שפורטו בסעיפים 1 ו- 2, הראו כי קיים שוני מובהק בין אוכלוסייה לאוכלוסייה בתכונות שנִבדקו. כלומר, האוכלוסיות השרידיות מותאמות מהבחינה הגנטית והאקו-פיזיולוגית לתנאי בית הגידול (התנאים האקולוגיים במקום גדילתם בארץ), שכמובן שונים מנקודה לנקודה. כמו כן נמצא שהעצים שהתפתחו מזרעים שהובאו מחו״ל, בעיקר ממערב אגן הים-התיכון, שונים במידה רבה במבנה הגנטי שלהם (בנוכחות ובמספר האללים בגנים השונים) מהעצים שהתפתחו מזרעים שנאספו מהאוכלוסיות השרידיות. הבדל זה, הנובע מברירת התנאים האקולוגיים, מצביע על כך שהעצים שגדלו מזרעים מיובאים אינם תמיד מותאמים לתנאים האקולוגיים הקיימים באזורי הייעור בארץ, ובוודאי שלא באזורי ייעור שהם בשולי האקלים הים-תיכוני בארץ. כלומר, מעל ל- 150 ימים ללא גשם ופחות מ-400 מ״מ גשם בממוצע רב-שנתי. בעוד שמוצאם הוא מאקלים ים-תיכוני יותר לח, שבו מספר ימי הגשם אינו פוחת מ- 120 [53]. מכאן שגנומים אלו עשויים להיות רגישים יותר לתנאי אקלים קיצוניים, מזיקים ומחלות. בנוסף לכך, גם אם השתמשו בייעור בזרעים שנאספו באוכלוסיות השרידיות, השתילים ניטעו פעמים רבות בתנאים אקולוגיים (אזור פיטו-גאוגרפי, מסלע, קרקע, רמת משקעים וטמפרטורות), שאינם תואמים את אלו של בית גידולם הטבעי [7, 8, 9, 10, 37].. עובדה שעשויה להשפיע על התפתחותם וקרוב לוודאי על עמידותם בתנאים קיצוניים [8, 12], על אחת כמה וכמה עצים שמקורם באזורים אקולוגיים-גאוגרפיים- שונים בחו״ל. כלומר, הן באיסוף הזרעים המקומי והן ביבוא הזרעים מחו״ל לא נשמר הכלל

״הפצת זרעים תיעשה רק בתחום אזור אקולוגי שזהה לזה אשר ממנו נאספו הזרעים״ המוגדר בלועזית כ- ״Seed dispersal zone".

<u>הקריטריונים המקובלים ביערנות לאפיון "עצי אם" לזרעים:</u>

- צורתו (הפנוטיפ) של העץ אופיינית למין;
- הגזע ישר והוא ציר מרכזי לאורך העץ;
- הכותרת של העץ מורכבת מענפים דקים המחולקים שווה לאורך ומסביב לגזע;
- העץ אינו עמוס בפירות או באצטרובלים ביחס לגודל הכותרת, (תופעה שעשויה לנבוע ממאפיינים גנטיים הקובעים את חלוקת המשאבים בעץ לצמיחה, אחזקה או רבייה);
- הגזע אינו מפוצל (התפצלות היא תופעה שעשויה לנבוע ממאפיינים גנטיים);
- העץ מראה חיוניות רבה, העלווה ירוקה, ואינה נגועה במזיקים או מחלות ועוד.

בנוסף להבדלים הגנטיים שבין האוכלוסיות השרידיות של אורן ירושלים בארץ, ואלו שבמרחבי הארץ שלו באגן הים התיכון, קיימת גם בעיה של הבדלים פנוטיפיים (גנטיים) בתוך כל עומד ועומד והתייחסות הצוות האוסף את הזרעים לנושא זה. על פי צורת העצים הבוגרים ביער שער הגיא וביערות רבים אחרים, ניתן להסיק, בסבירות גבוהה ביותר, שהאיכות הגנטית של הזרעים שנאספו ביערות טבעיים ו/או נטועים בחו"ל ובארץ אינה עומדת בקריטריונים היערניים המקובלים. כוח עבודה זול, שעובד עבור חברות לסחר בזרעים ושאינו מיומן, יאסוף את הפרי או האצטרובלים מעצים (פנוטיפים), שקל לטפס עליהם גם ללא ציוד טיפוס בטיחותי מיוחד. עצים שכאלו מאופיינים, מטבע הדברים, בגובה נמוך יחסית, בגזע עקום, מפותל ומפוצל, בענפים עבים ומפותלים המאפשרים היאחזות תוך כדי עבודה בנוף העץ, כמו כן גם ביבול רב של פירות או אצטרובלים בנוף העץ יחסית לגודלו. כך שכל טיפוס יניב כמות רבה. כלומר, איסוף הזרעים נעשה תוך חוסר תשומת לב לאיכות הגנטית של עצי האם. מתחילת פעולות הייעור בארץ ועד לשנות ה-80 של המאה העשרים, גם איסוף הזרעים בארץ לא הצטיין במקצועיות ובהקפדה על האיכות היעראית של העצים מהם נאספו הזרעים, עקב המחסור בכוח אדם מיומן, לכן נאספו הזרעים מעצים שאפשרו גישה נוחה וללא מאמץ יתר. במחקר מקיף שתוצאותיו פורסמו לאחרונה נימצא כי קיימת התמחות אקוטיפית בהסבת משאבים לצימוח ואו לפוריות בהתאם לתנאי בית הגידול. בבתי גידול דלי משאבים תהיה העדפה להסבת משאבים לצורכי רבייה, בעוד שבבתי גידול רבי משאבים תהיה העדפה לצימוח [21].

מסקנה:- העצים מהדור הראשון הגדלים ביערות בארץ הם עצים:

- שמקומות איסוף הזרעים בארץ או בחו"ל אינם ידועים ואינם רשומים, כפי שלא נרשמו גם התנאים האקולוגיים, הגיאוגרפיים והטופוגרפיים של מקום איסוף הזרעים;
- שהם אינם בהכרח בעלי התאמה גנטית טובה לתנאי הסביבה במקום נטיעתם, וגם איכות צורתם (הפנוטיפ) נמוכה;
- שהתפתחו מזרעים שנאספו מעצים שהפנוטיפ (הצורה החיצונית) שלהם קרוב לוודאי אינו תואם לקריטריונים היערניים המקצועיים של "עצי אם" לזרעים.

כך ניטעו בארץ יערות עצי מחט ואחרים, בהם גדלים עתה עצים השייכים לאותו המין, אך מוצאם ממקומות שונים בתחום התפוצה של כל מין ומין מסביב לאגן הים-התיכון, כולל ארץ-ישראל ומעבר לכך. כאן המקום לציין כי כבר מר פנחס וייס (1947) הבין והכיר בצורך לסמן "עצי אם" לזרעים בחלקות יער איכותיות מבחינת צורת העצים והצימוח שלהם, שיש לבצע בחינה של התפתחות השתילים ממקורות הזרעים השונים בתנאים אקולוגיים שונים הן במשתלה והן בשטחי הנטיעות. כלומר, הוא התריע על הצורך בהשבחה על ידי ברירה של אורן ירושלים העתיד להינטע ביערות. אלא שקולו היה כקול קורא במדבר.

ד. יעראות

אפשר לסכם את המצב שתואר בסעיפים הקודמים בפרק זה בכך, שקרוב לוודאי שבכל חלקת יער שנטועה באורן ירושלים גדלים עתה עצים המכילים גנום שכולו או חלקו אינו ממקור מקומי, מזרח ים-תיכוני (ישראל וירדן), אלא מחבלי ארץ מערב ים-תיכוניים (אירופה ו/או צפון אפריקה). בנוסף לכך, פיזור האבקה העצום מהיערות הנטועים למרחקים גדולים עשוי לגרום לעירוב ואחידות רבה יותר של המבנה הגנטי בדורות הבאים, ולהיעלמות הייחודיות של האוכלוסיות השרידיות בארץ [46].

כפי שכבר נכתב במקומות אחרים יער בר-קיימא, שהוא תצורת יער ששואפים לפתח עתה, מחייב התאמה בין האקולוגיה המקומית של כל בית גידול לבין המבנה הגנטי של אוכלוסיית העצים. התאמה זו מנוגדת לאחידות הגנטית הנובעת מהאבקה ארוכת טווח. הצורך ב "התאמה" בין המבנה הגנטי של העצים לבין התנאים האקולוגיים ששוררים במקום הגידול מחייב ממשק המתבסס על חידוש טבעי. היות והתאמה שכזו עשויה להיוצר

רק כתוצאה מברירה שמופעלת על חומר הריבוי (זרעים, נבטים וזריעים צעירים), תוך נקיטה בשיטות של חידוש טבעי (זריעה עצמית) של העומד ביער. לפיכך, בכל מקום שקיימת אפשרות לחדש את היער בשיטות המשתמשות בזריעה עצמית, מן הראוי לעשות זאת.

עבור יערות שאין אפשרות לחדשם על ידי זריעה עצמית יש להקים "מטעי אם" לזרעים שבהם גדלים גנוטיפים נבחרים, ומהם ייאספו זרעים עבור גידול שתילים לנטיעה בשטחים שיש לחדש ובשטחים חדשים.

ספרות, מקור הציטוט

1. אופל, א., 1980. הבדלים במבנה השרף והבדלים מורפולוגיים באורן ירושלים ביער שער הגיא. עבודת גמר במגמה לכימיה, אורט כפר-סבא, בית ספר להנדסאים.
2. גינדל, י., אימוץ צמחים.
3. גריבלד קלרה, שילר, ג., מלזק, ר., 1983. השונות בתכונות הפסיולוגיות באורן ירושלים טבעי בארץ. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **32**, עמ' 1-8 .
4. וייס, פ., 1947. בירור זרעים. אגודת היער בא"י *היער, קובץ מוקדש לבעיות היער והייעור בארץ-ישראל.*, **קובץ א**, עמ' 28 .
5. ויץ י., 1970. היער והיעור בישראל. הוצאת מסדה בע"מ.
6. שילר, ג., 1974. תולדותיו של יער שער הגיא. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **24**, עמ' 52-48.
7. שילר, ג., 1972. גורמים אקולוגיים המשפיעים על הצמיחה של אורן ירושלים בדרום הרי יהודה. מינהל המחקר החקלאי, המחלקה לחקר היער, אילנות, עלון מס' **44**, 20 עמודים.
8. שילר, ג., 1977. יחסי גומלין שבין התפתחות אורן ירושלים לבין תנאי הסביבה. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **28**, חוברת 2-1, עמ' 23-13.
9. שילר, ג., ווינשטין, א.,1978. השפעת הגיאולוגיה והמִפנה על התפתחות היער בואדי קוף. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **28** , חוברת 2-1, עמ' 10-2.
10. שילר, ג., 1980. השפעת התשתית הגיאולוגית על התפתחות אורן ירושלים. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **30** , חוברת 2-1, עמ' 5-1.
11. שילר, ג., 1985. אורן ירושלים טבעי: תפוצה וקשרים גנטיים. *לתם, כתב עת לנושאי שדה בוטניים בארץ-ישראל* 18 , עמ' 78-69
12. שילר, ג.,אונגר, ד.י., גניזי, א., 2005. האם גורל העץ כתוב בטבעות השנתיות? אפיון עצים ביער כרמים בעקבות החורף השחון 1998/9. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **7**: עמ' 25-18.
13. שילר ג., עצמון נ., 2009. אקוטיפים של אורן ירושלים ביתיר: סיכום ביניים. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **10**, עמ' 13-6.

14. קרשון, ר., 1984. אורן ירושלים טבעי בהרי יהודה במאה ה-19 ובתחילת המאה ה-20: נתונים חדשים. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **34**, חוברת 4-1, עמ' 13-12.

15. Atzmon N., Moshe Y., Schiller G., 2004. Ecophysiological respone to severe drought in *Pinus halepensis* Mill. trees of two provenances. *Plant Ecology* **171**, 15-22,

16. Baradat, Ph., Bernard-Dagan, C. and Marpeau, A., 1978. Variation of terpenes within and between populations of Maritime pine. *In*: Rudin, D. (Editor). Proceedings of the Conference on "Biochemical Genetics of Forest Trees",Published by the Swedish University of Agriculture Sciences, Department of Forest Genetics and Plant Physiology, UMEA. pp 136-150

17. Baradat, Ph., Mailart, M., Marpeau, A., Slak, M.F. Yani, A. and Pastuszka, P., 1995 Utility of terpenes to assess population structure and mating patterns in conifers. *In*: Baradat, Ph., Adams, W.T. and Muller-Starck, G., (Editors). Population Genetics and Genetic Conservation of Forest Trees. SPB Academic Publishing bv. pp 5-28.

18. Bariteau M., Huf R., Vendramin G.G., 2000. Mediterranean Pinus and Cedrus; Adaptation and selection of Mediterranean Pinus and Cedrus for sustainable afforestation of marginal lands. Final Report to the Commission of the European Communities, Directorate general for Agricultur, *DGVI FII3*, Contract No' Fair CT95-0097. 173 pp.

19. Birks, J.S. and Kanowski, P.J., 1995. Resin compositional data: issues and analysis. *In*: Baradat, Ph., Adams, W.T. and Muller-Starck, G., (Editors). Population Genetics and Genetic Conservation of Forest Trees. SPB Academic Publishing bv. pp 29-40.

20. Bradshow R. H. W., 2004. Past anthropogenic influence on European forests and some possible genetic consequences: Rebiew. *For. Ecol. Manage*. **197**, 203-212.

21. Climent J., Prada A. M[a]., Calama R., Chambel M[a] R., Sanches de Ron D., and Alia R., 2008. To grow or to seed: ecotypic variation in reproductive allocation and cone production by young female Aleppo pine (*Pinus halepensis*, Pinaceae). *American J. of Botany* **95**, 833-842.

22. Conder C.R. and Kitchener, H.H., 1880. Map of Western Palestine, in 26 sheets, from the surveys conducted for the Committee of Palestine Exploration Fund. Sheets 3, 5 and 8. Palestine Exploration Fund, London.

23. FORADAPT, 2001. Final research report on "Global, Physiological and Molecular Responses to Climatic Stresses of Three Mediterranean Conifers". The study was carried out within the framework of INCO-DC. The European Union International Cooperation with Developing Countries (1994-1998), Contract No. INCO-DC ERBIC18CT970 200.

24. Grivet D., Sebastini F., Gonzalez-Martinez S C., Vendramin G G., 2009. Patterns of polymorphism resulting from long-range colonization in the Mediterranean conifer Aleppo pine. *New Phytologist* **184**, 1016-1028.

25. Grünwald C., Karschon R, and Schiller G., 1986a. Filling a phytogeographical gap: Relict occurrences of *Pinus halepensis* Mill. in Samaria. *Israel J. Bot*. **35**, 55-57.

26. Grünwald C., Schiller G., and Conkle M.T., 1986b. Isoenzyme variation among native stands and plantations of Aleppo pine in Israel. *Israel J. Bot*. **35**, 161-174.

27. Grünwald C. and Schiller G., 1988. Needle xylem water potential and water saturation deficit in provenances of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus brutia* Ten. foret mediterraneene **10** (2), 407-414.

28. Hanover, J.W., 1995. Application of terpene analysis in forest genetics. *In*: Adams, W.T., Strauss, S.H., Copes, D. and Griffin, A.R. (Editors). Population Genetics of Forest Trees. Forestry Sciences 42. Kluwer Academic Publishers, London, pp 159-178.

29. Horovitz, A., 1979. The Quaternary of Israel. Academic Press, New York, NY, 394 pp.

30. Karschon R., 1981. Natural occurrences of Aleppo Pine in the Judean Mountains in the 19th and early 20th Centuries. *Leafl. Div. For. Agric. Res. Org*., **Ilanot 71**.

31 Korol L., Shklar G., Schiller G., 2001. Diversity among circum-Mediterranean populations of Aleppo pine and differentiation from Brutia pine in their isoenzymes: Additional results. *Silvae Genetica*. **51**, 35-41.

33. Ledig F T., 1998. Genetic Variation in Pinus. *In*: Richardon D M (edt.). Ecology and Biogeography of Pinus, pp 251-279. Cambridge University Press.

34. Melzack N.R., Grünwald C., and Schiller G., 1981. Morphological variation in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Israel. *Israel J Bot*. **30**, 199-208

35. Melzack N.R., Schiller G. and Grünwald C., 1982. Seed size, Germination and seedling growth in *Pinus halepensis* Mill. and their relation to seed provenance in Israel. Division of Forestry, *Agricultural Research Organization, Leaflet* No' **72**

36. Mendel, Z., 1984. Provenances as a factor in susceptibility of Pinus halepensis to Matsucoccus josephi (Homoptera: margarodidae). *For. Ecol. Manage*. **9**, 259-266.

37. Morandini, R., 1976. Mediterranean Conifers. Forest Genetic Resources, information – 5, 12-17. Forestry occasional paper 1976/1, Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

38. Schiller, G., 1982. Significance of bedrock as a site factor for Aleppo pine. For. Ecol. *Manage.* **4**, 213-223.

39. Schiller G., and Grunwald C., 1986. Xylem resin monoterpene composition of *Pinus halepensis* Mill. in Israel. *Israel J. Bot*. **35**, 23-33.

40. Schiller G. and Waisel Y., 1989. Among-Provenances variation in *Pinus halepensis* in Israel. *For. Ecol. Manage*. **28**, 141-151

41. Schiller, G., Conkle, M.T., and Grünwald Clara, 1986. Local differentiation among Mediterranean populations of Aleppo pine in their isozymes. *Silvae Genetica* **35**, 11-19.

42. Schiller, G., and Grunwald Clara, 1987a. Resin monoterpene in range-wide provenance trials of *Pius halepensis* in Israel. *Silvae Genetica* **36**, 109-114

42. Schiller G., Korol L., Atzmon N., 1999-2001. In: Global, Physiological and Molecular Responses to Climatic Stresses of Three Mediterranean Conifers, first, second and third annual reports. The study was carried out within the framework of the European Union International Cooperation with Developing Countries, Contract No. INCO-DC ERBIC18CT970 200.

43. Schiller G., Atzmom N., 2009. Performance of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) provenances grown at the edge of the Negev desert: A review. *J. Arid Envir*. **73**, 1051-1057.

44. Schiller G., Korol L., Shklar G., 2004. Habitat effects on adaptive genetic variation in *Pinus halepensis* Mill. provenances. *For. Genet*. **11**, 325-335.

45. Squillace, A.E., 1976. Analysis of Monoterpenes of Conifers by Gas-Liquid chromatography. *In*; Miksche, J.P. (Editor). Proceedings in Life Sciences; Modern Methods in Forest Genetics. Springer-Verlag Berlin. pp 120-157.

46 Steinitz O, 2010. Gene flow between and within Aleppo pine (Pinus halepensis) populations. Ph. D. Thesis. The Hebrew University of Jerusalem.

47. Tigerstedt, P.M.A., Hitunen, R., Chung, M-S. and Moren, E.. 1978. Inheritance and genetic variation of monoterpenes in *Pinus sylvestris* L. *In*: Rudin, D. (Editor). Proceedings of the Conference on "Biochemical Genetics of Forest Trees",Published by the Swedish University of Agriculture Sciences, Department of Forest Genetics and Plant Physiology, UMEA. pp 136-150.

48. UNESCO-FAO., 1963. Carte Bioclimatique de la Zone Mεditerraneenne. Etude de la zone mediterraneenne.

49. Weinstein A., 1989a. Provenance evaluation of *Pinus halepensis*, *P. brutia* and *P. eldarica* in Israe. *For. Ecol. Manage*. **26**, 215-225.

50. Weinstein A., 1989. Geographic variation and phenology of *Pinus halepensis*, *P. brutia* and *P. eldarica* in Israel. *For. Ecol. Manage*. **27**, 99-108.

51. Weinstein-Evron, M. and Lev-Yadun, S., 2000. Palaeogeography of *Pinus halepensis* in Israel in the light of palynological and archaeobotanical data. *In*: Ne' eman and Trabaud (Edt's)' Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean Basin pp 119-130.

52. Zohart, M., 1962. Plant lhf of Palestine, Israel and Jordan. The Ronald Press Co. New York, NY. 262pp.

5.3.3 אורן ברוטיה

יערות טבעיים של אורן ברוטיה גדלים במרחק לא רב מהגבול הצפוני של ישראל, בתוככי לבנון. הסיבות לחוסר הימצאותו הטבעית בתחומי הגליל העליון בישראל, שהוא המשך גאוגרפי-אקולוגי ישיר של חבל הארץ בלבנון, אינן ברורות דיין, במיוחד לאור העובדה כי מין זה גדל בהצלחה מרובה בבתי גידול יובשניים יחסית ביוון ובטורקיה בהשוואה לבתי הגידול אשר בלבנון.

אורן ברוטיה נִשתל לראשונה בארץ ביער הרצל שליד בן-שמן בשנת 1926/7 במטרה להעשיר את מְגוון המינים הקיים על מנת לגדל יער רם (יער גבה קומה) [1]. השתילים גודלו במשתלת משק הפועלות בירושלים (בהנהגת רחל ינאית) מזרעים שיובאו מקפריסין. מאז יובאו זרעי אורן ברוטיה על ידי הקק״ל ועל ידי אגף הייעור המנדטורי מאזורים כגון: קפריסין, כרתים, צפון-מזרח יוון כולל האי תסוס (האי הירוק), ומשנות השמונים של המאה העשרים ואילך גם מאזורים שונים בטורקיה. כלומר, גדלים עתה בארץ עצי אורן ברוטיה שיובאו מאזורים בהם מתקיימים תנאים אקולוגיים שונים מאוד, דבר שניכר בחלקו במופע (הפנוטיפ) של העצים, שביניהם ישנם הבדלים ניכרים (עצים בעלי נוף פתוח דוגמת ברוש מצוי אופקי; עצים בעלי נוף סגור דוגמת ברוש מצוי מהזן הצריפי). גם במקרה של אורן ברוטיה, כפי שקיים באורן ירושלים, עקב חוסר רישום של המקום הגיאוגרפי בו נאספו הזרעים שיובאו, אין ידע ברור על מידת ההתאמה שבין התנאים האקולוגיים ששוררים במקור הזרעים (Provenance) לתנאים השוררים באזורי הנטיעה השונים בארץ. יתרה מכך, ייתכן מאוד ששטחי יער אורן ברוטיה, שגובלים אחד בשני אך ניטעו בשנים שונות, מוצאם עשוי להיות ממקורות זרעים שונים לגמרי על כל המשמעויות הנובעות מכך [8].

כפי שכבר הוזכר בפרק הקודם על אורן ירושלים, כך גם בנוגע לאורן ברוטיה. ההתעניינות במין זה למטרות נטיעת יערות באזורים ים-תיכוניים ואחרים גברה מאוד מתחילת המאה העשרים [6, 9], דבר שהוביל לביצוע מחקרים רבים מאוד בתחום האקולוגיה, הפיזיולוגיה והגנטיקה המפורטים בפרק השני בספר זה. כפי שכבר הוזכר, נעשה גם איסוף זרעים ב- 16 יערות טבעיים של אורן ברוטיה במרחבי אזור התפוצה הגיאוגרפי שלו (האראל) תחת המטרייה של Silva-méditerranéene [4] (ראה מפה 1). ישראל קיבלה זרעים מ- 14 אוכלוסיות. השתילים שפותחו מהם נשתלו בשלוש חלקות הניסיון: רמת הנדיב, בקוע ויער הקדושים, בהן נבדקה התפתחותם וההבדלים שביניהם [10, 11]. מבין 14 המקורות שניטעו,

המקורות המתאימים ביותר לשימוש בארץ הם מיערות הגדלים בגבהים נמוכים לאורך חופי הים-התיכון בטורקיה. אך בעזרת סמנים גנטיים הוכח כי יערות אלו, כתוצאה מנגישותם הרבה, נוצלו כבר משחר ההיסטוריה בצורה חסרת מעצורים על ידי כריתה של החומר המשובח והשארת החומר פחות הערך. כלומר, נעשתה בהם ברירה דיס-גנית, דבר שמתבטא בפנוטיפים, בהטרוזיגוטיות ובשונות הגנטית, שהיא פחותה במידה מסוימת ביערות אלו מאשר ביערות שגדלים בגבהים שמעל ל-300-400 מ' [3, 12]. על כן, במידה שקיים הצורך ביבוא זרעים, עדיף לייבא אותם באמצעות אגף הזרעים של היערנות הטורקית מחלקות יער ייעודיות לאיסוף זרעים (Seed stands) שגדלות בגבהים שבין 300 עד 800 מ' מפני הים בהרי הטורוס, זאת כדי לשמור על שונות גנטית מרבית המאפשרת כיווני ברירה רבים [2, 3, 5].

עתה, לאחר כשמונים שנה (1926-2010) של יבוא זרעים של אורן ברוטיה ממקורות שונים לשם ייעור בארץ, חובה לטפח קווים גנטיים המותאמים לתנאים האקולוגיים המקומיים. רצוי שהטיפוח יעשה על ידי בחירת העצים המובחרים ביותר מבחינה פנוטיפית (גנטית), "עצי אם", הגדלים ביערות שבחבלים הפיטוגיאוגרפיים השונים בארץ. רצוי ליצור מהם קלונים בעזרת ריבוי וגטטיבי (הרכבות) או השרשות, ולטעת עד חמישים קלונים שונים, בהיקף של 25 שתילים לקלון, כדי לשמור על שונות גנטית גבוהה בחלקות שמורות ("מטעי אם" לזרעים ושימור גנטי *ex situ*). כתוצאה מהברירה ברמת ההורים וברמת החלקה שבה יינטעו הקלונים, הזרעים שייאספו בחלקות אלו יהוו קו גנטי מקומי המותאם לתנאים האקולוגיים של האזור, וישמשו לנטיעת חלקות חדשות ו/או החלפת הזן בחלקות מתנוונות כתוצאה מחוסר התאמה קיצוני בין האקוטיפ-גנוטיפ שניטע בעבר לבין התנאים האקולוגיים המקומיים. יערות שניטעו והוכיחו בהתפתחותם התאמה טובה בין האקוטיפ-גנוטיפ לתנאי בית הגידול, רצוי בהחלט לנסות ולחדש אותם בשיטות של חידוש טבעי בסוף המחזור או לאחר שריפה.

ספרות, מקור הציטוט

1. ויץ י., 1970: היער והייעור בישראל. הוצאת מסדה, 622 עמודים.

2. Kara , N., Korol, L., Isik, K. and Schiller, G., 1997. Genetic diversity in *Pinus brut*ia Ten: Altitudinal variation. *Silvae Genetica* **46**, 155-161.

3. Korol, L., Shklar, G. and Schiller, G., 2002. Genetic variation within and among range-wide *Pinus brutia* Ten. provenances. *Forest Genetics* **9**, 233-242.

4. Morandini, R., 1976. Mediterranean Conifers. Forest Genetic Resources, information – 5, 12-17. Forestry occasional paper 1976/1, Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

5. Ohsawa, T. and Ide, Y., 2008. Global patterns of Genetic variation in plant species along vertical and horizontal gradients on mountains. *Global Eco. Biogeogr*. **17**, 152-163.

6. Palmberg, Cristal, 1975. Geographic variation and early growth in South-eastern semi-arid Australia of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten species. *Silva Genetica* **24**, 150-160.

7. Schiller G., and Grunwald C, 1987b. Cortex resin monoterpene composition in *Pinus brutia* Ten. provenances grown in Israel. *Biochem. System. Ecol* **15,** 387-394.

8. Schiller G., Gnizi A.,1993. An attempt to identify the origin of Pinus brutia Ten. Plantations in Israel by needle resin composition. Silvae Genetica 42, 63-68.

9. Spencer, J.D., 1976. Dry country pines: provenance evaluation of the *Pinus halepensis-P. brutia* complex in the semi-arid region of South-east Australia. *Australia For. Res*. **15**, 263-279.

10. Weinstein, A., 1989a. Provenance evaluation of *Pinus halepensis*, *P. brutia* and *P. eldarica* in Israel. *For. Ecol. Manage*., **26**, 215-225.

11. Weinstein, A., 1989b. Geographic variation and phenology of *Pinus halepensis*, *P. brutia* and *P. eldarica* in Israel. *For. Ecol. Manage*., **27**, 99-108.

12. Yildiray L., Kaya Z., Isik F., Sanbucu R., Kandemir I., Önde S., 2007. The impact of over-explotation on the genetic structure of Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) determined by RAPD markers. *Silva Fennica* **41**, 211-220.

5.3.4 אורן הצנובר

בשלושת אלפי השנים האחרונות ויתכן שאף לפני כן, גידלו מין זה בעיקר למטרות הפקת הזרעים האכילים, כלומר כעץ פרי, אם כי ניתן להפיק מהגזעים עץ כחומר גלם לבניה ולצרכים אחרים. הממשק של היערות (הברירה בין העצים ועוצמת הדילול) כוון לגרום להתפתחות מהירה של העצים, להעלאת רמת הניבה יותר מאשר להעלאת כמות העצה ואיכותה. ייתכן שההתייחסות לאורן הצנובר כעץ פרי כבר בזמן העתיק גרמה לברירה שהובילה לידי כך שהשונות הגנטית במין זה היא נמוכה ביותר בהשוואה לאורנים ים - תיכוניים אחרים, עובדה שיש לה השלכות על בחירת עצי האם לזרעים שישמשו לריבוי.

תומפסון [4] מציין את קיומה של אוכלוסיית אורן הצנובר בשפלת החוף, שממנה, לדבריו, סופקו זרעים למצרים. זגייר [1] מציין יבוא מלבנון של זרעי אורן הצנובר בשנת 1780 לשם הקמת יער (על ידי זריעה ישירה) ליד הכפר ירכא שבגליל המערבי. שרידיה של חלקת יער זו קיימים עד היום. עם קום המדינה היו בארץ גם מספר עצים בודדים גדולי ממדים (כנראה מאוד מבוגרים), שגדלו במקומות אחדים דוגמת חצר חאן אשר על כביש יפו-רמלה, מול בית הספר החקלאי מקווה-ישראל, גן הבהאים ליד עכו. אין בידינו ידע על מקורות הזרעים של חלקות יער אורן הצנובר שניטעו על ידי המתיישבים הגרמניים (הטמפלרים) לקראת סוף המאה ה-19 בכרמל ובמקומות אחרים [2]. בתחילת המאה ה-20, עם תחילתה של פעילות הייעור על ידי שני אגפי הייעור שפעלו בארץ-ישראל המנדטורית, הוחל גם בנטיעה ו/או זריעה של אורן הצנובר בחלקות יער. בהתאם לנתונים בדוחות הרשמיים של אגף הייעור של ממשלת המנדט, בשניים 1926 ועד 1935, נתקבלו ו/או ניקנו זרעים מאיטליה, סוריה ולבנון לשם ייצור שתילי אורן זה ו/או זריעה ישירה בשטח. לאחר הקמת המדינה ריבוי אורן זה נשען, מן הסתם, על מקורות זרעים מקומיים אך גם על יבוא. לאחר מלחמת ששת הימים התווסף יער מסעדה שברמת הגולן ליערות המספקים חומר ריבוי. יער זה נשתל על ידי הסורים בעזרה טכנית צרפתית; מקורות הזרעים להקמתו אינם ידועים לנו. על-פי רישומים חלקיים ולא מדויקים, במחלקת הזרעים והמשתלות של אגף הייעור של הקק״ל, יובאו בשנות השמונים והתשעים של המאה ה- 20 זרעי אורן הצנובר מטורקיה ומארצות באירופה בהם הוא גדל. קיימות עתה בארץ חלקות יער מהגליל העליון ועד לאזור יתיר בנגב שניטעו מזרעים ממקורות שונים (בתי גידול) ששונים מאוד זה מזה. מקובל שקצב התפתחות העץ בשנים הראשונות הוא איטי יחסית למיני האורן האחרים, אולם לאחר התבססותו הוא גדל מהר יחסית, וכבר בשלב מוקדם הוא יוצר נוף כדורי רחב.

כבר בתקופת ממשלת המנדט נתגלו בחלק מהנטיעות של אורן הצנובר תופעות של הצהבה (כלורוזיס) במחטים, המצביע על כך שהזריעה או הנטיעה נעשתה בשטחים בהם התנאים האקולוגיים אינם תואמים את התנאים הדרושים למין זה. תופעת ההצהבה יצרה התעניינות רבה בנושא של היחסים שבין אורן הצנובר וכמות הגיר הפעיל בקרקע ובסלעי גיר רכים. בחילופי מכתבים בין מנהל אגף הייעור של ממשלת ישראל, דר׳ עמיהוד גור, לבין מנהל אגף הייעור בקפריסין (בתיק על אורן הצנובר של אגף הייעור המנדטורי שבגנזך המדינה) דובר על האפשרות למצוא בקפריסין חלקות יער או עצים בודדים הגדלים בקרקעות בהם קיים אחוז גיר פעיל גבוה והעצים אינם מראים סימני צהבון (כלורוזה) או סימני סבל אחרים. כנראה שלא נימצא מקור שכזה כי אין המשך להתכתבות או אזכור להעברת זרעים. לאחרונה נעשה ניסיון להבדיל בעזרת סמנים גנטיים בין שני הפנוטיפים, שנמצאו גדלים בקרקעות בהם יש אחוז גבוה של גיר פעיל. הפנוטיפים הוגדרו על-פי צבע העלווה בעונת הקיץ כירוק-חסר כלורוזה, וכצהוב-כלורוטי. עד עתה נכשלו הניסיונות לאפיין הבדלים גנטיים בין שני הפנוטיפים הנ״ל {קורול לא פורסם}.

אורן הצנובר גדל היטב באזורים בהם האקלים הוא ים-תיכוני לח עד לח למחצה, הקרקעות עמוקות, לחות, חומציות או ניטרליות. דבר זה מצביע על כך שיש להימנע מלטעת את אורן הצנובר בתנאי בית גידול, שכוללים קרקע רדודה וקרקע שבה רמה גבוהה של גיר פעיל. בארץ ישנם מספיק שטחים המתאימים מהבחינה האקולוגית לגידול אורן הצנובר, שבהם מין זה עשוי למלא תפקיד יערני ראשון במעלה בהסבתו של היער החלוץ, המורכב בעיקרו מאורן ירושלים, ליער בר-קיימא מגוון ועמיד שהמין המחטני השולט הוא אורן הצנובר. נושא זה מקבל מִשנה תוקף כי המטרה העיקרית של היערות בארץ אינה כלכלית (ייצור עצה או לחילופין פרי) אלא גיוון ונופש ומה שמכונה ״שירותים סוציאליים של היער״. אורן הצנובר יוצר עם הזמן יער המאפשר נופש בנוחות מרבית. מצד אחד תחתית היער פתוחה (בשל מרחק גדול בין העצים), ומצד שני חופת היער סגורה (בשל צורת הפטרייה של נוף העץ), כלומר תחתית היער מוצלת.

אורן הצנובר הוא מין בעל זרע מהגדולים במיני האורן, והזרע חסר כנפיים ואינו מופץ על ידי רוח, אלא על ידי ציפורים ונברנים. גודלו של הזרע מאפשר את זריעתו בשטחים מיועדים לייעור לאחר הכנת קרקע קפדנית. במידה שקיים צורך לטעת אורן צנובר בקרקעות גיריות ובקרקעות שאינן בהתאם לדרישות האקולוגיות של המין, ראוי להקדיש את המאמץ ולטעת שתילים מורכבים כאשר הכנה היא אורן ירושלים, רצוי ממקור זרעים מחצי האי הבלקני

(הסבר לכך בפרק על אורן ירושלים), הרוכב ייבחר מעץ טיפוסי למין. רצוי להקדיש מאמץ זה למרות עלותו היות ומשך חיי יער אורן הצנובר עשוי להגיע לכדי מאתיים שנה ויותר. מצד שני, אורן הצנובר, אשר מורכב על כנה של אורן ירושלים או ברוטיה עשוי להוות צורה של "יער מְשקי", שעיקרו ייצור זרעים אכילים עקב הקדמת מועד הניבה בעזרת ההרכבות. אין בארץ ניסיון יעראי מעשי בחידוש חלקות יער של אורן הצנובר כי החלקות שניטעו בסוף המאה התשע-עשרה ובתחילת המאה העשרים עדיין מתפתחות היטב, לכן אין סיבה להתחיל בהליכי חידוש היער. הגדלת שטחי יערות אורן הצנובר אפשרי רק על ידי נטיעה או זריעה שמטרתן החלפת המין, בעיקר החלפתו של אורן ירושלים. השונות הגנטית הנמוכה במין זה (ראה הפרק על אורן הצנובר) מחייבת הקפדה רבה על בחירת "עצי האם" לזרעים. העצים חייבים לייצג את המין בפנוטיפיות שלהם. רצוי לנסות ולאסוף זרעים גם מעצים בריאים וטובים, הגדלים בחלקות בהם רוב העצים כלורותיים. ייתכן שעצים אלו אינם כה רגישים לרמות גבוהות של גיר פעיל.

ספרות, מקור הציטוט

1. זגייר, ע. 1992. זקני הכפר. *טבע וארץ* **252**, עמ' 19-17 .
2. ליפשיץ, נ., ביגר, ג., 2000. נלבישך שלמת ירק; הייעור בארץ ישראל, מאה שנים ראשונות 1850-1950. הוצאת ספרים אריאל, ירושלים, 265 עמודים.
3. מדמוני, ע., קפולניק, י., אהרון, ר., בן-משה, ע., משה, י., ברנד, ד., שוורץ, א., עצמון, נ. 2003. בחינת אקוטיפים של אורן הגלעין (הצנובר) לעמידות לעקת יובש בשיטה מהירה. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **3**, עמ' 29-24.

4. Thompson, W. M., 1859. The Land and the Book. Harper, New York

5.3.5 *אורן קנרי*

בהתאם לרשומות, של אגף הייעור בממשלת המנדט ואגף הייעור בממשלת ישראל, עם תחילת הנטיעות היערניות התקבלו בארץ משלוחי זרעים של האורן הקנרי ממקומות שונים בחו״ל: בשנים 1926-1930 הגיעו משלוחי זרעים מקליפורניה, ברית-המועצות וצרפת; בשנים 1931-1935 נתקבלו משלוחי זרעים מצרפת, בשנים 1950-1951 נתקבלו משלוחי זרעים מספרד. המסקנה הנובעת מכך היא כי גם במקרה של האורן הקנרי אין בידינו רישום מדויק של מקורות הזרעים: מיקום גיאוגרפי, גובה מעל פני הים, המפנה והאקלים, כלומר, האקולוגיה במקור הזרעים אשר משפיעה מאוד על השונות הגנטית ועל העמידות ליובש, מכאן על ההתפתחות והעמידות בתנאי סביבה קשים כפי שהם בארץ.

במקורו (באיים הקנריים) אורן זה גדל על קרקעות חסרות גיר פעיל כי הן תוצר בליה של סלעים וולקניים, לכן אין לטעת מין זה בקרקעות בהם יש אחוז גבוה של גיר פעיל. הצמח מפתח כלורוזה (הצהבת העלווה), כפי שאכן נראה בחלקות האורן הקנרי השונות בארץ, ולדוגמה, החלקה שלמרגלות העיר יוקנעם מעל המושבה יוקנעם. מכאן, שכמות הגיר הפעיל בקרקע היא גורם הקובע את התאמת בית הגידול לנטיעת אורן זה.

עמידותו הרבה של האורן הקנרי, בתנאי יובש וקרינה חזקה, מאפשרת את נטיעתו בתנאי קרקע מתאימים גם באזורים יובשניים למחצה בארץ, לדוגמה, אורן קנרי הגדל היטב יחסית ביער יתיר. יתרון נוסף בנטיעת אורן זה באזורנו, הסובל מריבוי שריפות יער וחורש, הוא בעובדה שהוא מתחדש מהר באופן וגטטיבי. כך שחלקה שנשרפה, מוריקה שוב תוך פרק זמן קצר יחסית מה שמקל על הרושם של הנוף השרוף בעיני הקהל. האורן הקנרי מתחדש גם מזרעים המועברים על ידי הרוח. אבל יש להקפיד על כך שהנבטים והזרעים הצעירים יקבלו קרינה ישירה ברמה מספקת כדי שיוכלו לעמוד בעקות היובש הקיציות, כלומר, יש לדלל את החלקות המיועדות לחידוש בעזרת זריעה עצמית בעוצמה שתאפשר הארה רבה מאוד בשטח [1].

<u>הערה</u>: היות שאורן קנרי הוא פונדקאי שמועדף על תהלוכן האורן (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams.), רצוי להימנע מלטעת אותו בחלקות יער אשר מיועדות מלכתחילה לקליטת קהל רב, דוגמת חניונים.

כפי שכבר נכתב, מקורות הזרעים ששימשו בעבר לנטיעת מין זה בארץ אינם ידועים, ויעברו עוד שנים רבות מאוד עד ששלושת חלקות המעקב, שנשתלו בארץ בהקשר

לעבודה על השונות הגנטית במין זה ביער בירייה, ביער בן-שמן וביער בית-קשת [3], יאפשרו קביעה של מקורות הזרעים המתאימים ביותר לאזורים השונים בארץ [2].

ספרות, מקור הציטוט

1. Climent, J.M., Aranda, I., Alonso, J., Pardos, J.A. and Gil, L., 2006. Developmental constrains limit the response of Canary Island pine seedlings to combined shad and drought. *For. Ecol. Manage*. **231**, 164-168.
2. López R., Zehavi A., Climent J., Gil L., 2007. Contrasting ecotypic differentiation for growth and survival in *Pinus canariensis*. *Australian J Bot*., **55**, 759-769.
3. Schiller, G., Korol, L., Ungar, E.D., Zehavi, A., Gil, S.L. and Climent M.J., 1999. Canary Islands Pine (*Pinus canariensis* CHR.SM.EX. DC). 1. Differentiation among native populations in their Isoenzymes. *Forest Genetics* **6**, 257-276.

5.3.6 ברוש מצוי

תפוצתו הנרחבת של הברוש המצוי באגן הים-התיכון נובעת בעיקר משימושו לנוי ולמשברי רוח. על כן בספרות היערנית יש רק התייחסויות מועטות לגידול וממשק שטחי יער של מין זה [2, 3, 4]. כפי שהוכח, בשיטה זו או אחרת, גדלים בארץ עצי ברוש מצוי שמוצאם מאוכלוסיות שונות מאזור התפוצה של המין [5, 6, 7]. כלומר, גדלים בארץ אקוטיפים (גנומים) ממקורות שונים. הוכח כי קיימת שונות רבה בעמידות למחלות בקרב האוכלוסיות הנטועות [8], לכן רצוי, למען הנטיעות החדשות, להקים מספר "מטעי אם" לזרעים בהתאם לאזורי הנטיעה העיקריים של הברוש בארץ. הבסיס למטעים אלו יהוו עצים משני הזנים (הצריפי והאופקי), שנִבחרים על פי צורתם, עמידותם לתנאים האקולוגיים, עמידות שדה למחלות במשך שנים רבות. עצים אלו יש לרבות ריבוי וגטטיבי בכמות שתאפשר להקים מטעים להפקת זרעים על שטח של כ-5 דונם כל אחד. בתוך כל מטע יינטעו קלונים רבים, תעשה סלקציה של העצים הגרועים בהתפתחותם ובעמידותם ויישארו רק העצים המובחרים מהם ייאספו הזרעים.

בתנאי בית גידול שבהם יש לחות מספקת וחוסר תחרות על אור ומים שמקורה בעשבייה [1] אפשרי לרבות את הברוש ביערות גם בצורה טבעית על ידי זריעה עצמית. זריעים של הברוש גדלים היטב בצעירותם בתנאים מוצללים, אך לאחר מכן רצוי מאוד לאפשר להם לזכות בהארה מוגברת. הברוש יכול לגדול במגוון רחב של תנאים אקולוגיים, אך על מנת להשיג התפתחות, שתאפשר מחזור גידול קצר יחסית של 30-40 שנה, יש לגדל אותו בקרקעות עמוקות ולחות ובעלות אוורור טוב באזורים שכמות הגשם הרב-שנתית הממוצעת לא תפחת מ-400 מ"מ. בתנאי בית גידול פחות טובים, שהם רוב השטחים היערניים בחבל הים-תיכוני בארץ, קצב התפתחות העצים איטי יותר ואורך המחזור על פי Hofmann [4], הוא כ-70-80 שנה. בתנאי בית גידול טובים צפיפות הנטיעה היא כ-500 שתילים בני שנה לדונם. יש להקפיד על הדילול בהתאם להתפתחות העצים, כך שצפיפות העומד תהיה 150 עצים לדונם בגיל 60. התפתחות טובה של העצים בתנאי יער מושגת כאשר הם גדלים בקבוצות בהם מתקיימת הגנה הדדית מרוחות חזקות ומהארה אופקית (לטראלית) חזקה. בשטחי יער רצוי לטעת את הברוש בקרקעות העמוקות יותר, שבעבר בדרך כלל היו שטחים מעובדים, ו/או במדרגות הסחף ו/או הכתפיים שלאורך ערוצי נחלים וואדיות. במידה שקיים צורך לטעת את המין בשטחי יער באזורים בהם כמות הגשמים הרב-שנתית הממוצעת פחותה מ-400 מ"מ, רצוי מאוד לטעת רק את הפנוטיפ הצריפי, אשר

מדיית בקצב איטי מהפנוטיפ האופקי, בכך מושפע פחות ממיעוט גשמים [9]. הסבילות של הברוש לרמות אור נמוכות מאפשרת לערב את הברוש גם בצורה בודדת ביערות של עצי מחט אחרים וביערות רחבי עלים. מבנה מערכת השורשים של הברוש מאפשרת ניצול טוב יותר של שכבות הקרקע ביערות מחטניים, כאשר שורשי הברוש חודרים לשכבות עמוקות יותר מאשר שורשי האורנים השטחיים יחסית (Leibundgut and Dafis, Memo).

אין בארץ ניסיון בממשק יערני של ברוש מצוי כדי לחדש חלקות יער של מין זה. אך, על סמך מכלול המידע שסוכם בפרק על מין זה, אפשר לגבש מסקנות אחדות שידריכו את היערנים בארץ בגידולו של הברוש המצוי, ובחידוש הטבעי של חלקות יער בהם הוא גדל. חשיבות רבה יש לברוש מהבחינה הנופית, והוא מין שעשוי לשמש למטרות רבות (בנייה, ריהוט, הפקת חומרי גלם לתעשיית הבשמים, תחליף לחומרי הדברה של עש הבגדים, ועוד), ועל כן הוא בעל ערך כלכלי שאין לבטלו.

ספרות, מקור הציטוט

1. לב-ידון, ש., 1988. התחדשות טבעית של ברוש מצוי בישראל. רׂתם, כתב עת לנושאי בוטניקה בארץ-ישראל, מס׳ 28 : 64-61.

2. Couppis, T.A., 1954. Some notes on the Mediterranean cypress, Cupressus sempervirens, found in Cyprus. *The Empire Forestry Review* **33**, 71-73.

3. Dallimore, F.L.S., 1931. The Cypresses. *Empire Forestry Journal* **10**, 37-47.

4. Hofmann, A., 1943. Die Zypresse auf den ägäischen Inseln. *Zeitschrift für Weltforstwirtschaft* **10**, 246-258.

5. Korol L., Kara N., Isik K., Schiller G., 1997. Genetic differentiation among and within natural and planted *Cupressus sempervirens* L. eastern Mediterranean populations. *Silvae Genetica* **46**, 151-155.

6. Schiller, G., 1990. Variation in resin composition of Italian Cypress (*Cupressus sempervirens* L.) grown in Israel. *Silvae Genetica* **39**, 89-95.

7. Schiller G., Korol L., 1997. Electrophoretic analysis within *Cupressus sempervirens* L. growing in Israel. *Israel J. Plant Sci*. **45**, 1-8.

8. Schiller G., Madar Z., 1991. Variation in foliage resin composition within the Italian cypress (*Cupressus sempervirens* L. species complex and its relation to canker diseases. *Eur. J. For. Path*. **21**, 179-184

9. Schiller G., Moshe Y., Ungar U.D., 2004. Transpiration of *Cupressus sempervirens* L. as influenced by canopy structure. *Israel J. Plant Sci*. **52**, 9-19.

5.3.7 אלונים (*אלון מצוי, אלון התבור, אלון התולע*, סיכום)

מכיוון שעד תחילת המאה ה- 21 ממשק החורש/יער רחב העלים בארץ נוהל בעיקר בעזרת רעייה וכריתה למטרות ייצור פחם עץ ורק לעִתים בעזרת דילול נצרים מוכוון, לא ניתנה שום תשומת לב לצדדים הגנטיים. כלומר, לאפשרות שקיימים הבדלים גנטיים בין ובתוך אוכלוסיות, ולאפשרות שקיים יחס בין גודלה של השונות הגנטית בתוך האוכלוסייה לבין מקום גדילתה והממשק שנעשה בחלקה בעבר. הבדלים אלה עשויים, למשל, להשפיע על ההחלטה היכן לאסוף בלוטים לצרכי ריבוי ועוד. פרק זה מתייחס רק לאותם מינים בחורש אשר לגביהם נאסף מידע גנטי מסוים מאוד, אשר מהווה קצה חוט עבור החלטות ממשק. יש מינים אחרים בחורש למשל בר-זית בנוני שאין בידינו מידע גנטי ואחר אשר עשוי להוות בסיס להחלטות מימשק.

במחקרים על השונות הגנטית במיני האלונים הגדלים בארץ השתמשו בשיטה של [RAPD] (Random amplified polymorphic DNA markers). כלומר, הגברת מקטעי ד.נ.א פולימורפיים אקראיים בעזרת תחלים. לשם כך נבחנו 60 תחלים של חברת "אופרון" על יכולתם ליצר סימנים ברורים. רק עשרים תחלים נתנו תוצאות ברורות וחד-משמעיות באלון התבור עשרים התחלים יצרו 72 אתרים פולימורפיים ברורים; באלון התולע אותם תחלים יצרו 32 אתרים פולימורפיים ברורים; באלון המצוי רק עשרה מתוך עשרים התחלים יצרו 23 אתרים פולימורפיים ברורים. בכל אחד מהאוכלוסיות שנידגמו ניקטפו עלים בלתי נגועים ובלתי פגועים מ-50 עצים שנבחרו באקראי, כאשר המרחק בין שני עצים עולה על 25 מ'. מהעלים של כל עץ בנפרד הופק ד.נ.א שעליו הופעלו התחלים ש"הגבירו" – את מְקטעי ה-ד.נ.א ואפשרו זיהוי של אתרים פולימורפיים.

א. אלון מצוי

האלון המצוי גדל באופן טבעי בבתי גידול, ששונים מאוד בתנאים האקולוגים שבהם. הבידוד בין האוכלוסיות והבריחה הטבעית עשויים לגרום להבדלים גנטיים בין אוכלוסיות בבתי הגידול השונים. על כן בוצע מחקר השוואתי על גודלה של השונות הגנטית והרכבה בתוך ובין 24 אוכלוסיות של מין זה בארץ ובירדן המפורטות בטבלה 7 [14].

טבלה 7: אוכלוסיות אלון מצוי שנדגמו עבור מחקר גנטי השוואתי.

	נתונים גאוגרפיים		גובה	גשם רב שנתי			
	קו רוחב	קו אורך	מ.פ.ה. (מ')	ממוצע (מ"מ)	תצורה	תאור המסלע	הקרקע
הר החרמון	$33^0 17'$	$35^0 45'$	1650	>1000	הרמון	אבן גיר וחואר	
יער אודם	$33^0 13'$	$35^0 45'$	1100	>1000		בזלת	
צוק מנרה	$33^0 12'$	$35^0 32'$	880	758	דיר-חנא	אבן גיר וחואר	טרה רוסה, גרומוסול חום
פיסגת הר מירון	$32^0 59'$	$35^0 25'$	1000	900	דיר-חנא	דולומיט וחואר	גרומוסול חום
בית העמק	$32^0 57'$	$35^0 15'$	430	685	בינה/מנוחה	אבן גיר/דולומיט, קירטון וחואר	טרה רוסה, גרומוסול חום
פארק גורן	$33^0 03'$	$35^0 18'$	250	793	סכנין/בינה	אבן גיר/דולומיט, קירטון וחואר	טרה רוסה
פסגת הר חזון	$32^0 54'$	$35^0 24'$	584	764	רמה/כפירה	אבן גיר/דולומיט, קירטון וחואר	טרה רוסה ורנדזינה חומה
פסגת הר עצמון	$32^0 49'$	$35^0 16'$	425	555	דיר-חנא	דולומיט וקירטון וקונגלומרט	טרה רוסה ורנדזינה חומה
פסגת הר תורען	$32^0 48'$	$35^0 22'$	548	516	דיר-חנא/סכנין	אבן גיר/דולומיט, קירטון וחואר	טרה רוסה ורנדזינה חומה
פסגת הר התבור	$32^0 41'$	$35^0 28'$	600	562	דיר-חנא/קמון	אבן גיר/דולומיט, קירטון וחואר	טרה רוסה
פסגת הר עמיעד	$32^0 56'$	$35^0 37'$	486	697	בר-כוכבא	אבן גיר (קארסט)	טרה רוסה
מלקישוע שבגילבוע	$32^0 26'$	$35^0 25'$	500	451	בר-כוכבא/תימרת	אבן גיר, חואר וצור	טרה רוסה
הר מוניף, צפון ירדן	$32^0 20'$	$35^0 45'$	115	650			
הכרמל, לאורך דרך הנוף	$32^0 44'$	$35^0 08'$	400	686	יגור	דולומיט	טרה רוסה ורנדזינה חומה
רמת הנדיב	$32^0 33'$	$34^0 56'$	125	574		טוף וולקני, דולומיט וקירטון	טרה רוסה ורנדזינה חומה
פארק השרון	$32^0 25'$	$34^0 53'$	25	509		אבן -חול גירית	חול חמרה
יער אום ריחן	$32^0 29'$	$35^0 08'$	400	666	סכנין/בינה	אבן גיר/דולומיט, קירטון וצור	טרה רוסה ורנדזינה חומה
יער אום צפא	$32^0 01'$	$35^0 08'$	600	537	סורק/גיבעת יערים	אבן גיר/דולומיט, קירטון וחואר	טרה רוסה ורנדזינה חומה
המסרק	$31^0 48'$	$35^0 02'$	575	625	בית מאיר	דולומיט/אבן גיר וקירטון	טרה רוסה ורנדזינה חומה
הר סנסן	$31^0 43'$	$35^0 05'$	700	573	וורדים	דולומיט ואבן גיר	טרה רוסה
יער אל-קרן, ליד גוש עציון	$31^0 37'$	$35^0 07'$	975	662	סורק	דולומיט/אבן גיר וקירטון	טרה רוסה
דיר רזק, דרום הר חברון	$31^0 28'$	$35^0 02'$	800	<400	בית מאיר/וורדים	דולומיט/אבן גיר חואר וקירטון	טרה רוסה ורנדזינה חומה
צפרירים	$31^0 30'$	$34^0 56'$	350	378	עדולם	גיר	רנדזינה חומה
שמורת דנא, ירדן	$30^0 40'$	$35^0 36'$	1170	250			

נתונים על המיגוון הגנטי באלון מצוי ניראים מטבלה 8. נימצא כי ההטרוזיגוטיות הכללית (Ht) (שונות גנטית כללית) במין זה היא 0.354±0.023, וההטרוזיגוטיות בקרב האוכלוסיות (Hs=h) נעה בין 0.288 ל- 0.355, ובממוצע היא 0.325±0.020. ומכאן שהשונות בתוך האוכלוסיות מהווה 91% מהשונות הכללית וזו שבין האוכלוסיות מהווה 9% בלבד. מבין 24 האוכלוסיות שניבדקו, השונות הגבוהה ביותר בתוך האוכלוסייה הייתה באוכלוסיית דיר-רזק שבדרום הר חברון (0.355), השונות הנמוכה ביותר (0.288) הייתה בשמורת יער אום ריחן שבשומרון (טבלה 8). נימצא כי שתי האוכלוסיות שגדלות בדרום אזור התפוצה של המין בארץ דיר-רז׳ק וצפרירים יש בהן שונות גנטית גבוה משאר האוכלוסיות, המרחק הגנטי של שתי האוכלוסיות אלו מכל שאר 23 האוכלוסיות שנדגמו הוא מובהק ברמה של $P= 0.05$.

טבלה 8 : השונות הגנטית בקרב האוכלוסיות שנדגמו

אוכלוסיות טבעיות	ne	h	I	PI	P%
החרמון	1.555	0.321	0.479	21	91.30
יער אודם	1.583	0.340	0.509	22	95.65
צוק מנרה	1.493	0.302	0.466	23	100.00
פיסגת הר מירון	1.562	0.321	0.480	22	95.65
בית העמק	1.570	0.330	0.493	23	100.00
פארק גורן	1.551	0.326	0.490	22	95.65
פסגת הר חזון	1.553	0.312	0.464	21	91.30
פסגת הר עצמון	1.554	0.320	0.477	22	95.65
פסגת הר תורען	1.554	0.328	0.494	22	95.65
פבגת הר התבור	1.566	0.329	0.494	22	95.65
פסגת הר עמיעד	1.567	0.322	0.479	22	95.65
מלקישוע שבגילבוע	1.571	0.333	0.501	23	100.00
הכרמל, לאורך דרך הנוף	1.596	0.336	0.499	22	95.65
רמת הנדיב	1.613	0.348	0.516	23	100.00
פארק השרון	1.540	0.307	0.458	21	91.30
יער אום ריחן	1.496	0.288	0.434	20	86.96
יער אום צפא	1.522	0.300	0.499	21	91.30
המסרק	1.517	0.308	0.473	23	100.00
הר סנסן	1.566	0.329	0.493	22	95.65
יער אל-קרן, ליד גוש עציון	1.559	0.324	0.484	21	91.30
דיר רזק, דרום הר חברון	1.622	0.355	0.524	22	95.65
צפרירים	1.591	0.341	0.512	23	100.00
שמורת דנא, ירדן	1.579	0.331	0.489	21	91.30
הר מוניף, צפון ירדן	1.582	0.338	0.506	22	95.62
ממוצע	1.566	0.325	0.488	21.8	94.98
סטית התקן	0.038	0.020	0.027	1	4.29

ne= מספר אללים אפקטיביים (Crow and Kimura, 1964)
h= שונות גנטית בתוך האוכלוסיה (Nei, 1973)
I= שנון אינדקס האינפורמציה (Lewontin, 1972)
PI= מספר אתרים (Locus) פולימורפיים
P % = אחוז האתרים הפולימורפיים

טבלה 9 : השונות הגנטית בתוך הקבוצות הגיאוגרפיות של *אלון מצוי* בארץ.

קיבוץ גאוגרפי	מספר עצים שניבדקו	ממוצע שונות גנטית כללית במין (Ht)	ממוצע שונות גנטית בתוך האוכלוסיות בקבוצה (Hs)	Gst	Nm
הגולן	99	0.340	0.331	0.027	17.8
הגליל	441	0.341	0.322	0.056	8.4
הכרמל	99	0.353	0.343	0.031	15.9
שומרון	100	0.310	0.295	0.051	9.4
הרי יהודה	246	0.351	0.331	0.055	8.5

החלק של השונות הכללית במין הנובע מההבדלים בין האוכלוסיות Gst=(Ht-Hs)/ Ht
מספר האללים המועברים בין אוכלוסיות באבקה בדור. Nm = 0.5(1 - Gst)/Gst

למרות ההבדל הגנטי המצומצם בין האוכלוסיות הרי שקיימים הבדלים המאפשרים לקבץ את האוכלוסיות שנבדקו לקיבוצים גיאוגרפים הנִבדלים אחד מהשני במידה מובהקת והם: הגולן, הגליל, הכרמל, השומרון והרי יהודה.

נִמצא כי מבין שלושת מיני האלון בארץ לאלון המצוי יש את המספר הנמוך ביותר של אללים אפקטיביים (ne) של 1.566, החלק היחסי של השונות הגנטית של המין הנובע מההבדלים בין האוכלוסיות (Gst%) הוא רק 8% בממוצע, הוא הנמוך ביותר בקרב האלונים בארץ. זאת, מפני שמתקיים, כנִראה, פיזור אבקה רב. כלומר, זרימת הגנים (Nm) הגבוהה מבין האלונים בארץ של 5.7 גנים בדור.

לידע של השונות הגנטית באוכלוסיות השונות יש השלכות על ההחלטות היכן לאסוף חומר ריבוי לנטיעה היות ושונות גבוה באוכלוסיה מסוימת לעומת אחרות, וכך בחומר הריבוי שנוצר באוכלוסיה זו, מאפשרת התאמה טובה יותר בין השתילים הניטעים לבין התנאים האקולוגיים בבית הגידול החדש [2, 4, 5, 7, 8].

התוצאות שהתקבלו ופורטו מראות את גודלה של השונות הגנטית בתוך האוכלוסיות ובהתאם לאזורים גיאוגרפיים ובתוכם ומאפשרות להתאים את מקומות איסוף הבלוטים למקומות בהם מתוכנן הקמת יער אלון מצוי. רצוי מאוד להתחשב בתחזיות לשינויי אקלים החוזות עלייה ביובשנות בארץ. לכן, רצוי לשקול את היתרונות והחסרונות של איסוף בלוטים באוכלוסייה/ות באזור הגיאוגרפי המסוים, שלהן שונות גנטית פחותה, מאשר איסוף בלוטים באוכלוסייה/ות באזורים גיאוגרפיים שונים ורחוקים, אך בהן השונות גבוהה בהרבה, דבר המאפשר ברירה והתאמה טובה בהרבה לתנאים האקולוגיים המשתנים. רצוי לשקול איסוף בלוטים "מעצי אם לבלוטים" באוכלוסיית דיר-רזק בדרום הר חברון ואזור צפרירים הגדלים באזור יובשני עבור נטיעות בשטחים שבין דרום השפלה ועד לשומרון, איסוף בלוטים ברמת הנדיב עבור אזור הכרמל והשומרון הצפוני, ואיסוף בלוטים ביער אודם עבור הגולן והגליל.

א. ***אלון התבור***

אוכלוסיות אלון התבור גדלות בבתי גידול ששונים בתנאים האקולוגים, והברירה הטבעית מביאה לידי ביטוי גנטי את ההבדלים שבין בתי הגידול. השונות הגנטית הכללית של המין וזו שבתוך כל אוכלוסיה נחקרה ב-16 אוכלוסיות נפרדות המצוינות בטבלה 10.

טבלה 10 : אוכלוסיות אלון התבור בהם נאסף חומר גנטי :

האוכלוסיה	נתונים גאוגרפיים			גשם רב	תצורה	תיאור מסלע	קרקע
	רוחב (רשת ישראל)	אורך	גובה (מ')	שנתי ממוצע (מ"מ)			
עין זיוון	2785	2240	950	988	גולן	בזלת (אלקלי-אוליבין-בזלת),	ליתוסול בזלתי
נחל מצר	2385	2155	250	450	מראשה	קרטון רך עד חוארי מכוסה בנארי	רנדזינה חומה
יער יהודיה	2628	2145	250	584	אורטל	בזלת	ליתוסול בזלתי ופרוטוגרומוסול
חורשת טל	2925	2100	100	809	טרוורטין	טרוורטין (דמוי קרטון רך לבן וצהוב)	רנדזינה וקרקע אלוביאלית
כחל	2560	1980	200	492	בר כוכבא)	קרטון ואבן גיר	רנדזינה חומה
בית קשת	2355	1875	150	536	בירה	חואר מכוסה נארי	רנדזינה
צ' המוביל	2425	1782	215	582		קרטון עם נארי	רנדזינה חומה
בית לחם-	2385	1650	200	648	מראשה	קרטון רך למדי, אחיד למדי	רנדזינה חומה
רמת יוחנן	2445	1645	175	566		קרטון עם נארי	רנדזינה חומה
המוחרקה	2310	1585	350	687	מוחרקה	אבן גיר שוניתית. סלע קשה נקבובי	טרה רוסה
בת שלמה	2238	1510	150	661	טקיה (?)	קרטון עם נארי	רנדזינה בהירה
שמורת אלונה	2175	1488	75	581	מראשה	קרטון נקבובי רך למדי	רנדזינה חומה
ח' צ'רקס	2067	1508	50	603	חמרה	חמרה	חול חום אדום מתדלדל
יער עירון	2100	1558	125	685	בע'נה	אבן גיר עם נאריזציה	טרה רוסה
חפצי-בה	2070	1410	50	603	כורכר	כורכר	חול חום אדום
אילנות	1890	1420	75	621	חמרה נתניה	חמרה סילטית, חרסית אדומה	חול חום אדום מידלדל

נתונים על המיגוון הגנטי באלון התבור ניתנים בטבלה 11 המראה כי ממוצע השונות הגנטית בתוך האוכלוסיות (Hs) הוא 0.362. השונות הגבוהה ביותר קיימת באוכלוסייה שבדרום מערב בקעת בית נטופה (מצפון-מזרח לבריכות השיקוע והטיהור של המוביל הארצי) של 0.369 ; השונות הנמוכה ביותר קיימת באוכלוסיית חורשת טל שבעמק החולה של 0.323. השונות הכללית (Ht) במין זה בארץ היא 0. 414.

נימצא מִתאם מובהק בין התדירות של שני אתרים מסוימים לבין המיקום הגיאוגרפי (הרוחב הגיאוגרפי) של האוכלוסיות שנידגמו, בנוסף נִמצא מתאם מובהק בין המרחק הגנטי והמרחק הטופוגרפי בין האוכלוסיות [11].

טבלה 11: השונות הגנטית בתוך האוכלוסיות אלון התבור בישראל.

האוכלוסיה	ne	h	*I*	PI	P %
עין זיון	1.635	0.367	0.543	71	98.61
כחל	1.669	0.380	0.558	70	97.22
בית קשת	1.612	0.356	0.530	70	97.22
יער אלונה	1.571	0.333	0.498	69	95.83
חירבת צ'רקס	1.646	0.370	0.545	69	95.83
חורשת טל	1.554	0.323	0.481	66	91.67
ואדי מצר	1.597	0.344	0.512	70	97.22
יער יהודיה	1.662	0.376	0.551	70	97.22
צומת המוביל	1.704	0.396	0.580	72	100
הת שלמה	1.654	0.369	0.542	71	98.61
בית לחם הגלילית	1.628	0.362	0.535	70	97.22
אילנות - קדימה	1.636	0.364	0.540	69	95.83
רמת יוחנן	1.635	0.363	0.535	68	94.44
המוחרקה	1.638	0.360	0.530	70	97.22
חדרה (שכונת חפציבה)	1.598	0.346	0.513	68	94.44
יער עירון	1.690	0.387	0.564	70	97.22
ממוצע	1.633	0.362	0.535	69.6	96.61

ne	מספר אללים אפקטיביים (Crow and Kimura, 1964)
h	שונות גנטית בתוך האוכלוסיה (Nei, 1973)
I	שנון אינדקס האינפורמציה (Lewontin, 1972)
PI	מספר אתרים (Locus) פולימורפיים
P %	אחוז האתרים הפולימורפיים

נעשה ניתוח סטטיסטי מיוחד שמטרתו הייתה לקבוע מרחקים גנטיים בין האוכלוסיות השונות לבין האוכלוסייה שנשתלה בגן הבוטני בירושלים, כדי לייצג את המגוון הגנטי של המין בישראל [4]. הניתוח הראה כי אפשרי לקבץ את האוכלוסיות שנדגמו לשלוש קבוצות גיאוגרפיות כדלקמן:

1. האוכלוסיות שגדלות ברמת הגולן ובגליל העליון: שהן :עין זיוון, ואדי מצר, יער יהודייה וחורשת טל, אוכלוסיית כחל שבגליל התחתון ויער אלונה שבשומרון, מהוות קבוצה אחת. קשה להסביר את ההקשרים הגנטיים בין רמת הגולן לאזור כחל או ליער אלונה מעבר למחשבה על העברת בלוטים בעבר הרחוק ונטיעה.

2. הקבוצה השנייה כוללת בתוכה את האוכלוסיות: חירבת צ׳רקס שליד פרדס-חנה, בית-לחם הגלילית (וולדהיים), בית-קשת וצומת המוביל. נתון זה מצביע על כך שאוכלוסיית חירבת צ׳רקס היא כנִראה נטועה ויש בה חומר גנטי שנאסף באזור יותר צפוני.

3. הקבוצה השלישית כוללת בתוכה את האוכלוסיות הבאות: המוחרקה, רמת-יוחנן, יער עירון, חדרה (ליד שכונת חפציבה), בת-שלמה, אילנות-קדימה.

ההבדלים בשונות הגנטית בין הקיבוצים הגיאוגרפיים השונים ובתוכם נִראית בטבלה 12.

טבלה 12: הבדלים בשונות הגנטית בתוך ובין הקבוצות גיאוגרפיים של אלון התבור בישראל.

קיבוץ גאוגרפי	ממוצע שונות גנטית כללית במין (Ht)	ממוצע שונות גנטית בתוך האוכלוסיות בקבוצה (Hs)	Gst	Nm
הגולן' והגליל העליון	0.394	0.352	0.106	4.235
הגליל התחתון	0.409	0.372	0.091	4.970
הכרמל, השומרון, השרון	0.394	0.364	0.075	6.132
ממוצע	0.414	0.362	0.126	3.460

החלק של השונות הכללית במין הנובע מההבדלים בין האוכלוסיות Gst=(Ht-Hs)/ Ht

מספר האללים המועברים בין אוכלוסיות באבקה בדור. Nm = 0.5(1 - Gst)/Gst

מטבלה 12 ניראה כי ממוצע השונות הכללית (Ht) של המין הוא 0.414, ממוצע השונות בתוך האוכלוסיות (Hs) הוא 0.362, החלק של השונות הכללית הנובע מההבדלים בין האוכלוסיות (Gst) הוא 0.126 או 12.6%. התוצאות מראות את גודלה של השונות הגנטית בתוך האוכלוסיות בהתאם לאזורים גיאוגרפיים ובתוכם, דבר המאפשר להתאים את מקומות איסוף הבלוטים "מעצי אם לבלוטים" עבור מקומות בהם מתוכנן הקמתו של יער אלון התבור באזורים השונים. לאור התוצאות מהבדיקות הגנטיות, רצוי מאוד לאסוף את חומר הריבוי (בלוטים או ייחורים) בכל אזור באוכלוסייה שבה השונות הגנטית היא הגבוהה ביותר [2, 7, 8]. עבור הגולן והגליל העליון רצוי לאסוף הבלוטים ביער יהודיה; עבור נטיעות באזור הגליל התחתון רצוי לאסוף בלוטים בעומדים שגדלים בדרום מערב עמק בית נטופה, ועבור נטיעות באזור השפלה רצוי לאסוף בלוטים ביער עירון..

בשנות החמישים של המאה שעברה נזרע ב"אילנות" (לשעבר המחלקה לחקר היער אשר בשרון) חלקת ניסיון של אלון התבור. פרטי הניסוי אבדו מזמן, אלא שהפנוטיפים של העצים בחלקה נחלקים בצורה ברורה לשניים: הפנוטיפ האחד מראה צמיחה זקופה, הגזע מהווה ציר מרכזי לאורך כל העץ ללא התפצלויות. לפנוטיפ השני אין גזע שמהווה ציר עובר והנוף מתפצל לענפים רבים. תוצאות אלו מראות כי ניתן למצוא "עצי אם" לבלוטים בעלי

פנוטיפיות שונה באופן משמעותי. השפעת ההבדלים הפנוטיפים עבור ממשק יער אלון התבור עדיין לא נחקר.

לאלון התבור יש בלוטים גדולים מאוד, בין הגדולים שמיני האלון הרבים מייצרים. הבלוטים מהווים מאגר אנרגיה רב (חלבונים, שומנים ועמילן), הם ניתנים לאגירה על מנת להוות תחליף מזון לאדם ולחי במיוחד כאשר התנאים השחונים אינם מספקים די מזון אחר. ממשק יערות אלון התבור הוא ממשק סילוו-פסטוראלי, כלומר, רעייה בצומח העשבוני של תת-היער - פארק בעונה הלחה, רעייה בסתיו עת נושרים בלוטי האלון. צורת מִמשק שכזו מזכירה בהחלט את הממשק ביערות עצי הערמון (*Castanea sativa*), ערמון הסוסים (*Esculus hippocastaneum*) ויערות אלונים בספרד (דהיש'ה), שהיא צורת ממשק עתיקה עוד מתקופת האימפריה הרומית. סביר להניח כי כבר בימי ממלכת ירושלים הצלבנית בארץ ניטע אלון התבור על ידי איכרים, שהגיעו במסעי הצלב והתיישבו בארץ וגם על ידי רועים נודדים, כדי להבטיח אספקת מזון לאדם ולחי בשנות בצורת. בחלק מיערות אלון התבור (חורשת טל, אלון הגליל) עדיין נראים סימנים לנטיעה (שורות). ניתן להניח בסבירות גבוהה כי נעשתה גם ברירה של טיפוסים הנוטים ליצר יבול בלוטים רב, וגם טיפוסים שניתנים לאכילה על ידי האדם. כלומר, בלוטים בעלי מתיקות ומיעוט טנינים [1].

במיני אלונים נשירים קיימת תופעה שחלק מהעצים בבית הגידול משירים את העלווה מאוחר בעונה. תופעה שכזו קיימת גם באלון התבור. בכ- 10 % עד 15% מהעצים באוכלוסייה כלשהי משירים העלים מאוחר בתקופת בחורף, עד חודש פברואר ותחילת הלְבלוב [3, 10]. בדיקה בשיטות גנטיות [13] העלתה כי קיים הבדל משמעותי בתדירות של אללים מסוימים בין העצים "הרגילים" לבין אלו המאחרים מאוד בשלכת, המשמעות של תופעה זו עדין לא ברורה.

ב. אלון התולע

השונות הגנטית במין זה נחקרה ב-16 אוכלוסיות נפרדות של מין זה בארץ שמצוינות בטבלה 13. התוצאות של הבדיקה הגנטית, שנעשתה באותה שיטה כפי שנעשו הבדיקות באלון מצוי ואלון התבור, הראו כי השונות הכללית (Ht) של המין היא 0.400. ממוצע השונות בתוך האוכלוסיות (Hs) הוא 0.335; שונות רבה קיימת בתוך האוכלוסיות הכרמל (המוחרקה), החרמון ובפארק גורן. שונות מועטה יותר קיימת באוכלוסיות הר אדיר, יודפת, הר הילל ובעין זיוון. החלק היחסי של השונות הגנטית הכללית (Ht), שנובע מההבדלים בין האוכלוסיות (Gst%), הוא 0.162. לא נמצאו קשרים בעלי מובהקות סטטיסטית בין תדירות אללים מסוימים או השונות לבין המיקום הגיאוגרפי של האוכלוסייה בארץ ו/או עם תנאי האקלים.

טבלה 13: אוכלוסיות אלון התולע הגדלות בארץ ונדגמו עבור המחקר.

האוכלוסיות	אזור גאוגרפי	אורך גאוגרפי רשת ישראל	רוחב גאוגרפי רשת ישראל	גובה מעל פני הים (מטר)
עין זיון	רמת הגולן	2255	2782	1000
יער אודם (צפון)	רמת הגולן	2202	2868	950
יער אודם (דרום)	רמת הגולן	2210	2925	1100
החרמון	רמת הגולן	2212	2992	1450
צוק מנרה	גליל עליון	2012	2875	750
הר אדיר	גליל עליון	1848	2708	900
בירנית	גליל עליון	1827	2735	700
הר מרון	גליל עליון	1890	2675	1000
הר הילל	גליל עליון	1896	2629	950
פארק גורן	גליל מערבי	1701	2705	250
יודפת	גליל תחתון	1752	2495	400
המוחרקה	הכרמל	1590	2308	450
יער אום ריחן	השומרון	1625	2095	400
הר סנסן	הרי יהודה	1578	1233	700

טבלה 14: השונות הגנטית באוכלוסיות של אלון התולע בארץ

אוכלוסיות	ne	h	I	PI	P%	Gst
עין זיון	1.532	0.317	0.477	29	90.62	0.208
יער אודם (צפון)	1.599	0.351	0.523	32	100.00	0.123
יער אודם (דרום)	1.502	0.292	0.437	28	87.35	0.270
החרמון	1.578	0.337	0.502	30	93.75	0.157
צוק מנרה	1.628	0.362	0.539	32	100.00	0.095
הר אדיר	1.528	0.312	0.471	30	93.75	0.219
בירנית	1.612	0.347	0.511	30	93.75	0.133
הר מרון	1.586	0.343	0.510	30	93.75	0.142
הר הילל	1.607	0.350	0.522	32	100.00	0.124
פארק גורן	1.566	0.328	0.494	32	100.00	0.180
יודפת	1.523	0.303	0.452	28	87.50	0.243
המוחרקה	1.639	0.369	0.547	32	100.00	0.077
יער אום ריחן	1.567	0.328	0.487	29	90.62	0.181
הר סנסן	1.624	0.356	0.526	32	100.00	0.111
ממוצע	1.578	0.335	0.500	30	95.08	0.162

ne= מספר אללים אפקטיביים (Crow and Kimura, 1964)
h= שונות גנטית בתוך האוכלוסיה (Nei, 1973)
I= שנון אינדקס האינפורמציה (Lewontin, 1972)
PI= מספר אתרים (Locus) פולימורפיים
P % = אחוז האתרים הפולימורפיים
Gst = החלק של השונות הכללית שנובע מהבדלים בין אוכלוסיות

אי מציאת הקשר חיובי או שלילי בין המיקום הגיאוגרפי (התנאים האקולוגיים) והשונות הגנטית בתוך האוכלוסיות (Hs) מאפשר בעצם שימוש בחומר ריבוי (בלוטים) שיאספו מעצי אם באוכלוסיות בהם השונות היא הרבה ביותר (המוחרקה, הר מירון, החרמון, פארק גורן, יער מסעדה דרום) עבור נטיעות במקומות השונים בארץ בהם התנאים האקולוגיים מאפשרים גדילה טובה של אלון זה.

ג. סיכום

יש עניין בהשוואת המגוון הגנטי של שלושת מיני האלונים הגדלים בארץ, באותם בתי גידול או בנפרד. טבלה 15 מראה כי המגוון גנטי המרבי קיים באלון התבור, דבר שכנראה נובע ממיעוט חילופי גנים בין אוכלוסיות אשר נבדלות מרחק רב אחד מהשני. אלון התולע קרוב יותר ברמת השונות הגנטית לזה של אלון התבור מאשר לזה של האלון המצוי, למרות שמספר האללים המועברים בין האוכלוסיות (Nm) יחסית גבוה. האלון המצוי הוא המין עם המגוון הגנטי הכללי הנמוך מבין שלושת המינים, כנראה שזו תוצאה של העברת גנים

רבה יחסית בין האוכלוסיות אשר גורמת לאחידות. ולכן, אחוז השונות בתוך האוכלוסיות מתוך השונות הכללית באלון מצוי היא 91.8%, באלון התולע 88.8%, ובאלון התבור.86.3%.

טבלה 15. פרמטרים של השונות הגנטית בשלושת מיני האלון הגדלים בישראל

המין	ne	h	*I*	Ht	Hs	Gst	Nm
אלון התבור	1.754 ± 0.246	0.416 ± 0.100	0.602 ± 0.118	0.417 ± 0.010	0.360 ± 0.009	0.135	3.199
אלון התולע	1.700± 0.242	0.398 ± 0.010	0.583 ± 0.112	0.400 ± 0.009	0.355 ± 0.009	0.162	4.649
אלון מצוי	1.624 ± 0.339	0.354 ± 0.152	0.525 ± 0.188	0.354 ± 0.023	0.325 ± 0.020	0.080	5.660

ne= ממוצע מספר אללים אפקטיביים (Crow and Kimura, 1964)
h= ממוצע השונות בגנים בתוך האוכלוסיה (Nei, 1973)
I= ממוצע אינדקס האינפורמציה על שם שנון (Lewontin, 1972)
Ht= ממוצע השונות הגנטית הכללית במין
Hs= ממוצע השונות הגנטית בתוך האוכלוסיות
Gst= החלק של השונות הגנטית במין הנובע מההבדלים בין האוכלוסיות
Nm= מספר האללים המועברים בין האוכלוסיות בדור (זרימת גנים)

ספרות, מקור הציטוט:

1. אליאב א.,1985. שימוש בבלוטי אלון התבור למאכל. רתם, כתב עת לנושאי שדה בוטניים בארץ ישראל 14, עמ' 73-72.

2. Bush R M., Smouse P E. and Ledig F T., 1987. The fitness consequences of multiple-locus heterozygosity: The relationship between heterozugosity and growth rate in pitch pine (*Pinus rigida* Mill.). *Evolution* **41**, 787-798.

3. Kaplan D/' GutmanM/' 1999/ Phenology of *Quercus ithaburensis* with emphasis on the effect of fire. *For. Ecol. Manage*. **115**, 61-70.

4. Knowles P., Grant M.T., 1981. Genetic patterns associated with growth variability in *Ponderosa pine*. *Am. J. Bot*. **68**, 942-946.

5. Knowles P., Mitton J.B., 1980. Genetic heterozygosity and radial growth variability in *Pinus contorta*. *Silvae Gentica*. **29**, 114-118.

6. Korol L, Shklar G. and Schiller G., 2005. Tabor oak in Israel, genetic diversity within and between populations. *Forest Genetics* **11**, 317-323.

7. Ledig F T., Guris R P. And Bonefeld B., 1983. The relation of growth to heterozygosity in pitch pine. *Evolution* **37**, 1227-1238.

8. Ledig F T. and Kitzmiller J H., 1992. Genetic strategies for afforestation in the face of global climate change. *For. Ecol. Manage*. **50**, 153-169.

9. Ledig F T., 1992. Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos* **63**, 87-108.

10. Ne'eman G/' 1983. Variation in leaf phenology and habit in *Quercus ithaburensis*, a Mediterranean deciduous tree. *J. of Ecology* **81**, 627-634/

11. Schiller G, Shklar G, and Korol L., 2003. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks in Israel. 1. Tabor oak (Quercus aegilops L. ssp. ithaburensis [Decne] Booiss.). *Israel J. Plant Sci*. **51**, 1-10.

12. Schiller G, Shklar G, and Korol L., 2004. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks in Israel.2. Quercus boissieri Reut. *Israel J. Plant Sci* **52**, 315-322.

13. Schiller G, Herr N, Shklar G, and Korol L., 2005. Diversity assessment of leaf phenology variation in Quecus ithaburensis Decne. By RAPD. *Israel J. plant Sci*. **53**, 75-78.

14. Schiller G., Shklar G. and Korol L., 2006. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks:. 3. *Quercus calliprinos Webb*. in Israel and Jordan. *Israel J. of Plant Sci*. 54, 137-148.

5.4 נופש ומרגוע ביער

5.4.1 יער, מיקרו-אקלים ונופש

(מבוא, הגדרות-חומרים ושיטות; תוצאות, סיכום)

א. מבוא

בעקבות קריאתו של ז׳אן ז׳אק רוסו (Jean-Jacques Rousseau, 1712-1778) לחזור לטבע ולערכים שהוא מייצג, נוצרה גם תנועה של אנשים היוצאים ליהנות מהטבע בדרכים שונות, שאחת מהן היא שהייה קצרה יחסית למטרות נופש ומרגוע, שיכולה להתקיים רק במיקרו-אקלים מתאים שכמובן מושפע מתנאי הסביבה. אחד הגורמים החשובים, מבין אלו המשפיעים על המיקרו-אקלים, הוא הרכב הצמחייה, גובהה ביחס לגובה האדם, מידת ההצללה של השטח, מידת ההשפעתה על תנועת האוויר, -על רמת הגרעון לרוויה של האוויר, -על טמפרטורת האוויר ועוד. אפשר גם להוסיף את השפעת הצמחייה על מידת ההפחתה במפלס הרעש שנוצר בחיים המודרניים ועוד. ״החזרה לטבע״ כוללת גם את הרעיון להחזיר את הצמחייה לערים על מנת להשתמש בתכונותיה הרבות באופן המיטיב עם אנשים החיים ביום-יום שלהם ״מנותקים מהטבע״. המחקרים הרבים, בהיבטים השונים של היחסים בית הגידול- צמחייה- מיקרו- אקלים- אדם, יצרו בסיס ידע עצום שהופץ בפרסומים מדעיים שאחדים מהם יצוטטו כאן.

היציאה לנופש בטבע, שהתגברה מאוד במחצית המאה העשרים עקב היווצרותם של קונגלומרטים עירוניים עצומים, בהם האדם ״מנותק מהטבע״, היוותה סיבה טובה לחקור את ההשפעות ההדדיות בין הטבע והאדם מכיוונים רבים ושונים, שאחד מהם הוא השפעת מבנה היער/חורש על המיקרו-אקלים בתוכו והשפעתו של זה האחרון על האדם. (לדוגמה מראי-מקום אחדים מתוך אין ספור פרסומים מדעיים בנושא: [15, 19, 30, 31, 32]). מצד שני, הנזקים שאירעו בטבע כתוצאה מפעילות המוני הנופשים, היוו סיבה טובה לחקור את השפעות האדם הנופש על הטבע, (לדוגמה מראי מקום אחדים מתוך אוקיינוס של פרסומים בנושא: {11, 13, 16, 28, 29, 38]). כמו-כן נוצרה גם סיבה טובה לחקור את ההשפעות של ״החזרת הטבע לערים״ (גינות, פארקים, שדרות, עצים בודדים, גינון בתוך בתי משרדים ועל פני קירות חיצוניים ועוד. (לדוגמה ציטוטים אחדים בנושא: [3, 6, 8, 10, 36, 44]).

מטרות הייעור בארץ הוגדרו בעבר כיצירת יער רב-תכליתי אשר יספק תוצרי עץ וגם שירותים חברתיים דוגמת האפשרות לנופש ומרגוע, מניעת מפגעים כמו סחף קרקע ורוח, ועוד. בעת האחרונה הוגדרו מטרות אלו מחדש והן מדגישות את היחסים בין האדם והיער, ובעיקר את ה"שירותים החברתיים" של היער לאדם. בעבר לא היו קריטריונים לממשק היער בארץ לשם אספקת שירותי נופש, חניונים רבים הוקמו לאחר שהקהל התחיל להתרכז במקום מסיבה כלשהי, הם הוקמו בדרך כלל בחלקות יער קיימות שהעצים בהם היו גדולים בהשוואה למקומות אחרים ביער, התנאים הטופוגרפיים אִפשרו נגישות, הקמת שירותים, בישול, משחקים, המקום היווה או אִפשר תצפית לנוף. היות שלא הוגדרו המטרות לממשק חלקות יער למיניהן, גם לא נוצרו המדדים שעל פיהם תבוצע הפעילות הממשקית, במיוחד לא בחלקות שהפכו לחניונים. לאורך השנים עצים בחניונים התחילו להאט את צמיחתם כתוצאה ממצב בריאותם שהידרדר עקב השימוש הרב בשטח, שגרם להידוק הקרקע שגרר בעקבותיו חוסר אוורור ואי-חדירת מים מספקת וגם פגיעה פיזית בעצים [2, 26]. בשנות השישים והשבעים של המאה העשרים התקיימו דיונים מרובים באגף הייעור על דרכי ממשק היער ועוצמת הדילולים הדרושים לשם התפתחות נאותה של העצים, שמירה על בריאותם וגם על התנאים המתאימים לנופש. חילוקי הדעות בתוככי אגף הייעור ובינו לבין אוהדי הנוף והטבע בארץ היו קשים מאוד. רוב הדעות היו סובייקטיביות והתבססו על רגשות והשקפות עולם ללא בסיס מדעי ניטראלי. נעשו מחקרים על מנת לפתח מודלים לשם תמיכה בממשק אזורי נופש, רובם היו מבוססים על חלוקת שטחים בהתאם לנתונים גיאוגרפיים וגישות אסתטיות או על משאלי דעת קהל המבקרים לגבי העדפותיהם והרגשותיהם. השימוש בשתי שיטות אלו יש בו משום קוצר ראות מסוים: חלוקת נקודות לערכי נוף וטבע בהתאם לדירוג מסוים כוללת בתוכה סכנת עיוות כתוצאה מהשקפה אליטיסטית מהבחינה המקצועית. כלומר, **המומחה מחליט מה טוב**, תוך שהוא מושפע ומוטה על ידי הרקע המקצועי שלו. הסתמכות על משאלי דעת הקהל ועל ראיונות עלולה גם היא להיות משענת קנה רצוץ כתוצאה מהרכב הדגימה או משינוי בדעת הקהל. מכאן, שיש צורך בפיתוח **גישה אובייקטיבית לבעיות התכנון והממשק** של חלקות יער המשמשות למטרות נופש, גישה המשוחררת מהעדפות אישיות ומרעיונות חולפים. היות והיער מאריך ימים, טעות בשיקולים עליהם מבססים את התכנון ופעילות הממשק (נטיעה, דילול, ואו כריתה ביער) אינם ניתנים לתיקון אלא לאחר תקופה ארוכה, אם בכלל.

קריטריון אובייקטיבי שעשוי לשמש בסיס לתכנון וממשק ביער לשם נופש הוא מאזן החום של גוף האדם והרגשת הנוחות התרמית שלו, כפי שהוא מושפע מתנאי הסביבה השונים. למרות שהשימוש בנתונים מיקרו-אקלימיים, לשם חישוב מאזן האנרגיה של הגוף האנושי והרגשתו, אינו חדש, לא הייתה מוּדעות לאפשרויות הטמונות בשיטה זו לשם בחירת נופים, תכנונם וניהולם למטרות נופש [18, 45]. הטמפרטורה הרגילה של גוף האדם בתנאי מנוחה היא בין 36.5. ל- 37.0 מעלות צלסיוס, מעל או מתחת למשרעת זו האדם מרגיש אי-נוחות תרמית, שהולכת וגדלה והופכת גם לאי-נוחות רגשית. על כן, בהתאם לתנאים המיקרו-אקלימיים במקום שהותו, שהעיקריים שביניהם הם: טמ' האוויר, טמ' הקרינה (טמ' גוף שחור), לחות יחסית של האוויר, מהירות הרוח והלבוש, שיש להם השפעה רבה על טמפרטורת הגוף [12, 20, 21, 34], אדם יעשה ככל האפשר על מנת לשמור על טמפרטורת הגוף הקבועה שלו.

למיני הצמחים ובעיקר העצים, לצפיפות העלווה כגורם המונע חדירת קרינה והמשפיעה גם על תנועת האוויר (רוח), יש השפעה רבה על המיקרו-אקלים ונובע מכך גם על הנוחות התרמית והרְגשית של האדם ביער. על כן, מטרת המחקר בתחום זה הייתה לאפיין את המיקרו-אקלים בחלקות יער רם וחלקות חורש ואו שטח חסר צמחיה, כדי לחשב מהלך יומי ועונתי של ערך פיזיקאלי המכונה "אינדקס עקת החום" ו-"אינדקס הנוחות התרמית", שעשויה להיות להם השפעה על השימוש במקום מסוים לנופש. אפשרי להשוואת בין חלקות יער שונות על פי ערכים פיזיקאליים אלו, כדי להסיק על עדיפויות עצים שונות כגון, מיקום טופוגרפי, ממשק יערני ועוד.

ב. הגדרות, שיטות וחומרים

במחקרים נעשה שימוש באינדקס עקת החום (S) [20] כדי לבטא את תגובת גוף האדם הנופש לתנאי הסביבה. אינדקס זה הוא מדד ביו-פיסיקלי המתאר את חילופי החום בין גוף האדם והסביבה בהקשר לפעילותו הפיסית, התנאים המיקרו-אקלימיים והלבוש. הנחת היסוד במודל זה היא, שהזיעה המופרשת על ידי גוף האדם בתנאים מיקרו-אקלימיים נתונים מאפשרת בהתאדותה את קירור הגוף על מנת לאזן את התחממותו כתוצאה מייצור חום מטבולי וחילופי החום עם הסביבה.

נוסחת אינדקס עקת החום היא: . $S = [(M - W) \pm C \pm R]\ 1/f$

כאשר:

S = כמות הזיעה הנדרשת לשם שמירה על טמפרטורה קבועה של גוף האדם בתנאים מיקרו-אקלימיים נתונים (קילו-קלוריות שעה$^{-1}$).

M = יצור חום מטבולי (קילו-קלוריות שעה$^{-1}$)

W = חום מטבולי שהפך לאנרגיה מכאנית (תנועת גוף האדם) (קילו-קלוריות שעה$^{-1}$).

C = חילופי חום בקונווקציה (קילו-קלוריות שעה$^{-1}$)

R = חילופי חום על ידי קרינה (קילו-קלוריות שעה$^{-1}$)

f = יעילות הקירור על ידי התאדות הזעה (חסר מימדים).

בנוסף נעשה שימוש באינדקס הנוחות התרמית (T.S.) [21], שהוא מודל ביו-פיסיקלי הקושר בין אינדקס עקת החום (S) להרגשת החום הסובייקטיבית של אדם בתנאים מיקרו-אקלימיים נתונים.

נוסחת אינדקס הנוחות התרמית היא: $T.S. = a + b(S_p+S_o)c$

כאשר:

S_P = S = כמות הזֵעה (גרם שעה$^{-1}$).

S_O = (M-100) (גרם שעה$^{-1}$).

a, b, c = קבועים אמפיריים התלויים בפעילות האדם שנִלקחו מטבלה [21].

המודלים מיוחסים לאדם הממוצע, הם אינם כוללים נתונים על הרקע הסוציאלי והכלכלי של המבקר ביער, על הגיל, המין וכדומה.

מדידות מיקרו-אקלימיות נעשו בתצורות נוף ויער שונות, שבהם הקהל נוהג לנפוש, או שהקק"ל הצהירה שהם הוקמו ו/או טופלו על מנת להוות מקום לנפוש בו. בכל אחת מחלקות המחקר ביערות השונים נמדדו המדדים המיקרו-אקלימיים בעזרת שלושה או ארבעה מכשירי מדידה ייעודים זהים, שהוצבו בשטח בקודקודים של משולש שווה צלעות או ריבוע שאורך הצלע כ-10 מ'. אופן זה של הצבת המכשור נועד לפצות על השינויים הנובעים מסיבוב כדור הארץ ביחס לשמש (נדידת כתמי השמש) ועל שינויים שעתיים בכיוון הרוח. המַכשור הותקן בגובה של 1.30 מ' מעל פני הקרקע. המדידות נעשו במשך שעות האור (18:00 -6:00) בהן, בדרך כלל, מתקיימת השהייה במרחב.

<u>נמדדו:</u>

1. טפרטורות אוויר יבש ולח (בעזרת פסיכרומטר, דגם אסמן), בעזרתן חושבו הלחות יחסית ולחץ האדים.
2. טמפרטורת "גוף שחור" בעזרת מדחום דגם קסלה-גלוב.
3. מהירות הרוח בעזרת מדי-רוח מדגם Fuess.

חישובי אינדקס עקת החום (S) נעשו תוך שימוש בנתונים ובהנחות כדלהלן:

1 טמפרטורת האדם זהה לטמפרטורת "גוף שחור". על-פי Ladell [27], גוף האדם פועל בקליטה ובפליטה של אנרגית החום כ"גוף שחור".

2 מהירות הרוח קובעת את יעילות חילופי החום על ידי הסעה.
3 לחץ האדים קובע את יעילות הקירור על ידי התאדות הזֵעה.

החישובים של אינדקס עקת החום ואינדקס הרגשת הנוחות התבססו על הממוצעים השעתיים של 3 או 4 מכשירי מדידה זהים בכל חלקה, וגם על הנחות מסוימות שהן:

1. הנופש/ת לבוש במכנסי ג׳ינס וחולצה קלה בכל עונות השנה.
2. ייצור חום מטבולי במצב מנוחה הוא 100 קילו-קלוריות שעה$^{-1}$. ובמצב של פעילות פיסית מתונה (עבודה, הליכה, משחקי כדור) הוא 410 קילו-קלוריות שעה$^{-1}$.
3. ממוצע עומס קרינת השמש בשטחים עשבוניים או חשופים הוא 0.266. עבור החורש והיער 0.306 (נתונים מטבלה בפרסום של גִבעוני, 1971).

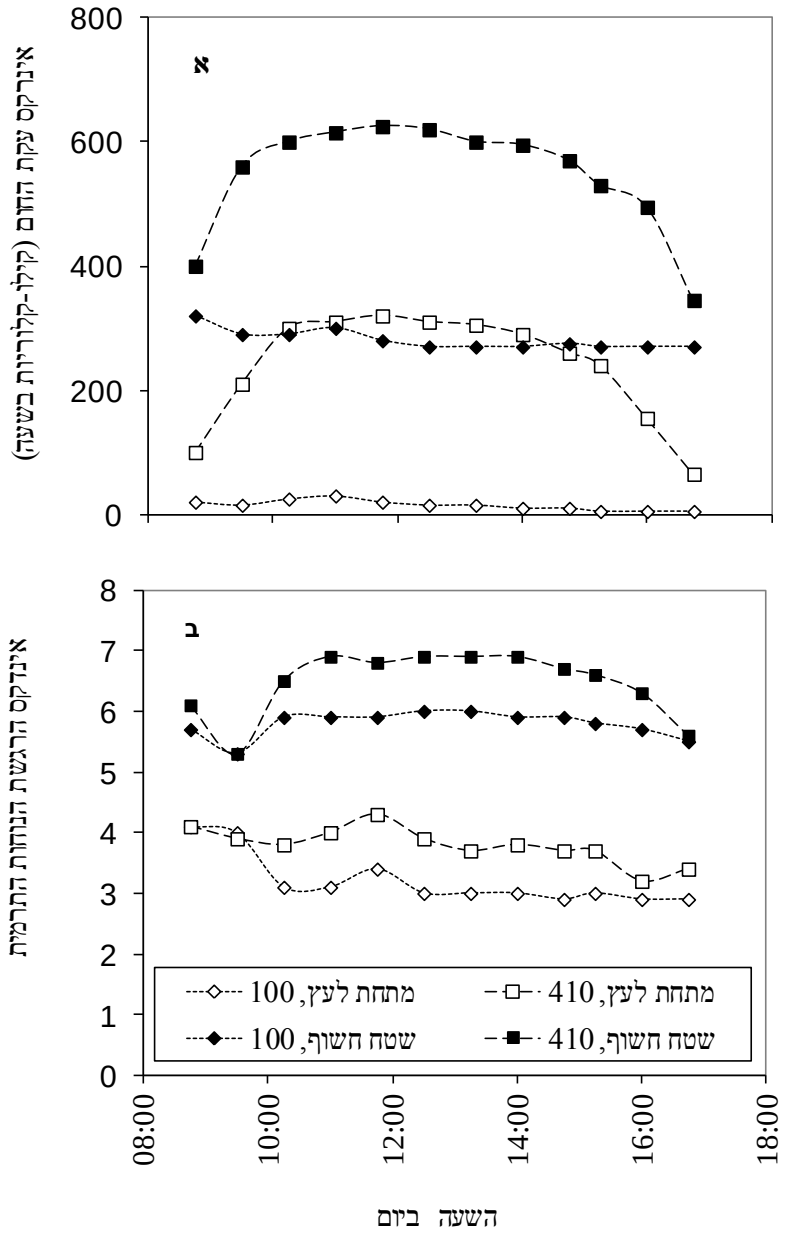
ג. תוצאות:

1. <u>השפעת עץ חרוב בודד</u> רחב פארות שגובהו 7 מ׳ ב״פארק השרון״ בהשוואה לשטח חשוף בקִרבתו [4 , 41, 43].

המדידות המיקרו-אקלימיות שנעשו ביום קיץ לא הצביעו על הבדלים בטמפרטורת האוויר, בלחץ האדים ובמהירות הרוח שבצל העץ לאלו שבשטח החשוף בקִרבת העץ. לעומת זאת נמצא הבדל ניכר בטמפרטורת ״גוף שחור״ השרוי בצל העץ לזה החשוף לקרינת השמש. בעוד שבצל ההבדל הממוצע בין טמפרטורת האוויר וטמפרטורת ״גוף שחור״ היה קטן יחסית ($1.9\pm0.1\ ^0C$), הרי שבשטח החשוף הבדל זה היה גבוה ($9.4\pm2.6\ ^0C$). ההבדל הממוצע בין טמפרטורת ״גוף שחור״ השרוי בצל לזה הנמצא בשטח חשוף לשמש היה $6\ ^0C$. הבדלים גדולים אלו שנובעים מנוכחותו של עץ בודד אחד מוצאים את ביטוים בערכי אינדקס עקת החום (אע״ח) ואינדקס הנוחות התרמית (אנ״ת). אע״ח של נופש השרוי בצל העץ במנוחה ו/או בעבודה נמוך בהשוואה לאע״ח של אדם הנמצא בתנאי שטח שחשוף לקרינה ישירה. באופן דומה האנ״ת של אדם השרוי בצל משופר לעומת זה של הנופש בשטח פתוח. אינדקס נוחות תרמית מרבית הוא 4. מעל ל-4 - האדם ירגיש אי-נוחות הולך ועולה מחום. פחות מ- 4 אדם ירגיש אי-נוחות כתוצאה מחום הולך ופוחת (איור 7). מאיור 7א ניראה כי האדם הנופש בצל העץ, האנ״ח שלו נמוך משמעותית מאשר זה של אדם השוהה בשטח הפתוח בין אם בתנאי מנוחה ובין אם בתנאי פעילות פיזית מתונה. מאיור 7ב ניראה כי האנ״ת של אדם השוהה בצל העץ במנוחה או פעילות פיזית מתונה תהיה בין 3 ל-4, כאשר 4 מסמל הרגשת נוחות מיטבית, בעוד שאדם השוהה בשטח פתוח רב שעות היום האנ״ת שלו יצביע על עודף חום גוף. כל זאת, כמובן, בהתאם למקדמים התלויים בסוג

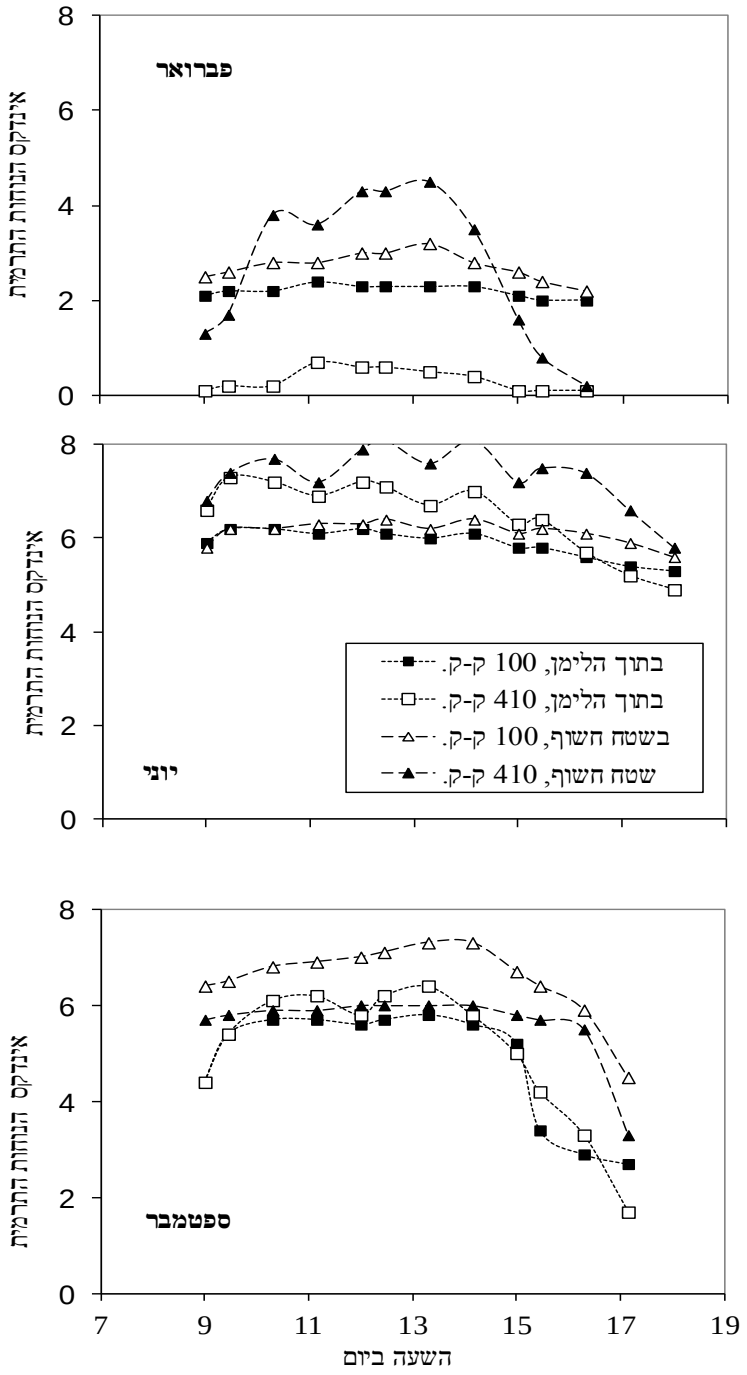
הלבוש ששימש לשם ביצוע החישובים, שאינם כוללים את האפשרות לשינוי הביגוד בהתאם לצורך.

<u>איור 7</u>: מהלך יומי של אינדקס עקת החום (**א**), אינדקס הנוחות התרמית (**ב**) של אדם השוהה בצילו של עץ חרוב בודד בהשוואה לאלו של אדם השוהה בשטח פתוח לקרינה, כאשר האדם במצב מנוחה (יצור חום מטבולי של 100 קילו קלוריות שעה) ואו במצב של פעילות פיזית מתונה (יצור חום מטבולי של 410 קילו קלוריות שעה).



2. **השפעת קבוצת עצים קטנה** של איקליפטוס המקור בגיל עשר הנטוע בלימן.

<u>איור 8</u>: מהלך יומי של אינדקס הנוחות התרמית של נופש השוהה במדבר בצל עצים בלימן או בשטח חשוף, במנוחה או בפעילות פיזית מתונה ב- 3 בחודשים שונים



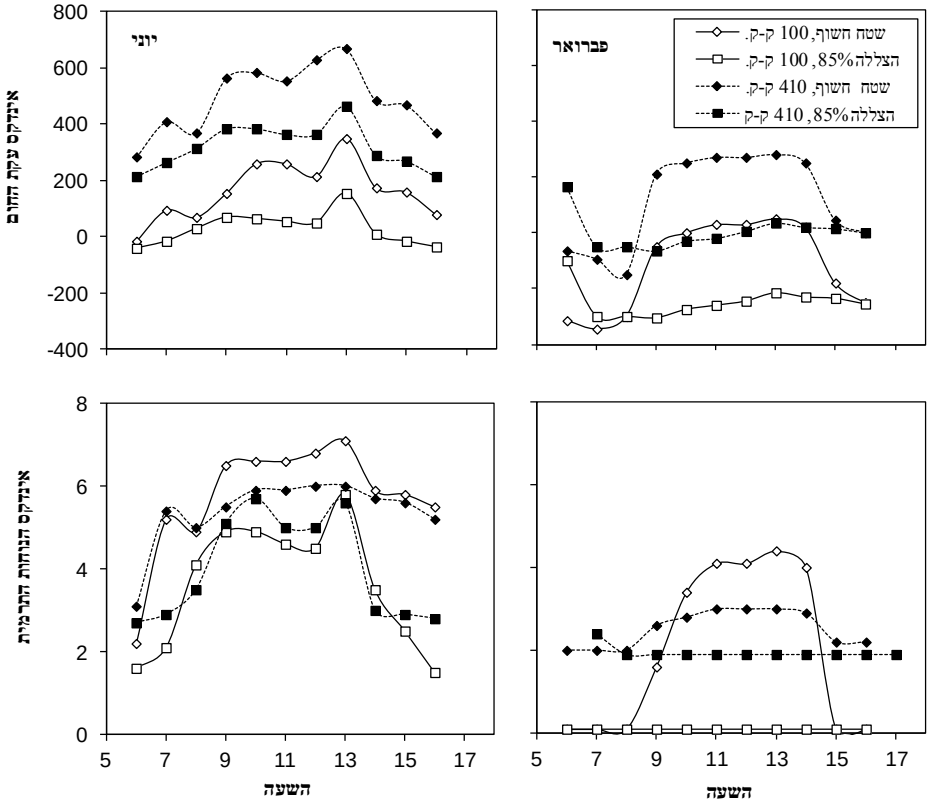
הלימן מוקם לצדי כביש באר-שבע- דימונה. גודל החורשה כ- 300 מ^2. המרחק בין העצים 4 מ', גובהם עשרה מטר ומידת ההצללה (שטח השלך הכותרות) כ- 43%. באתר זה נעשו מדידות בתוך החורשה ובשטח המדברי הפתוח בסמוך. איור 2 מתאר את אע"ח ואנ"ת

שחושבו על סמך הנתונים המיקרו-אקלימיים שנמדדו בלימן ובשטח החשוף בקִרבתו במשך ארבע ימים שונים בשנה [43]. הממצאים מצביעים על כך שהשטח הקטן שנטוע בעצי אקליפטוס, גרם לירידה מזערית במספר מדדים מיקרו-אקלימיים (טמפרטורת האוויר, הקרינה החודרת עד לפני הקרקע, טמפרטורת "גוף שחור" ומהירות הרוח). ההבדל במדדים המיקרו-אקלימיים בין הלימן והשטח החשוף בחודש יוני היה קטן לעומת מועדים אחרים, כי בחודש זה השמש נמצאת בזֶנית, ולפיכך צל העצים קטן באופן יחסי, כך שרמה גבוהה יותר של קרינה ישירה חדרה עד לפני הקרקע. כתוצאה מההבדלים במדדים המיקרו-אקלימיים נוצרו הבדלים בין האע"ח והאנ"ת של אדם הנִמצא בשטח מִדברי חשוף לזה הנמצא בתוככי הלימן (איור 2). בימי הקיץ (יוני-ספטמבר), במשך רוב שעות היום אנ"ת יהיה נוחה יותר בצל הלימן, רק בשעות אחרי הצהריים המאוחרות אנ"ת יהיה פחות בתוך החלקה מאשר בשטח החשוף. לעומת זאת בחורף (פברואר), תורגש הרגשה טובה יותר בשטח החשוף במשך רוב שעות היום. כל זאת, כמובן, בהתאם למקדמים התלויים בסוג הלבוש ששימש לשם ביצוע החישובים, שאינם כוללים את האפשרות לשינוי הביגוד בהתאם לצורך.

3. **חלקות יער אורן ירושלים** בתוככי יער משמר העמק.

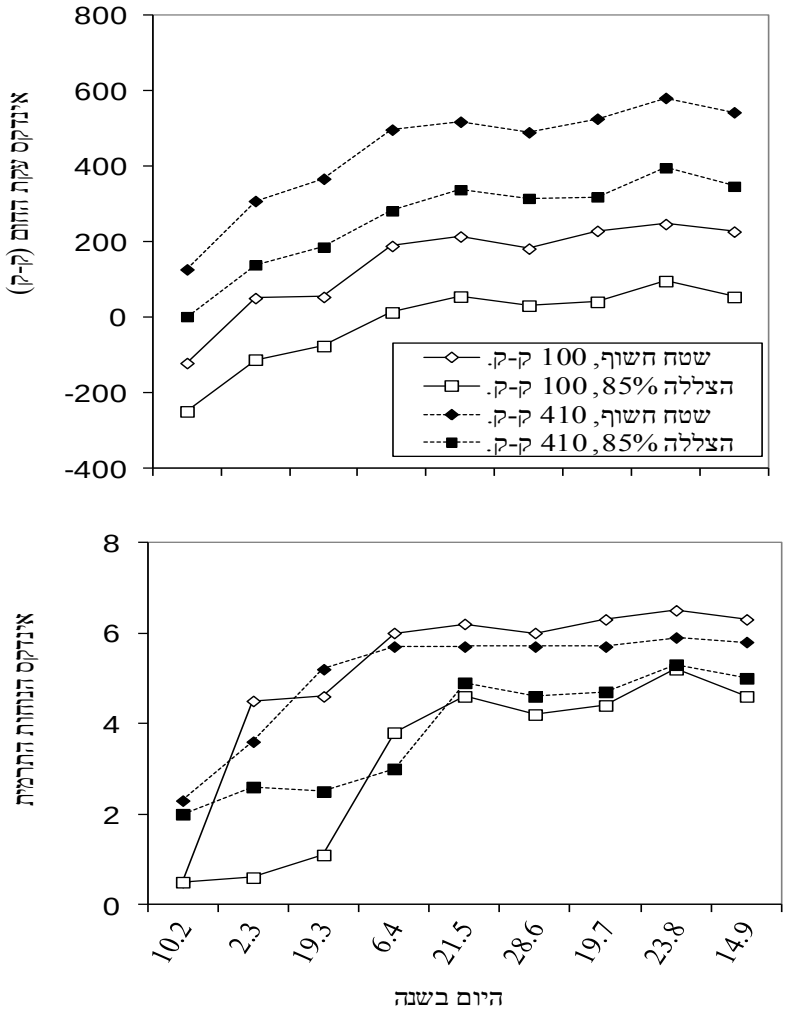
חלקות המחקר שגודלן שני דונם מוקמו בלב היער במדרון הפונה צפונה ששיפועו 3%. צפיפות העצים בחלקות השונות היה 0, 10, 20, ו-40 עץ לדונם, והיא הושגה על ידי דילול מכוון. מכאן שגודל השטח המוצל על ידי הצמרות העצים בחלקות המחקר השונות הוא 0%, 20%, 49%, 85% בהתאמה. נירשמו הבדלים בין חלקות בתנאים המיקרו-אקלימים, בעיקר בטמפרטורת "גוף שחור", דבר שגרם להבדלים ברמת האע"ח והאנ"ת [40]. נימצא כי אע"ח ואנ"ת משתנים במשך שעות היום, בהתאם לעונות השנה, בהתאם למידת ההצללה של השטח על ידי צמרות העצים ובהתאם למהירות הרוח. אנ"ח הנמוך ביותר היה תמיד בחלקת היער עם ההצללה הגבוהה ביותר (איור 9), אנ"ח הגבוהה ביותר היה בחלקה חסרת הכיסוי צמרות.

<u>איור 9</u>: מהלך יומי של אינדקס עקת החום ואינדקס הנוחות התרמית, בתנאי מנוחה - ובפעילות פיזית מתונה - בשני מועדים בשנה, בשטח חשוף ובחלקת יער מוצלת כדי-85% מהשטח.



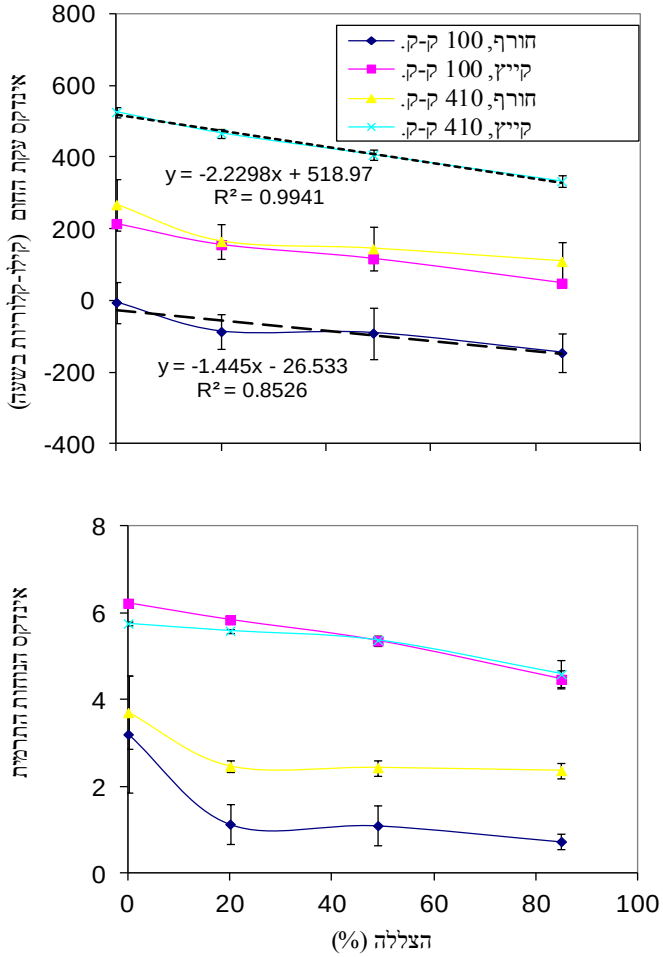
מהאיור ניראה כי בחורף (פברואר), כתוצאה מקליטת קרינה גבוהה יותר (טמ' גוף שחור גבוה יותר), ערך ה-אנ"ת בין השעות 9 עד 14 פחות שלילי בשטח החשוף מאשר בשטח מוצל. לעומת זאת בקיץ, במשך רב שעות היום אנ"ת נוח יותר ישרור בחלקת היער המוצלת ביותר. רמות ביניים של אע"ח ואנ"ת נמדדו בחלקות שכיסויין 20% ו-40%. כל זאת, כמובן, בהתאם למקדמים התלויים בסוג הלבוש ששימש לשם ביצוע החישובים, שאינם כוללים את האפשרות לשינוי הביגוד בהתאם לצורך. חושבו ממוצעים יומיים של אע"ח ואנ"ח עבור כל הימים בהם נעשו המדידות המיקרו-מטאורולוגיות, התוצאות עבור החלקה החשופה וזו המוצלת כדי 85% מהשטח מובאות באיור 10.

<u>איור 10</u> : מהלך שנתי של ממוצעים יומיים של אינדקס עקת החום **(א)**, אינדקס הנוחות התרמית **(ב)** בחלקת יער חשופה ובחלקה מוצלת בתנאי מנוחה ובתנאי פעילות פיזית מתונה.



מאיור 10א' ניראה כי אינדקס עקת החום - או לחילופין עוצמת ההזעה כדי להיפטר מעודף חום בגוף- הנמוכה במשך כל השנה היא בשטח מוצל כדי 85%; בעוד שעוצמת ההזעה בשטח חשוף היא תמיד גבוה יותר. מאיור 10ב' ניראה כי החל מחודש אפריל הרגשת הנוחות התרמית בשטח החשוף תהיה הרגשה של עודף חום, בין אם בתנאי מנוחה (יצור חום מטבולי של 100 ק-ק בשעה) או בפעילות פיזית מתונה (יצור חום מטבולי של 410 ק-ק בשעה). באותה עת בתנאי שטח מוצל הרגשת החום שהיה קרובה יותר למצב נוח (4). בחודשי החורף פברואר מרץ, בתנאי מנוחה ובתנאי פעילות פיזית מתונה, אינדקס הרגשת הנוחות התרמית נמוך מארבע, כלומר הרגשה של מחסור בחום ברמה זו או אחרת. כל זאת, כמובן, בהתאם למקדמים התלויים בסוג הלבוש ששימש לשם ביצוע החישובים, שאינם כוללים את האפשרות לשינוי הביגוד בהתאם לצורך.

<u>איור 11</u>: ממוצע אינדקס עקת החום (**א**), אינדקס הנוחות התרמית (**ב**), בהתאם למידת ההצללה של החלקה ובהתאם לעונות השנה והפעילות של הנופש (קווים מאונכים מראים את גודל סטיית התקן).



<u>איור 11</u> מסכם את אינדקס עקת החום כלומר, עוצמת ההזעה הנדרשת על מנת לשמור על טמפרטורת הגוף ברמה קבועה (11א'), הוא מסכם בהתאמה גם את אינדקס הרגשת הנוחות התרמית בהתאם לעונות השנה, הפעילות הגופנית ורמת ההצללה של השטח (11ב'). <u>איור 11א'</u> מראה שעוצמת ההזעה הנדרשת הנמוכה ביותר (הזעה שלילית), תהיה בתנאים של מנוחה (יצור חום מטבולי של 100 ק-ק בשעה) בכל חלקות היער. עוצמת ההזעה הגבוהה ביותר הנדרשת לשם קירור הגוף תהיה בקיץ בחלקה החשופה (0% הצללה) ובתנאי פעילות פיזית מתונה של 410 ק-ק בשעה . אפשרי לבטא את השפעת ההצללה על ידי צמרות העצים על ההפחתה בעוצמת ההזעה (הפחתה באינדקס עקת החום) בקיץ, בפעילות פיזית מתונה, בעזרת רגרסיה קווית שנוסחתה: $y = -2.2298X + 518.97, R^2 = 0.9941$; בחורף בתנאי מנוחה, בעזרת רגרסיה קווית שנוסחתה $y = -1.445X - (-26.53), R^2 = 0.8526$;

כאשר X מסמל את אחוז ההצללה של השטח על ידי צמרות העצים. שתי הנוסחאות מראות על קשר מובהק בין רמת ההצללה לרמת אינדקס עקת החום בשני התנאים הקיצוניים חורף ותנאי מנוחה, לעומת קיץ ופעילות פיזית מתונה. <u>איור 11ב'</u> מראה כי הנוחות התרמית של הנופש משתפרת בקיץ (פוחתת מ-6 לקצת מעל ל-4) ככל שעולה מידת ההצללה, בחורף הנוחות התרמית שלילית יותר (פחותה מ-4 כלומר, גוברת הרגשת הקור) ככל שגדֵלה ההצללה .

4. חורש של אלון מצוי ואלה ארץ-ישראלית ביער קרן הכרמל.

בלב חורש של אלון מצוי ואלה ארץ-ישראלית ביער קרן הכרמל, ברום של 400 מ', בוצע דילול כדי ליצור חלקות שבהן כיסוי הכותרות שונה. טבלה 16 מתארת את החלקות.

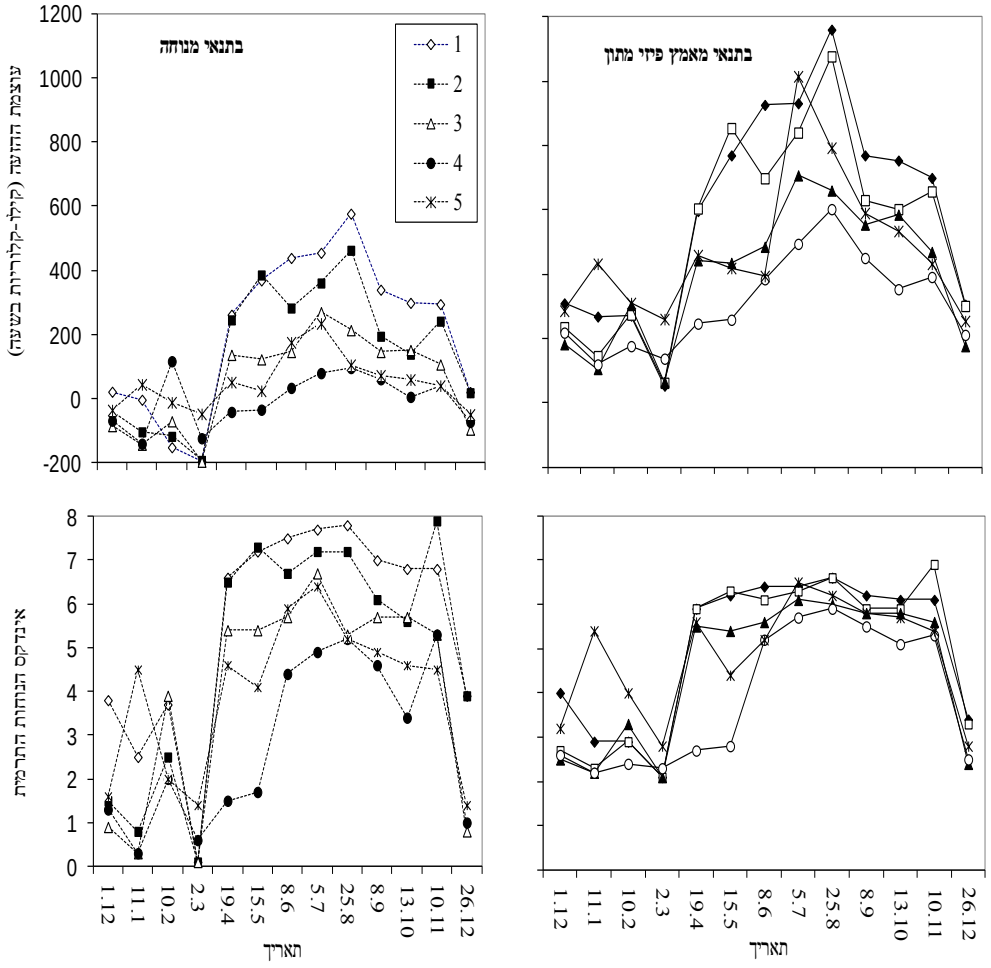
<u>טבלה 16</u> : המפנים, שיפוע המדרון ואחוז ההצללה בחלקה

החלקה	המפנים	שיפוע (%)	הצללה (%)
1	שטח מישורי	0	0
2	מזרחי	30	30
3	מערבי	35	40
4	מזרחי	35	80
5	מערבי	20	100

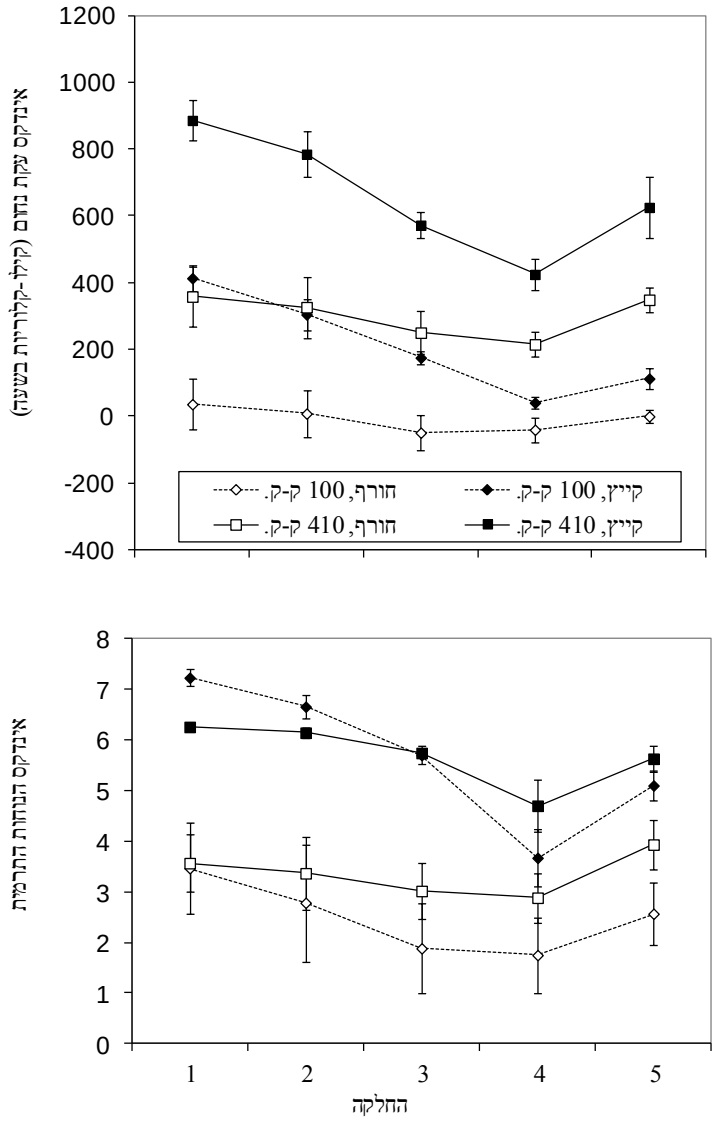
מדידות מיקרו-אקלימיות בוצעו במרכזן של חמשת החלקות שגודלן שני דונם כל אחת, שנבדלות זו מזו בצפיפות העצים (במידת ההצללה). כתוצאה מהבדלים ניכרים בין החלקות במידת ההצללה והבדלים טופוגרפיים (מפנים שונים), נוצרו הבדלים גדולים בממוצעים היומיים של מדדים מיקרו-אקלימיים וכתוצאה מכך להבדלים ברמת אינדקס עקת החום ובאינדקס הנוחות התרמית המחושבים [46].

איור 12 מתאר את מידת ההזעה המחושבת (אינדקס עקת החום) ואת אינדקס הנוחות התרמית המחושבת בתנאי מנוחה ובתנאי פעילות פיזית מתונה. מהאיור ניראה כי במרבית עונות השנה אינדקס הנוחות התרמית הטוב ביותר לנופש, השרוי במנוחה או בפעילות פיזית מתונה, תהיה בדרך כלל בחלקת חורש במפנה המזרחי, שהשלך כותרות העצים בה הוא של 80%. בחורף, כאשר טמפרטורת האוויר נמוכה מ- 15 מעלות צלסיוס, נוחות תרמית מרבית תורגש בחלקה חשופה ו/או בחלקת חורש טבעי במפנה מזרחי עם כיסוי צמרות של רק 30%.

<u>איור 12</u>: מהלך שנתי של אינדקס עקת החום (עוצמת ההזעה) ושל אינדקס הנוחות התרמית, בהתאם לרמת הפעילות הפיזית של אדם נופש בחמשת חלקות (1-5) חורש טבעי בכרמל.



<u>איור 13</u>: ממוצע עונתי (קיץ, חורף) של אינדקס עקת החום (**א**) והנוחות התרמית (**ב**) בהתאם לתנאים המיקרו-אקלימיים בחלקות השונות (קווים מאונכים מראים על גודל סטיית התקן)



מאיור 13א' ניראה כי עוצמת ההזעה לשם קירור הגוף הנמצא במצב מנוחה או בפעילות פיזית מתונה פוחתת ככל שמידת ההצללה עולה הן בעונת הקיץ והן בעונת החורף, להוציא חלקה חמש בה רמת ההצללה היא 100%. צפיפות עלווה שכזו אינה מאפשרת תנועת אוויר לשם אידוי הזעה וקירור הגוף. מאיור 13ב' ניראה כי הרגשת הנוחות התרמית בקיץ במצב מנוחה ואו בפעילות פיזית מתונה משתפרת מאוד ככול שגדלה מידת ההצללה עד 80%. כאשר כותרות הצומח המעוצה סוגרים על השטח ומונעים תנועת אויר (רוח) ומכאן אידוי הזעה, הרגשת הנוחות התרמית נסוגה. בעונת החורף בתנאי פעילות פיזית

מתונה הרגשת הנוחות התרמית תהיה קרובה למיטבית (4), בעוד שבתנאי מנוחה תורגש הרגשת קור מסוימת (בין 2 ל- 3). כל זאת, כמובן, בהתאם למקדמים התלויים בסוג הלבוש ששימש לשם ביצוע החישובים, שאינם כוללים את האפשרות לשינוי הביגוד בהתאם לצורך.

5 יער אורן ירושלים וחורש פתוח בשפלה הפנימית (בית ג׳מאל), **ובכרמל** (יער היערנים).

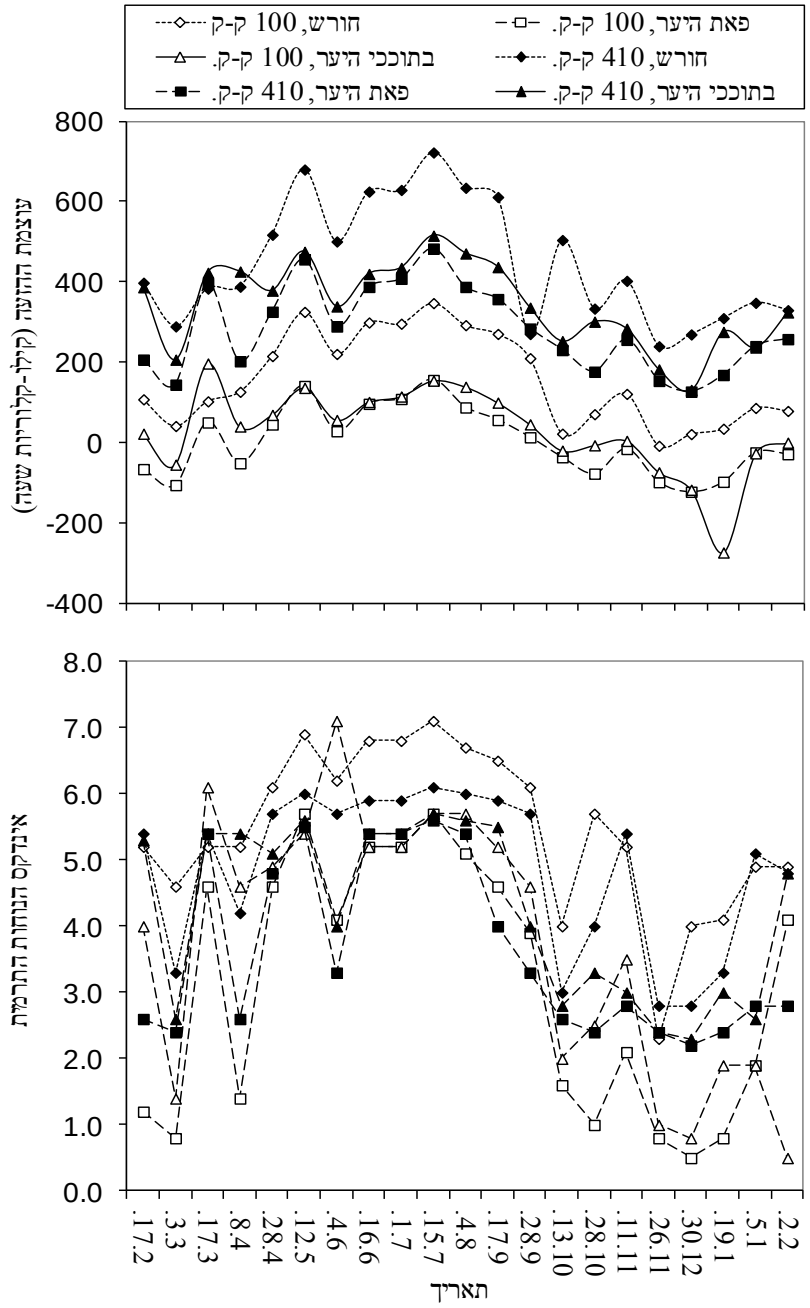
מדידות מיקרו-אקלימיות נעשו בתוככי יער אורן ירושלים ובחורש טבעי פתוח ודליל הממוקמים זה לצד זה במִדרון מתון הפונה לכיוון צפון מערב ליד מנזר בית ג׳מאל. המדידות ביער האורן, המכיל תת-יער מפותח של אלון מצוי ואלה ארץ-ישראלית, בוצעו בשני מקומות שונים: האחד, כ- 120 מ׳ בתוך היער , השני בתחום פאת היער (20 מ׳ מגבול היער). כיסוי השטח על ידי השלך כותרות עצי האורן בתוככי היער היה- 47%; וזה שבתחום פאת היער היה 54%. האתר שלישי נמצא בתוככי חורש דליל של אלון מצוי ואלה ארץ-ישראלית במרחק של 150 מ׳ מהיער. גובה השיחים כ- 3.5 מ׳, כיסוי השטח על ידי השלך כותרות השיחים היה כ- 30% מהשטח.

מדידות נעשו גם בחלקת יער אורן ירושלים ובחלקת חורש של חברת אלון מצוי ואלה ארץ-ישראלית בתחומי יער היערנים שמצפון לעוסאפיה בכרמל. חלקת האורן באתר זה הייתה ללא תת-יער, היא נְטעה בשנת 1948 ברום של 510 מ׳ בראש מדרון הפונה דרומה בשיפוע של 10%. גובה העצים בזמן המחקר היה כ- 10 מ׳ וכיסוי השטח על ידי השלך הכותרות היה מעל ל- 80%. נקודת המדידה בחורש השיחי הייתה ברום של 450 מ׳ במורד אותו מדרון. גובה הצומח בחורש השיחי היה כ- 3.5 מ׳, כיסוי השטח על ידי כותרות השיחים היה כ- 50%.

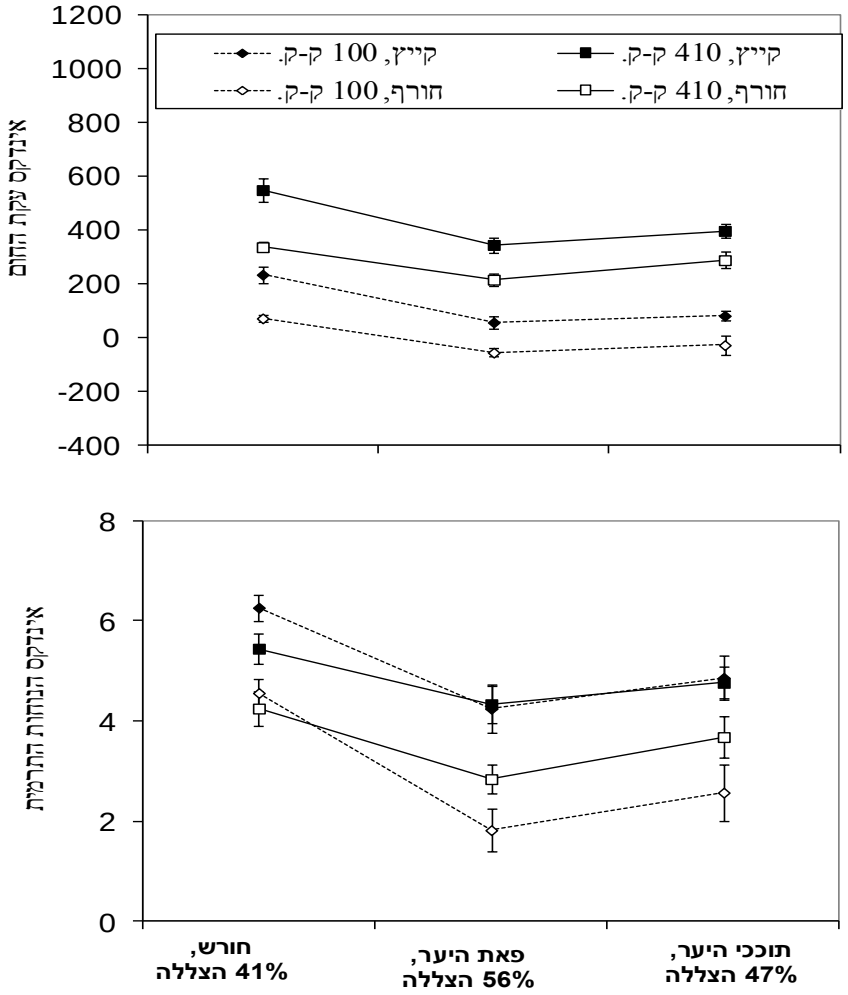
תוצאות המדידות המיקרו-אקלימיות שהתבצעו בבית ג׳מאל [42] הצביעו על הבדלים במדדים המיקרו-אקלימיים בין שלוש נקודות המדידה (חורש - 41% הצללה; פאת היער - 56% הצללה; תוככי היער - 47% הצללה). בממוצע שנתי, טמפרטורת ״גוף שחור״ בפאת היער ובתוך היער הייתה 76.3%±0.9% ו- 79.3%±0.9% מזו שבחורש. עוצמת הרוח הגיעה לכדי 67.5%±2.3% ו-36.2%±1.5% מזו שבחורש בהתאמה. הפרשים אלו הם הסיבה להבדלים שהיו במהלך השעתי במשך היום והעונתי של אינדקס עקת החום ולהבדלים שנוצרו במהלך השנתי של עקת החום היומית הממוצעת (איור 14).

מהאיור עולה כי אינדקס עקת החום (עוצמת ההזעה) בתנאי מנוחה ובתנאי פעילות פיזית מתונה תמיד גבוה בחורש בהשוואה לזו שבפאת היער או בתוככי היער. גם אינדקס הנוחות התרמית גבוה יותר בחורש מאשר ביער

<u>איור 14</u>: מהלך שנתי של אינדקס עקת החום (**א**) ואינדקס הנוחות התרמית (**ב**) בשלוש חלקות שונות ביער בית ג'מאל.



<u>איור 15</u>: ממוצעים עונתיים (קיץ וחורף) של אינדקס עקת החום (**א**), אינדקס הנוחות התרמית (**ב**), בהתאם לרמת הפעילות המטבולית של הנופש ביער בית ג׳ימל.

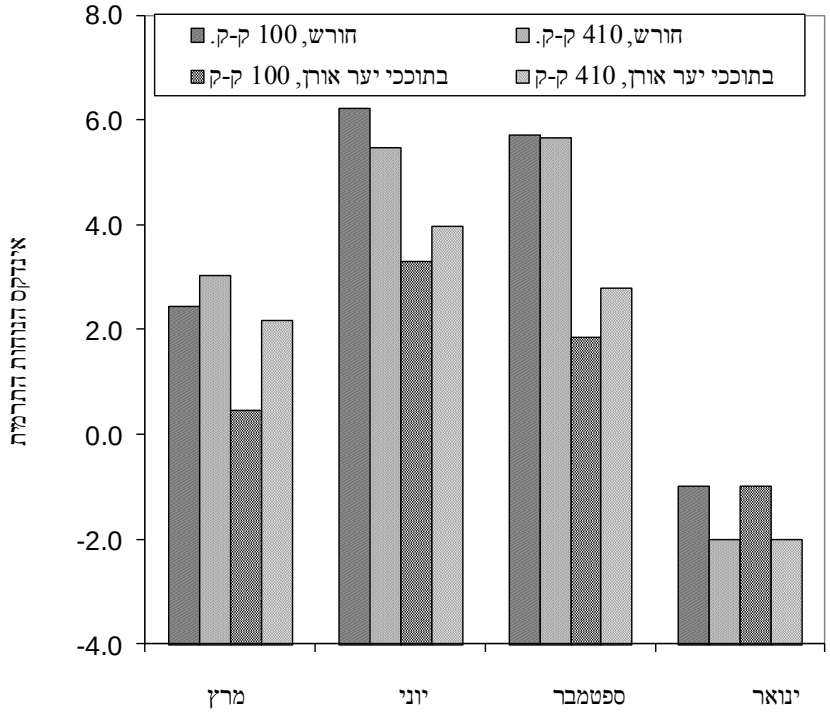


התוצאות מהמדידות המיקרו-אקלימיות ביער אורן ובחורש טבעי בכרמל [39] מראות כי טמפרטורת האוויר וטמפרטורת ״גוף שחור״ יומית ממוצעת היו נמוכים משמעותית ביער האורן בהשוואה לאלו שבחורש. מהירות הרוח היומית הממוצעת בחלקת אורן ירושלים הייתה לעִתים גבוהה ולעִתים נמוכה מזו אשר בחורש.

איור 16 מתאר את אע״ח ואנ״ת של נופש בשתי תצורות היער בכרמל בארבעה מועדים בשנה. מהאיור נראה כי במנוחה ובפעילות פיסית מתונה אע״ח של הנופש בחלקת האורן נמוך מאשר בחורש. בחלקת האורן בחודש מרץ, במצב מנוחה, הנופש יסבול עקת קור במשך כל שעות היום, לעומת זאת הנופש בחורש יהנה מנוחות תרמיתטובה יותר (בין 3 ל-4). אך, באותה עת בתנאי פעילות פיסית מתונה יעדיף הנופש לשהות בצל חופת יער האורנים. ביוני ובספטמבר במנוחה ובפעילות פיסית מתונה יעדיף הנופש את צל יער האורן

מאשר שהייה בחורש. בינואר ביום מעונן חלקית, במנוחה ובתנאי פעילות, יעדיף הנופש לשהות בחורש. ניראה מהאיור כי ההבדלים באי הנוחות התרמית, עקת קור, ובתנאי הלבוש הסטנדרטיים במסגרת החישובים בין יער האורן והחורש הם קטנים.

<u>איור 16</u> : אינדקס הנוחות התרמית בחורש וביער מחטני בכרמל בתנאי מנוחה ו/או פעילות פיזית מתונה.



6 סיכום

אינדקס עקת החום ואינדקס הנוחות התרמית הם מדדים מתמטיים אובייקטיביים שפותחו בעזרת ניסיונות מעבדה שבחנו את התגובה הפיסיולוגית של אנשים לתנאים מיקרואקלימיים שונים ובעוצמות שונות של פעילות גופנית, על מנת שמדדים אלו יאפשרו תכנון יותר טוב של מִבנים. אין מניעה מלהשתמש במדדים הנ״ל ובדומים להם, ובנתונים שהתקבלו ממדידות מיקרו-אקלימיות בחיק הטבע כדי לבדוק את השפעת הנופים השונים על הפיסיולוגיה של האדם הממוצע, ולהשתמש בתוצאות כבסיס לתכנון נופי כללי ולממשק של אותו החלק הקיים כבר עתה בנוף ואמור לשמש לנופש [17].

אין ספור מחקרים נעשו מאז שנות השבעים בתחום המכונה ביו-קלימטולוגיה. המחקרים התמקדו בהשפעות של התנאים המיקרו-אקלימיים בחבלי ארץ שונים, בחוצות היישובים והערים, במבני מגורים, במבני ציבור ותעשייה על מאזן החום והרגשת הנוחות התרמית של האדם. למרות שידוע זה מכבר כי גופי צומח (למשל עץ בודד, יער רם או חורש, פארק, שדרה וגינה) יכולים להשפיע על המיקרו-אקלים בחללם ובקרבתם המיידית [24, 25]. רק מחקרים מועטים בדקו את הקשר בין ממשק היער (מיני עצים, צפיפות) לבין המיקרו-אקלים בחללו של היער ואת השפעתו על המטבוליזם של הנופש ועל איכות הנופש. [לדוגמה 7, 9, 19, 31, 32, 35, 37].

ההשפעה הרבה שיש לצל עצים על המטבוליזם של האדם על ידי מניעת תוספת אנרגיה בצורת קרינה [14, 27], באה לידי ביטוי בהבדלים בעקת החום ובהרגשת הנוחות של נופש השוהה בצל בהשוואה לנופש החשוף לשמש. אפשר לדמות הבדלים אלו להבדלים בטמפרטורה של "גוף שחור" הנמצא בצל או חשוף לקרינת השמש. ההפרש בין מדדים מטאורולוגיים שקובעים את יעילות הקירור של ההזעה (למשל טמפרטורת האוויר, לחות יחסית הנובעת מלחץ האדים ומהירות הרוח) שנמדדו מתחת לחופת העץ ובשטח חשוף לידו, היו קטנים ביותר, וכך גם השפעתם על האדם הנופש; תופעה דומה נמצאה גם במחקר שבדק את השפעת משבר רוח שורתי על הרגשת הנוחות התרמית [8]. ההשפעה שיש לקבוצת עצים קטנה (לימן בנגב, למשל) בהשוואה להשפעה שיש לשטח החשוף שסביבה, על הנופש, היא קטנה יחסית. ככל שמספר העצים עולה חלה ירידה בקרינה ישירה וירידה מסוימת במהירות הרוח. קבוצת העצים יכולה להשפיע על טמפרטורת האוויר ובנוסף לכך, צפויה גם עלייה מסוימת בלחות היחסית כתוצאה מדיות. גורמים אלו יכולים לשנות את עקת החום ואת הרגשת הנוחות התרמית של הנופש (איור 8).

השפעתו של גוף צמחי גדול יותר, שגדל על שטחים נרחבים (למשל, יער רם וחורש), על המיקרו-אקלים השורר בתחומו מורכבת יותר. גופים כאלו משפיעים יותר על טמפרטורת האוויר, לחץ האדים, מהירות הרוח בגבהים שונים מפני הקרקע, קרינה והרכבה, וכן על הטמפרטורה של "גוף שחור" [33]. השפעת ההבדלים שנמצאו בתנאי מיקרו-אקלים בחלקות יער אורן ירושלים סמוכות זו לזו, שדוללו בעוצמה שונה, על מטבוליזם הנופש (איורים 11-9) מצביעה על כך שבעונת הקיץ, כאשר טמפרטורת האוויר גבוהה מ- 15 מעלות צלסיוס, נוחות תרמית מיטבית תורגש בחלקות יער שהצללה בהן היא הגבוהה ביותר. לעומת זאת, בחורף ובאביב תורגש נוחות מיטבית בשטח חשוף.

כפי שלדילול בעוצמות שונות ביער אורן יש השפעה על המיקרו-אקלים ומכאן על הרגשת הנוחות התרמית, כן נמצא גם כי עוצמות שונות של דילול בחורש הטבעי משפיעים על אינדקס עקת החום ועל הרגשת הנוחות התרמית. בחורש הטבעי בחורף, תורגש נוחות מרבית ברוב שעות כאשר כיסוי הצמרות הוא מרבי, זאת בשל הפחתת מהירות הרוח על ידי העצים. בשאר עונות השנה תורגש נוחות מרבית ברוב שעות היום כאשר כיסוי הצמרות הוא כ-80%. כיסוי זה מאפשר מעבר מסוים של רוח הדרוש להגברת אידוי הזעה ובכך יש תורמה ליעילות קירור הגוף. השוואה בין עוצמת ההזעה של נופש ביער אורן ירושלים לזו של נופש בחורש טבעי (כשההצללה דומה) מלמדת שעקת החום בחורש גבוה מזה שביער האורנים, ולכן גם הרגשת הנוחות התרמית תהיה טובה יותר ביער אורן מאשר בחורש. הבדלים אלו נובעים, ככל הנראה, מהגבלת הרוח בחורש הנובעת מהחלל הנמוך יחסית וממספר הגזעים הגדול הדרוש על מנת ליצור בחורש הצללה זהה לזו של יער אורן.

השפעת המיקום של אתר הנופש על אינדקס עקת החום ואינדקס הנוחות התרמית של נופש, באה לידי ביטוי מיוחד בנתוני אע״ח ואנ״ת שחושבו מנתוני המדידות המיקרו-אקלימיות, שנערכו ביער בית ג׳מאל [42]. שני החניונים ביער האורן נבדלים באופן משמעותי רק במהירות הרוח העוברת בהם באתר זה, אולם הם נבדלים באופן מובהק במדדים מיקרו-אקלימיים רבים מחניון החורש הפתוח שבאתר. לפיכך צפוי כי עוצמת ההזעה תהיה גבוהה יותר בחורש הפתוח. בחורף צפויה בפאת היער עוצמת הזעה נמוכה ביותר. בשאר השנה לא צפוי הבדל משמעותי בעוצמת ההזעה בין פאת היער לבין אזורים שבתוך היער, כי השפעת ההבדל במהירות הרוח בין פאת היער לבין לב היער על עקת החום דומה בעוצמתה ומנוגדת בכיוונה להבדלים בעוצמת הקרינה בין פאת היער ללב היער. בחורף, באביב המוקדם ובסתיו, כאשר טמפרטורת האוויר נמוכה מ-15 מעלות צלסיוס, יחוש הנופש הרגשת נוחות תרמית מיטבית בחורש הפתוח. באביב המאוחר ובקיץ הוא ירגיש, בדרך כלל, הרגשה מיטבית בפאת היער, בצל חופת היער.

התוצאות של חישובי אינדקס עקת החום ואינדקס הרגשת הנוחות התרמית, שמבוססים על המדדים המיקרו-אקלימיים שנמדדו ביער היערנים בכרמל [39], גם הן מצביעות על חשיבות מיקום אזור הנופש. ביער זה נמצאת חלקת עצי האורן בפְּסגה, בעוד שחלקת החורש היא במורד. הנופש ביער זה בימים מעוננים יחוש באי נוחות ובקור בין אם יימצא ביער האורן ובין אם בחורש. לעומת זאת, באביב, ביום מעונן חלקית, יחוש הנופש נוחות תרמית טובה יותר בחורש, ואילו בקיץ תורגש ברוב שעות היום נוחות תרמית מרבית

ביער האורן. בסוף הקיץ (ספטמבר) תהיה הרגשת אי-הנוחות דומה ברמתה לזו שבקיץ, אך שונה בכיוונה בשני המקומות: ביער האורן קר ובחורש חם יותר.

<u>חשיבות המפנה</u> שחניון הנופש ממוקם בו הודגמה במחקר שנעשה ביער אורן ירושלים שנטוע בוואדי קוף [23]. נימצא כי באביב הרגשת הנוחות של הנופש במנוחה ו/או בפעילות, במשך רב שעות האור, תהיה מיטבית בחניון יער הממוקם במפנה דרומי. לעומת זאת, בקיץ תהיה הרגשתו מיטבית בחניון יער הממוקם במפנה צפוני.

מנקודת הראות של הפיסיולוגיה האנושית התוצאות שהובאו במסגרת פרק זה מצביעות בבירור על כך שלשם מתן אפשרות לנופש איכותי בכל ימות השנה, , מן הראוי שייכללו מראש באתר המיועד לנופש חלקות יער רם לנופש קיצי, ובקרבתן המיידית חלקות חורש מדולל כדי כיסוי של 80% לנופש חורפי. רצוי גם כי החלקות המוצללות היטב ימוקמו בפסגות כדי לאפשר אוורור טוב. כל זאת לגבי תכנון אזורי נופש ביער העתידי. לגבי הממשק של חלקות יער קיימות כדי להתאימן למתן שירותי נופש, מצביעות תוצאות המחקר על חוסר מתאם בין הממשק הנדרש לבין הממשק הממשי. אין לדלל חלקות יער קיימות מבוגרות בצורה אגרסיבית כי העצים אשר גדלו עד עתה בצפיפות לא יוכלו, בעקבות הדילול החריף, להתפתח באופן שיאפשר כיסוי כותרות גבוה בחלקה. כלומר, יש להתחשב ביכולת התגובה הפיסיולוגית של העץ הגדל בשטח להגיב בהתאם לגיל בהתפרצות צימוח לשם הגדלת הכיסוי שצומצם כתוצאה מהדילול. מכאן, שהחלטות בדבר שימוש בשטח יער נטוע קיים כחניון נופש חייבות להתקבל כל עוד היער צעיר כדי שהממשק יהיה מכוון בהתאם לאפשרות העצים להגיב בצימוח הנדרש. תוכנית המתאר הארצית ליער ולייעור, שאושרה, מאפשרת לתכנן בביטחון יתר את שימושי היער לטווח הארוך. על כן, מן מהראוי שהמתכננים של נטיעות חדשות או של שיקום נופים שנשרפו, דוגמת שער הגיא וסביבתו הקרובה, ייקחו לתשומת לִבם את המשמעויות הנובעות מתוצאות המחקרים שהוצגו, כאשר הם שוקלים את המיקום והאופי שיש בדעתם לתת למצפורי נוף וחניונים. באותה המידה ראוי שהאחראים על ממשק היער הקיים יתאמו את ממשק חלקות יער כדי שישמו לנופש.

ספרות, מקור הציטוט

1. כהן פ., פוצ'טר ע., ביתן א., 2007. ביוקלימטולוגיה של פארקים עירוניים בתל-אביב. *יער, כתב עת ליער חורש וסביבה* **9**: עמ' 46-40

2. לוי ש., 2003. השפעת דריכת מטיילים על הקרקע והצמחייה בחניוני אורנים בכרמל. עבודת גמר לתואר מוסמך, אוניברסיטת חיפה.

3. כהן פ., פוצ'טר ע., ביתן א., 2007. ביוקלימטולוגיה של פארקים עירוניים בתל-אביב. *יער, כתב עת ליער חורש וסביבה* **9**, עמ' 46-40,

4. שילר ג., 1998. שימוש במדדים פיזיולוגיים בתכנון ובממשק יער וחורש למטרות נופש. *אקולוגיה וסביבה* **5**: עמ' 44-34.

5. שילר ג., שאודיניצ'קי ל. ה., קלר י., 2000. רעש וצומח. *אקולוגיה וסביבה* **6**: עמ' 57-53.

6. שעשוע-בר ל., הופמן מ., 2002. תרומת הייעור האורבני לשיפור אקלים העיר. יער, *כתב עת ליער חורש וסביבה* **2**: עמ' 62-52.

7. Bondarchuk G.V., 1987. Influence of stand structure on the recreational evaluation of the microclimate. *Lesovodstvo-i-Agrolesomelioratsiya* **75**, 28-31.

8. Brown R. D., and Cherkezoff L E., 1989. Of what comfort value, A tree? *J. Arboriculture* **15** (7), 158-161.

9. Brown R D., and Stlotz R.R., 1982. Application of human thermal comfort to landscape architecture: a new approach. McLaughlin Library, University of Guelph, Ontario, Canada.

10. Cohen P., Potchter O., 2010. Daily and seasonal air quality characteristics of urban parks in the Mediterranean city Tel Aviv. CLIMAQS workshop, Antwerp, Belgium.

11. Cole D. N., 1995. Recreational trampling experiments: Effects of trampler weight and shoe type. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Research note INT-RN-425.

12. Deb Ch, Ramachandraiah A., 2010. The significance of Physiological equivalent temperature (PET) in outdoor thermal comfort studies. *Int. J. Enginireeng and Technology* **2**(7), 2825-2828.

13. Donnelly J. R. and Shane J.B., 1986. Forest ecosystem responses to artificially induced soil compaction. I. Soil physical properties and tree diameter growth. *Can. For. Res*. **16**, 750-754.

14. Douglas H.K. Lee, 1968. Human adaptation to Arid Environments. In: Desert Biology, Vol. 1. Academic press, New York.

15. Fagence M. And Kevan S., 1997. Migration, Recreation and Tourism: Human Responses to Climate Differences. Advance in Bioclimatology, Springer, Berlin.

16. Falinski J. B., 1975. Die reaction der Waldbodenvegetation auf Trittwirkung in lichte experimenteller Forschungen. *Phytocoenologia* **2** (2/4), 451-465.

17. Fanger P O., 1972. Thermal Comfort. McGraw-Hill, New York.

18. Gary O R., 1972. Plants, People and Environmental quality. U.S. department of Interior, National Park Services, Washington D.C.

19. Gietl G. and Mayer H., 1976. [The influence of a spruce forest on comfort indices]. *Forstw. Cbl***. 95**, 125-142.

20. Givoni B., 1969. Man, Climat and Architecture. Elsevir Publishing Co., Amsterdam.

21. Givoni B., 1971. Predicting Thermal Senseation on the basis of Predicted Sweat Rats. Res. Rep. Inst. Bimd. Engng. Sci., Technion, Haifa, Israel TSI-71-03.

22. Karschon R. and Schiller G., 1976. Forest trees as ameliorators of heat stress of man in a Mediterranean environment. *In*: Trees and Forests for Human settlements. Proceedings of the P 1.05-00 IUFRO group Symposia at the IUFRO World Congress, Oslo.

23. Karschon R., Schiller G. and Weinstein A., 1979. Some effects of slope aspect in a Mediterranean environment. *In*: University of München, Meteorologisches Institut, *Wissenschaftilche Mitteilungen* **35**, 121-125.

24. Kittredge J., 1948. Forest influences. McGraw-Hill, Inc. New York.

25. Kittredge J., 1969. Influences of the forest on the weather and other environmental factors. *In*: Forest influences. FAO For. and For.Stud.15, 81-137.

26. Kutial P.and Zhevelev Y., 2001. Recreational use impact on soil and vegetation at picnic sites in Aleppo pine forests on Mount Carmel, Israel. *Israel J. Plant Sci*. **49**, 49-56.

27. Ladell W.S.S., 1957. The influence of environment in arid regions on the biology of man. *In*: Human and Animal Ecology: Reviews of research. UNESCO, Arid Zone Res.8, 43-99.

28. Liddle M.J., 1975. A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. *Biol. Conserv***. 7**, 17-34.

29. Mackintosh E.E., 1979. Impact of recreation on vegetation and soils in rushing river provincial park, Ontario. Department of land resource science, University of Guelph, Report O-X- 290.

30. Matzarakis A., Mayer H., Iziomom M., 1999. Application of universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol***. 43**, 76-84.

31. Mayer H., 1977. [Bioclimatic numbers for the forest atmosphere with regard to recitation function]. *Forstw. Cbl***. 96**, 212-220.

32. Mayer H. and Höppe P., 1984. [The importance of forests for recreation from the point of view of human bioclimatology. *Forstw. Cbl*. **103**, 131-149.

33. Mitscherlich G., 1971. Wald, wachstum und Umwelt. *In*: Waldklima und Wasserehaushalt. Sauerlander's Verlag, Frankfurt A.M.

34. Okeil A., 2000. Microclimatic effects of a large urban forest on the surrounding thermal environment in cities of hot arid zone. Memo, Dept. of Architecture, United Arab Emirates University Al Ein.

35. Plumley H.J., 1977. Design of outdoor urban spaces for thermal comfort. *In*: Heisler G.M., and Herrington L.P. (Eds), Proceedings of the conference on metropolitan physical environment. Gen. Tech. Rep. Northeastern For. Exp. Stan. USDA Forest SErv. No NE-25: 152-162.

36. Potchter O., Cohen P. and Bitan A., 2006. Climatic behaviour of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *Int. J. Climatol*. **26**, 1695-1711.

37. Rey-Lescure E., 1978. Evaluating the recreation potential of urban forests. Report d'Information, Centre de Recherches Forestieres des lauretides, No LAu-x-32E.

38. Ripley T.H., 1962. Recreation impact on Southern Appalachian campgrounds and picnic sites. USDA Forest Service, Southeastern For. Exp. Sta. Asheville, North Carolina, Station paper 153.

39. Schiller G., 1974. The relation of mucrklimate to thermal stress of man in two forest types on Mt. Carmel. *La-Ya'aran* **24**, 1-6. (Hebrew).

40. Schiller G., 1976. Einfluss der Durchforstung auf den Erholungswert des waldes. *In*: Festschrift A. Kurt, *Beiheft. Zeitschrift Schw. Forstver*., 95-101.

41. Schiller G., 2001. Biometeorology and recreation in East Mediterranean forests. *Landscepe and Urban plann***. 57**, 1-12.

42. Schiller G. and Karchon R., 1973. Microclimate and themal stress of man in an Aleppo pine plantation and an oak scrub. *Israel J. agric. Res*. **23**, 79-90.

43. Schiller G. and Karschon R., 1974. Microclimate and recreational value of tree planting in deserts. *Landscape Plann*. **1**, 329-337.

44. Shashua-Bar l., Potchter O., Bitan A., Boltansky D., Yaakov Y., 2010. Microclimate modeling of street tree effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *Int. J. Climatology* **30**, 44-57.

45. Waggoner P.E., 1963. Plants, Shade and Shelter. *Bull. Conn. Agric. Exp. Stn*., **656**.

46. Weinstein A. and Schiller G., 1982. Microclimate and recreational value and management for recreation of an oak scrub. *For. Ecol. Manage*. **4**, 333-340.

5.4.2 השקטת רעש בעזרת צמחיה

(מבוא, השקטת רעש על ידי חלקות יער, השקטת רעש על ידי עצים בודדים)

א. מבוא

המהפכה התעשייתית יצרה גם טכנולוגיות הגורמות להתפשטות אנרגיה בצורת גלי קול בתדירויות ובעוצמות שבדרך כלל אינן נעימות לאדם ועשויות לפגוע גם בבריאתו (מוזס, 1977). התפשטות מפגע הרעש, בעיקר זה הנוצר על ידי תחבורה ותעשייה, אך גם על ידי התקהלות המונים, יצרה דרישה למצוא שיטות, דרכים ואמצעים (חומרים) להפחית מעוצמת הרעש. נעשו אין ספור מחקרים שסוכמו במאמרים מדעיים והיוו בסיס לחוקים ותקנות. אחד מהאמצעים הזמינים והיותר זולים להפחית מעוצמת הרעש (השקטה) הוא שימוש בצמחייה בדרך מושכלת [4, 5, 6, 7, 11]. מובן כי רצוי שהצמחים יהיו בעלי תכונות התורמות במידה מרבית להשקטת הרעש, כגון : שטח העלה וצורתו, משקלו הטרי, היחס בין משקל העלה לשטחו. ככל שהיחס הזה גבוה יותר, כן גדלה מידת ההשקטה. ישנה חשיבות מרובה לשילוב מינים מפני שתכונות העלווה של כל מין בהשקטה מרבית מתבטאות בתחום תדרים מסוים. ישנה גם חשיבות לאופן הנטיעה של "משקיטי הרעש". רצוי לטעת בצורת משולשים כדי שלא לשאיר חללים פתוחים במרחב, דרכם יעברו גלי הקול ללא מחסום [8, 9, 10, 14]. על הצמחים להיות גם עמידים לזיהום אוויר וחומרים כימיים שונים הנפלטים מהתעשייה ומכלי התחבורה [12].

ב. השקטת רעש על ידי חלקות יער

היער בארץ ניטע על מנת לשמש גם כמקום מרגוע ונופש, לכן מתבקש לדעת מהי מידת ההשקטה של יערות ממינים שונים. לשם כך נבחרו חלקות יער בכרמל, באזור מודיעין ובשטחי המחלקה לחקר היער ב"אילנות", בהם גדלים מיני עצים שונים ובצפיפויות שונות (טבלה 2). כמקור רעש נקודתי שימש צינור הפליטה של מנוע בנזין שהפעיל גנראטור נייד. המנוע פעל כל זמן המדידה. מקור הקול הוצב בשטח פתוח, במרחק של 3 מ' מקו הטל צמרות העצים, ובגובה 1 מ' מעל הקרקע. המדידות בוצעו במרחקים של 5, 10, 15, 25 מ' אל תוך היער לאורך קו שמקביל לגבול היער. לשם השוואה בוצעו מדידות זהות בשטח חסר עצים אשר נמצא בשכנות ליער ודומה בתכונותיו הטופוגרפיות והפיסיות. המדידות בוצעו בעזרת מיקרופון שהוצב בגובה 1 מ' מעל הקרקע, ואותותיו החשמליים נרשמו על סרט

מגנטי. ההפרש בין שתי המדידות של עוצמות הרעש המבוטאות בדציבל (dB), זו שנמדדה בשטח חסר העצים וזו שנמדדה בתוככי חלקת היער, במרחקים זהים ממקור הרעש, מהווים את מידת ההשקטה של חלקת היער.

<u>טבלה 1</u>: התכונות של חלקות יער בהן נעשו המדידות ומידת ההשקטה הממוצעת מחושבת עבור 1 מ' עובי פס יער מהמין והצפיפות המסוימת.

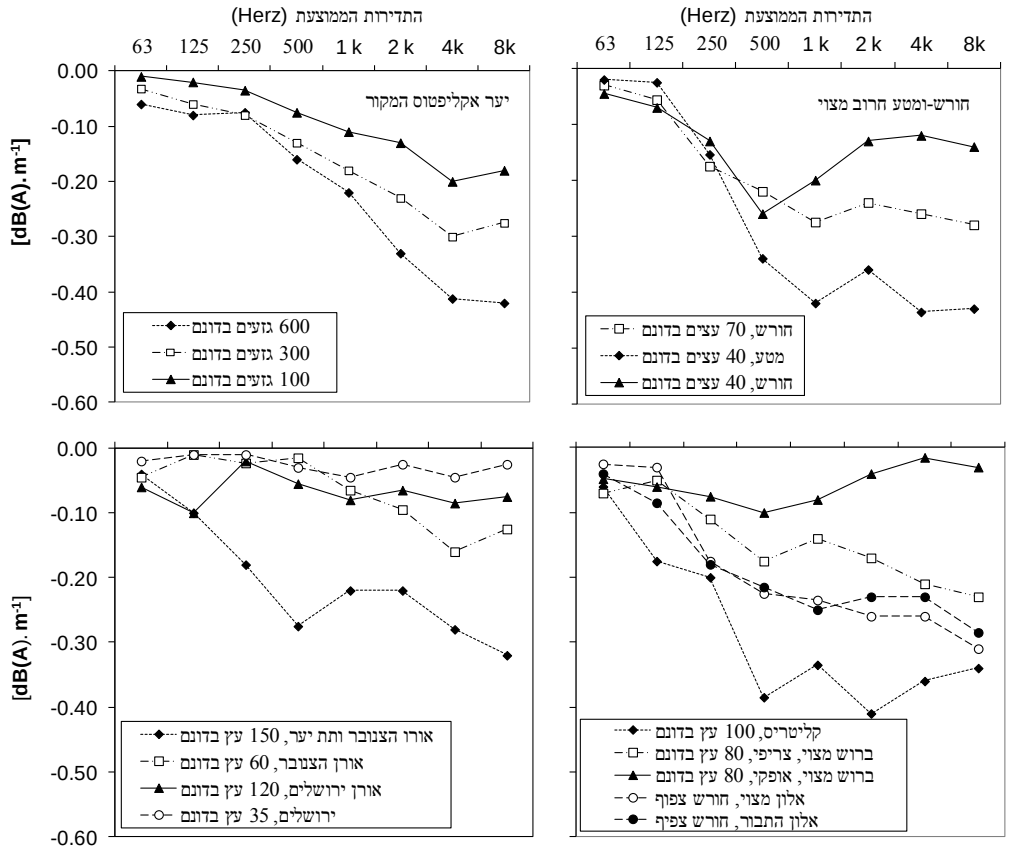
מין העץ ביער	מס' עצים בדונם	גובה ממוצע ('מ)	קוטר ממוצע בגובה 1.3 מ' מהקרקע (ס"מ	הטל צמרות מכלל השטח (%)	גובה התחלת הנוף הירוק ('מ)	השקטה ממוצעת בעוצמת הרעש dB(A) m^{-1}]
אקליפטוס המקור	600	2.5	1.0	80	0.20	0.28
אקליפטוס המקור	300	0.6	5.0	80	0.50	0.18
אקליפטוס המקור	100	14.0	15.0	50	2.00	0.11
חרוב מצוי (מטע בשורות)	40	5.0	20.0	40	1.00	0.32
חרוב מצוי (חורש)	70	3.5	10.0	80	0.20	0.22
חרוב מצוי (חורש)	40	3.5	10.0	40	1.50	0.14
אלון מצוי (חורש)	400	3.0	8.0	90	0.20	0.25
אלון התבור (חורש)	250	4.0	8.0	80	0.20	0.24
קליטריס וורוקוזה	100	8.0	15.0	70	1.00	0.30
ברוש מצוי (צריפי)	80	14.0	18.0	40	0.50	0.16
ברוש מצוי (אופקי)	80	14.0	18.0	60	0.50	0.06
אורן הצנובר +תת יער	150	12.0	15.0	80	0.20	0.24
אורן הצנובר	60	12.0	20.0	70	2.50	0.08
אורן ירושלים צעיר	120	12.0	13.0	80	2.00	0.06
אורן ירושלים מבוגר	35	18.0	31.0	50	10.00	0.02

מטבלה 1 ניראה כי רמת ההשקטה הממוצעת של פס מיוער ברוחב של 1 מ' נעה בין 0.02 ו- 0.32 dB(A) בהתאם למין ולצפיפות העצים (=המיסוך על ידי העלווה, הענפים והגזע).

איור אחד מתאר את ההפרש הממוצע בהשקטה של מפלס הקול של 1 מ' רוחב פס יער מהמינים והצפיפויות הנתונים בטבלה 1. מהאיור נראה כי באופן כללי חלקות היער השונות כמעט שאינן משקיטות את עוצמת הרעש בתדירויות נמוכות שבין 63 ו- 500 הרץ (Herz). מידת ההשקטה עולה ככל שעולה התדירות וככל שגדלה צפיפות העלווה ליחידת שטח בחלקות יער של מינים רחבי עלים. חלקות יער שנטועות במינים מחטניים (אורן ירושלים, אורן הצנובר ללא תת-יער, ברוש מצוי-אופקי) מפחיתות אך במעט (בין 0 ל- 0.10 דציבל A) מעוצמת הרעש. מבין החלקות ששימשו במחקר בולטת החלקה של איקליפטוס המקור (600 גזעים בדונם) חרוב מצוי (מטע), קליטריס, אלון מצוי ואלון התבור במידת ההשקטה הממוצעת למרחק של 1 מ' עומק היער. ככל שעולה צפיפות העלווה בחלקה כן גדלה ההשקטה. חשיבות תת-היער בהשקטה מתבלטת בחלקת אורן הצנובר הצעיר והצפוף

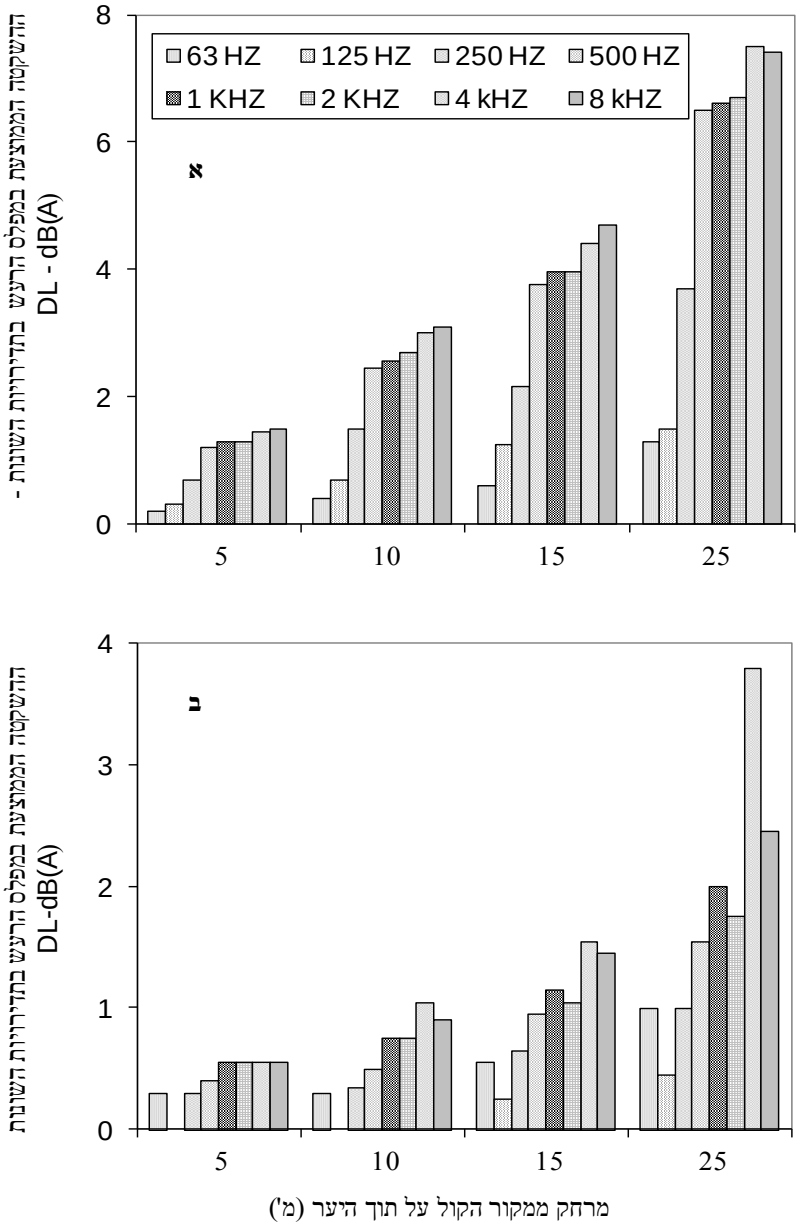
לעומת חלקות של עצים מחטניים אחרים, וללא תת-יער (ברוש מצוי-אופקי, אורן ירושלים צעיר ומבוגר).

<u>איור 1</u>: השקטה ממוצעת בהתאם לתדירות הממוצעת, בחלקות יער שונות, מחושב למטר אחד עומק חלקה.



חושבה מידת ההשקטה הממוצעת בתדירויות השונות, בהתאם למרחק מגבול היער אל מקום המדידה בתוכו, הנתונים מוצגים באיור 2. מהאיור ניראה כי ביערות בהם ממוצע ההשקטה גבוה מ- ואו נמוך מ- 0.20 $dB(A)\ m^{-1}$, רמת ההשקטה בכל תדירות ותדירות עולה, אך במידה שונה, ככל שגדל המרחק מגבול היער אל נקודת המדידה בתוכו

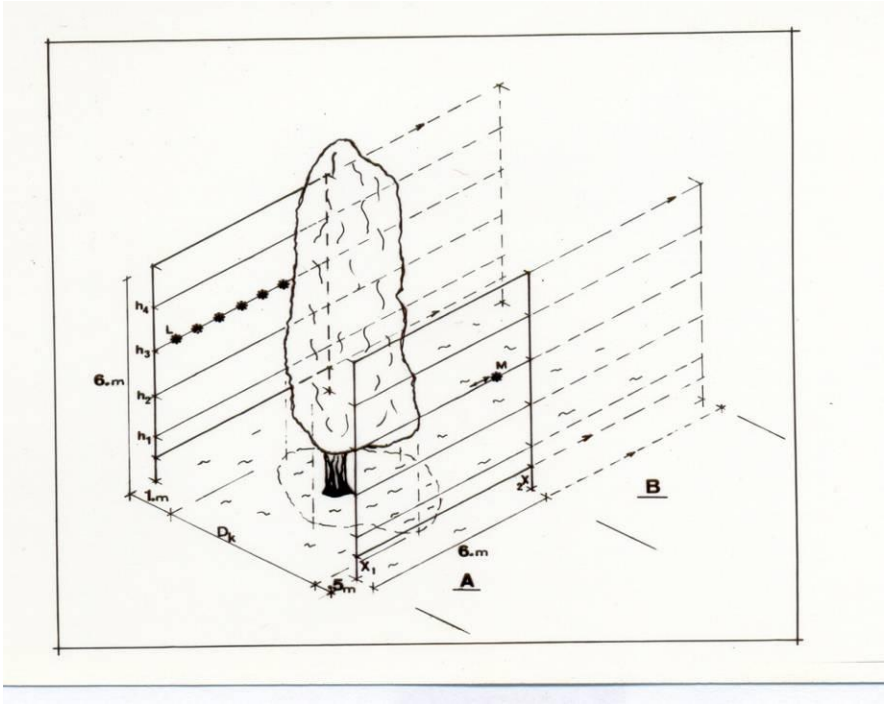
<u>איור 2</u>: מידת ההשקטה הממוצעת ב- במפלס הרעש ב-dB(A) בתדירויות השונות - בהשוואה למרחק בתוככי היער ממקור הקול . **א**. ביערות שממוצע ההשקטה גבוה מ- 0.20 $dB(A)\ m^{-1}$. **ב**. ביערות שממוצע ההשקטה נמוך מ- 0.20 $dB(A)\ m^{-1}$.



ג. השקטת רעש על ידי עץ בודד

כדי למדוד השקטת הרעש על ידי עצים ושיחים בודדים, אשר נטעים בגינות ופארקים (טבלה 2), הוקמה מערכת שמורכבת משתי מסגרות מתכת בגודל של 6 מ׳ גובה ו- 6 מ׳ אורך. מסגרת אחת נשאה מערכת שידור והשנייה מערכת קליטה. המערכת המשדרת הייתה מורכבת משורת רמקולים מורכבים על מוט אופקי הניתן להרמה במסגרת הנושאת. הרמקולים היו מחוברים למגבר שהספקו 100 וואט שהיה מחובר לגנראטור ל ״רעש לבן״. מערכת הקליטה הכילה מיקרופון מחוזק לעגלה קטנה שנעה בעזרת מנוע קטן ושקט על מסילה מחוזקת למוט אופקי הניתן להרמה (איור 3). מיקרופון זה היה מחובר למד-מפלסי קול שחובר למסנן פס טרצה (שליש אוקטאבה), שהיה מחובר לרשם קול מגנטי.

<u>איור 3</u>: אופן מדידת רמת ההשקטה על ידי עץ בודד.



המסגרת נושאת את המיקרופון הועמדה במרחק של 0.5 מ׳ מנוף העץ. המסגרת נושאת מערכת הרמקולים הועמדה במקביל למערכת נושאת המיקרופון ובמרחק של 2 מ׳ מנוף העץ (איור 3 מצב A). הבדיקה של השקטת מפלס הקול התבצעה בארבעה גבהים מעל פני הקרקע על ידי העלאה או הורדה של המוטות נושאי הרמקולים והמיקרופון במקביל. כל מדידה (הקלטה) חזרה על עצמה שלוש פעמים. לאחר גמר המדידות בצמח מסוים הוסטו

שתי המסגרות והועמדו שוב במדויק במקביל, ובאותו מרחק ביניהם, כפי שעמדו כאשר היה צמח בתווך שביניהם (איור 3 מצב B). מידת ההשקטה כתוצאה מנוכחות צמח בתווך שבין שתי המסגרות חושבה כהפרש שבין תוצאות שתי המדידות אשר נעשו בחלל אחיד בגודלו, כאשר בראשונה החלל הכיל צמח ובשנייה החלל היה בלי צמח.

<u>טבלה 2</u>: מיני העצים, קוטר צמרתם ומידת השקטת הרעש על ידי 1 מ׳ עומק הכותרת.הצמח

מין העץ	קוטר הצמרת (מ׳)	השקטה [dB(A)]	השקטה מחושבת ל- 1 מ׳ עומק כותרת $[dB(A).\ m^{-1}]$
פיקוס השדרות	9.0	6.2	0.69
שיטה כחלחלה	9.0	4.9	0.54
אקליפטוס המקור	7.0	4.0	0.57
חרוב מצוי	7.0	5.0	0.71
אלון מצוי	7.0	3.7	0.52
אלון התבור	5.5	2.2	0.40
קליטריס וורוקוזה	7.0	4.4	0.63
תויה מזרחית	5.0	3.7	0.74
ברוש מצוי, צריפי	4.0	3.1	0.77
ברוש מצוי, אופקי	6.0		
אורן הצנובר	7.0	3.5	0.50
אורן ירושלים	7.0	2.7	0.38

טבלה 2 מראה כי מבין מיני העצים שניבדקו, פיקוס השדרות, חרוב מצוי וברוש מצוי (זן צריפי) משקיטים את עוצמת הרעש בצורה טובה מהמינים האחרים. הצמחים השיחיים טויה מזרחית וקליטריס מטיבים בהפחתת מפלס הרעש. מכאן, שראוי לטעת באופן יחידני מינים אלו ודומים להם.

ספרות, מקור הציטוט

1. מוזס ג., 1977. הרעש כבעיה אקולוגית. מתוך ויזל י. ופישלזון ל. (עורכים), אקולוגיה אדם וסביבתו. אוניברסיטת תל-אביב.

2. שילר ג., שאודינשקי ל.ה., קלר י., 1978. על תכונות אקוסטיות של עצי יער ונוי. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **28**, עמ' 39-33.

3. שילר ג., שאודינשקי ל.ה., קלר י., 1978. על תכונות אקוסטיות של חלקות יער. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **29**, עמ' 55-51

4. Beck G., 1967. Pflanzen als Mittel zur Lärmbekämpfung. In: Mitscherlich G.(ed), Wald Wachstum und umwelt. Sauerlander, Frankfurt a. M.

5. Cook I. D. and Van Haverbeke F. D., 1971. Trees and shrubs for noise abatement. *U.S.D.A. Forest Service Research Bull***. 243**.

6. Cook I. D. and Van Haverbeke F. D., 1974. Tree-covered land forms for noise control. *U.S.D.A. Forest Service Research Bull***. 263**.

7. Cook I. D. and Van Haverbeke F. D., 1977. Suburban noise control with plant materials and soil barriers. *U.S.D.A.Bull EM* **100**.

8. Fan Y., Zhiyi B., Zhujun Z., Jiani L., 2010. The investigation of Noise attenuation by plants and corresponding noise-reduction spectrum. *J. of Environmental Health* **72** (8), 8-15.

9. Fang C-F. And Ling D-L., 2003. Investigation of the noise reduction provided by tree- belts. *Landscape and Urban planning* **63**, 187-195.

10. Martens M.J.M., Severens P/P/J., Van Wissen H.A.W.M., and Van Der Heiden L.A.M., 1983. Acoustic reflection characteristics of deciduous plant leaves. Environ. *Experim. Botany* **25**, 285-292.

11. Mitscherlich G. and Schölzke D., 1977. Schalldammung durch Wald. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* **148**, 125-143

12. Pathak V., Tripathi B.D., Mishra V. K., 2008. Dynamics of traffic noise in a tropical city Varanasi and its abatement through vegetation. *Environ. Monit. Assess* **146**, 67-75.

13. Schaudinischky L.H., Schiller G., Keller Y., 1982. Über die Schallschutzwirkung von Einzelbäumen und waldstreifen. *Forstarchiv*. **53**, 52-57.

14. Tyagi V., Kumar K., Jain V. K., 2006. A study of the spectral characteristics of traffic noise attenuation by vegetation belts in Delhi. *Applied Acoustics* **67**, 926-935.

6.0 דברי הימים :

6.1. היסטוריה אישית עם הקשרים לעבודתי

כבר במסגרת הצבא הייתי בעל כורחי שותף במחקר יערני-אנטומולוגי, וכך היה הדבר: אחרי חודש וחצי של טירונות, באוקטובר 1958, התקיים כנס הנח"ל ביער חולדה. אחרי יומיים של שהייה ביער החיילים התחילו להתגרד מאוד, התנפחו והאדימו. הכנס נקטע במחציתו וכל החיילים הוצאו מהיער. חיל הרפואה בחר בארבעה חיילים, שנשארו ביער למשך שבוע נוסף כדי שימשיכו להתגרד, אני נכללתי בין הארבעה. לאחר שבוע נלקחנו לבית החולים הצבאי בתל-השומר ונבדקנו על ידי צוות רופאים. לכל אחד מאיתנו הוציאו פיסת עור דלוקה בעזרת סכין קטנה מורכבת על מקדחה דומה לזו של רופא שיניים; עד היום יש לי סימן בזרוע. כמובן שחיל הרפואה צילם את מצבנו מכל זווית אפשרית. התברר שהגירוד נגרם מחומר הנמצא בשערות הזחל של רפרף בשם תוואי התהלוכה (תהלוכן האורן) הניזון ממחטים של אורנים, דבר שגורם נזקים רבים מאוד לעצים ביערות. מאז אירוע זה בצה"ל קיימת הוראה שאסור לחנות ביערות האורנים כי קיימת אפשרות של פגיעה קשה בעיניים על ידי הרעלנים שבשערות זחל הרפרף הזה. שנים מאוחר יותר, כאשר למדתי בבית הספר לגננות ושתלנות בפתח תקווה, שמעתי הרצאה על מזיקי עצים, וכאשר דובר על תהלוכן האורן המרצה הראה צילום של ארבעה חיילים אדומים ומסכנים. כמובן שקפצתי על רגליי וגיליתי מי הם החיילים שבצילום. התשובה של המרצה דר' יוסף הלפרין ז"ל, מהמחלקה לחקר היער באילנות, הייתה: שב ושתוק לא נשאלת. מאוחר יותר כאשר עבדתי במחלקה לחקר היער שב"אילנות" הפכנו לחברים.

הגרעין אליו השתייכתי נשלח כהשלמה לקיבוץ האון שעל שפת הכינרת. נשארתי שם עד פברואר 1961. עזבתי כי רציתי להשכיל בתחום של אדריכלות שטחים פתוחים ונוף (שנמשכתי אליו בעקבות פעילותו של אבי, האדריכל אוריאל (אוטו) שילר, אשר תכנן את רמת הנדיב - קבר הברון רוטשילד ואשתו והגנים שמסביבו- שליד זיכרון יעקב. מאז שנולדתי אבי טיפח בשטח הפתוח של רמת הנדיב שיח קטן על שמי, שלימים התברר כי הוא בר-זית בינוני ולא אלון מצוי. כאשר התגייסתי לצה"ל שיח זה כבר היה לעץ שהיה פעמיים ויותר גבוה ממני. העץ נפגע בשרפה הגדולה בשנת 1980, ומאז לא התאושש (ראה בפרק 3 על בר-זית). בעקבות החלטתי ללמוד אדריכלות של שטחים פתוחים ונוף עבדתי תקופה במשרד של אדריכלי גנים ונוף, סגל ודקל, כדי להבין במה מדובר. התכתבתי עם הפקולטה לאדריכלות גנים ונוף בטכניון של העיר הנובר בגרמניה. ידעתי היטב גרמנית (חוץ מאשר לכתוב, כי את השפה למדתי באופן פונטי בילדותי), ולא רציתי אז להשתלם בשפה האנגלית

או הצרפתית כדי שאוכל ללמוד לימודים גבוהים. למרות שהיתי בוגר בית ספר תיכון חקלאי (הכפר הירוק) הפקולטה דרשה ממני הוכחה על לימודים ברמה של הנדסאי גינון, דבר שלא היה בידי. לכן נכנסתי באמצע שנת הלימודים לקורס הנדסאי גינון ב"בית הספר לגננות ושתלנות" בפתח-תקווה. בשנת 1962 סיימתי את הלימודים וקיבלתי תעודת גנן מוסמך ברמה של הנדסאי. צחוק הגורל הוא שבאותה שנה חוקק בכנסת חוק שלא אִפשר להורים שלי, שלא קיבלו שילומים מגרמניה, לקנות כסף זר בארץ, שהיה אז תחת פיקוח, ולשלוח לי לגרמניה. בכך בבת אחת עמדתי בפני שוקת שבורה כי בארץ עדיין לא הייתה פקולטה לנושא שבחרתי. לקראת שנת הלימודים 1962/3 פניתי ונרשמתי ב "פקולטה לחקלאות ברחובות", ובינתיים עבדתי בחברה קבלנית לבניית גינות.

לקראת מחצית שנת הלימודים השלישית והאחרונה לתואר הראשון, ב-1965, היה לי ברור כי אינני רוצה להמשיך בחקלאות, לא להיות מדריך חקלאי ולא לעסוק במחקר חקלא; חזרתי שוב לרעיון של לימוד אדריכלות שטחים פתוחים ולהתעניין מה ניתן לעשות. באחד מביקוריי בכרי-דשא (לשעבר אכסניית הנוער שעל שפת הכינרת) בניהולו של שלמה אילן ואשתו פגשתי את פרופ' זאב נאוה ז"ל, שהיה חברם ודיברתי איתו בנושא שהציק לי, הוא הפנה אותי לפקולטה ליערנות של הטכניון הפדראלי של שוויץ בציריך. התחלתי להתכתב עם הפקולטה הזו כדי להבין את דרישותיהם והשתכנעתי כי לימודים בפקולטה הזו יהוו מוצא וגם כיוון טוב יחסית כדי לממש את הרעיונות שלי. מכיוון שלא היה שום סיכוי שההורים יממנו לימודים בחו"ל פניתי לאגף הייעור של "הקרן הקיימת לישראל" בבקשה לתמוך בלימודים שלי בטכניון בשוויץ תמורת התחייבות חוזית לעבוד באגף הייעור במשך עשר שנים, נדחיתי בטענה כי הקק"ל כבר מממנת שני סטודנטים בפקולטה ליערנות בפירנצה שבאיטליה. באותה עת התפרסם בעיתונות דבר קיומה של מלגת חילופין בין ממשלות ישראל ושוויץ למשך שנת לימודים אחת במעמד של "שומע חופשי". כלומר, סטודנט שלא מהמניין שאין עליו חובות. החלטתי לנסות ולזכות במלגה זו, לנסוע ולראות "מה ילד יום". הגשתי את המסמכים הדרושים ובהם פירוט מדויק של מה שברצוני ללמוד במשך השנה, כולל מכתבי המלצה מפרופסורים אחדים דוגמת פרופ' הילל אופנהימר, ומאנשים שידעו והבינו את שאיפותיי. [לימים , בשנת 2004 התפרסם בהוצאת מאגנס ספר הזיכרונות של פרופ' הילל אופנהימר ז"ל "מבט אחורה, זיכרונות" שבו הוא מתאר את פעילותו בהוראת הדנדרולוגיה ומבוא ליערנות בפקולטה לחקלאות ברחובות. שם (עמוד 210) הוא מזכיר את העובדה כי עזר לי להמשיך את לימודי בפקולטה ליערנות בשוויץ].

לאחר חג הפסח, ערב הבחינה הגדולה באנטומולוגיה (קורס של שנה וחצי) שניתן על ידי פרופ׳ אבידוב ופרופ׳ הרפז. זומנתי להתייצב בפני ועדה של משרד החינוך והתרבות במשרד הראשי שברח׳ הלני המלכה בירושלים. ההתייצבות בפני הוועדה הייתה על פי סדר שמות המשפחה, ולכן תורי הגיע רק בשעות אחרי הצהריים המוקדמות, והייתי האחרון. הבנתי כי מכל המועמדים אני הזוטר ביותר מבחינה אקדמית, רק לקראת קבלת תואר ראשון. היו שם סטודנטים לקראת תואר שני ושלישי וגם בתר תואר שלישי מתחומים שונים ביותר במדע. ניצלתי את הזמן הרב שעמד לרשותי ולמדתי במרץ, והזמן חלף לאיטו. בשעה שתיים נקראתי להופיע בפני הוועדה, שהיו בה אנשים רבים מאוד סביב שולחן גדול שעליו מפת לבד ירוקה. כדי להרשים אותם שאני מסוגל ללמוד בשוויץ ללא בעיות של שפה דיברתי בגרמנית כאשר נשאלתי שאלות בגרמנית. כאשר נשאלתי למטרותיי ולמה בחרתי ללמוד בשוויץ שהרי אפשר גם ללמוד במקומות אחרים, הסברתי כי הפקולטה ליערנות בשוויץ מציעה בדיוק את הגישה ליער, לטבע ולנוף שמושכת אותי. כמו כן עלתה במוחי באותו רגע הברקה להגיד כי אני מבקש שגם בישראל יהיה נקי, מסודר ומטופל, כפי שאני מבין שהדברים בשוויץ. כמובן שהוועדה פרצה בצחוק והפגישה הסתיימה. חזרתי לבית הורי עייף, מאוכזב ומלא במחשבות מה יהיה עתידי עם גמר לימודי התואר הראשון. בערב הסברתי להוריי כי אין סיכוי שהוועדה תחליט כי אני הוא הראוי למלגה, וחזרתי לחדרי ברחובות. למחרת בשעת הצהריים, אחרי גמר הבחינה באנטומולוגיה שארכה שעות אחדות, מצאתי את אמי יושבת בסבלנות ומחכה לי ליד אולם הבחינות עם חיוך שלא מהעולם הזה. היא סיפרה לי כי כבר בשעה שבע וחצי בבוקר טלפנו ממשרד החינוך והתרבות שבירושלים והודיעו לה כי אני הוא זה שזכה במלגה בהסכמה כללית של כל חברי הוועדה, עלי לעלות לירושלים למלא את הטפסים הדרושים. למחרת מזכירת הוועדה הסבירה לי כי הוועדה החליטה כי אכן הגיע הזמן שתחום איכות הסביבה והיערנות יהיה בעל חשיבות, יש צורך באנשים שילמדו ויפתחו אותו. אך כפי שיסופר בהמשך רצון המדינה הוא דבר אחד והרצון של גופים פוליטיים וציבוריים (שרוממות טובת העם והמדינה על דל שפתותיהם) הוא דבר שונה לגמרי..

יומיים לאחר גמר הלימודים, ביוני 1965, הפלגתי עם אבי שלקח את מכוניתו לעיר ניס שבצרפת. והתחלתי להכיר את אירופה המערבית בהדרכתו. הסיור ערך חודשיים וחצי וכלל אזורי נוף כפריים מעוצבים באופנים שונים בכל מדינה ומדינה כמו טירות וגנים, מוזיאונים ורבעים ייחודיים מבחינת התכנון שלהם במדינות: צרפת, אנגליה, בלגיה, הולנד,

גרמניה, אוסטריה ושוויץ, בה נשארתי לבסוף למשך שלוש שנים. הגעתי לשוויץ כשלושה שבועות לפני תחילת סמסטר החורף, ופניתי ישירות למשרדו של ראש הפקולטה ליערנות, הפרופ׳ לאיבאונדגוט (Leibundgut), דמות ידועה בתחום היערנות בכל ארופה. הוא הפנה אותי לפרופ׳ אחר שמונה להיות המלווה שלי במשך השנה האקדמית. מכיוון שהתייצבתי לפני מועד תחילת הלימודים, הפנו אותי לספריית המחלקה כדי שאלמד קצת מהספרות היערנית. בתחילה היה מאוד קשה לקרוא במשך שעות בשפה הגרמנית, לאט התרגלתי לכך, וההספק עלה עם הזמן. כמו כן נשלחתי למשרד חצי ציבורי שעסק בתכנון נוף ושמירה על הסביבה. ראיתי מה ואיך עושים, וגם שם היה לי מקום קבוע בספרייה שלהם. למרות שנחשבתי כסטודנט שהוא ״שומע חופשי״, כלומר, שאינו מחויב במטלות אך גם אינו מקבל ציונים, ויכול לעשות כרצונו, הרכבתי תכנית לימודים מחייבת בעזרת הפרופ׳ המלווה. כדי שלא יהיו בעיות עם המלגה דאגתי לקבל את חתימות הפרופסורים השונים על נוכחות בכיתה והשתתפות בתרגילים ובסיורים מקצועיים. שנת הלימודים הזו הייתה מאוד מעשירה. השתתפתי בקורסים שסקרנו אותי, ולמדתי מפי פרופסורים מאוד מעניינים דוגמת פרופ׳ הינץ אלנברג (Elenberg), אקולוג ובוטנאי גרמני שהרצה על שמירת הטבע והנוף בעת שהותו במכון הגיאו-בוטני של הטכניון, והיו גם אחרים. כמובן שרבים מהקורסים היו בתחום היערנות. כאשר התקרבה השנה לסיומה הרגשתי שמצאתי את ייעודי, רציתי להשלים את לימודיי בתחום היערנות כחוק. על מנת להתקבל כתלמיד מהמניין בפקולטה ליערנות פניתי בבקשה אל ראש הפקולטה, פרופ׳ לאיבאונדגוט, שתיפקד באותה העת גם כרקטור של הטכניון. הגשתי את כל המסמכים הנדרשים, ואכן התקבלתי ללימודים כחוק לסמסטר החמישי מתוך שמונה. הייתי חייב להשלים מספר תחומים יערניים ייחודיים, שנלמדו בסמסטרים קודמים, מה שעשיתי בהצלחה רבה. בחופשות הקיץ הייתי עסוק בעבודות מעניינות בתחנת הניסיונות היערנית בעיירה בירמנסדורף, שקרובה לציריך. עבדתי כטכנאי במעבדה של הפרופ׳ לתורת הקרקע היערנית שלימד בטכניון, וגם היה חוקר בתחנת הניסיונות, דבר שמנע ממני את הצורך לבקש רישיון עבודה של אזרח זר בשוויץ, דבר שלא הייתי מקבל כמלגאי. העבודה כללה ניסיון לכייל טנסיומטרים חשמליים לשם בדיקת רטיבות הקרקע ביער. כמובן, שבכל חופשה בין הסמסטרים עבדתי אצל אחד הפרופסורים כעובד מעבדה או טכנאי.

יוש פלורי (Josias Flury) בחופשת חג המולד הראשון שלי בשוויץ, בדצמבר 1965, הוזמנתי על ידי סטודנט ליערנות בשם יוש פלורי, לשהות בביתו אשר בעיירה המפורסמת

דאווס שבאלפים. יוש שהה בישראל חצי שנה ועבד בקק״ל במסגרת של ההתמחות הנדרשת מסטודנטים. הוא שמע בקק״ל שישראלי נסע ללמוד יערנות בשוויץ. הוא התפעל מכל מה שנעשה בארץ והעריך מאוד את הישירות הישראלית ואת האירוח רחב הלב, ולכן הוא החליט למצוא את הסטודנט הישראלי ולארח אותו כיד המלך. כמובן ששמחתי על כך מאוד כי בסך הכול החברה השוויצרית היא מאוד סגורה כלפי זרים, מה עוד שאז עוד לא הבנתי את השפה המקומית (גרמנית שוויצרית), ובקושי דיברתי. האירוח הזה הוציא אותי מבדידות חברתית, ואכן היה כיף גדול לדהור, רכוב על מה שנקרא ״שליטן״ במסלול האולימפי של דאווס, במורד ההר, בליל ירח מלא וקר מאוד. מרוב פחד צחקתי מאוד, ואני מניח שעד היום ישנם ביער סנאים שקיבלו התקף לב מהיצור הצוחק תוך כדי דהירה במורד ההר. יוש ואני נשארנו חברים שנים רבות מאוד, והתקיימו ביננו ביקורים הדדים במשך השנים. עם גמר לימודיו יוש זכה במכרז לניהול אזור יער גדול ויפה של הכפר שירס אשר באלפים.

פטר אטלינגר (Peter Ettlinger) סטודנט שידע עברית. אביו היה יהודי גרמני ניצול שואה שהגיע לשוויץ ונישא לאישה קתולית, הוא היה פרופסור לפיטופתולוגיה בטכניון. בני דודיו של פטר חיו בקיבוץ בית השיטה. התחברנו ולמדנו ביחד, ופטר תמיד עזר לי כאשר היו לי קשיים בקריאת הכתוב על הלוח. היה לנו מרצה בנושאי הנדסה ותכנון של כבישים, קירות תומכים, מבנים, גשרים, מבנים הנדסיים לשם פיצול מפולות שלג ועוד, שהיה איש לא נעים וכתב על הלוח בצורה מחוברת, כך שלא יכולתי לפענח את הכתוב. בשיחה עם הפרופסור על הקושי שלי בפַענוח כתב היד שלו, הוא נקט לשון תקיפה והודיע לי כי ״הוא למד לכתוב ואני אלמד לקרוא״, והמצב לא השתפר. פטר התגייס למשימה, ובמשך שנתיים פַענח עבורי את הכתוב על הלוח. היה זמזום תמידי של דיבור-תרגום בכיתה, והמרצה לא היה יכול לעשות כלום. במשך שנתיים היינו שלישייה שביצעה את התרגילים והעבודות ביחד, בין אם ביער או בכיתה. השלישי היה חבר של פטר בשם פרנץ שטדלר מהעיירה אלטדורף שבדרך לגוטהרד. פטר הגיע לארץ מאוחר יותר כדי לעבוד כאן חצי שנה כמתמחה. עם גמר לימודיו הוא זכה במכרז לניהול היערות של קנטון אפנצל.

כדי להתקבל לעבודה במסגרת שירות הייעור בשוויץ (שירות מקומי, מחוזי, קנטונאלי, ארצי) כל הסטודנטים ליערנות, שהיו אזרחי שוויץ, היו חייבים לעבוד כמתמחים שנה שלמה בין הסמסטר השישי והשביעי, כדי להוכיח את יכולותיהם לנהל את היער ולפתח אותו, גם לעבוד עם הכפריים ולפתור בעיות שונות. למהנדסי היער יש גם תפקיד של מיצגי

החוק האזרחי-חקלאי-יערני, הם מתפקדים כמפשרים בסכסוכי שכנים. ההתמחות נעשית כדי לקבל המלצות ולעמוד בבחינות לקבלת רישיון ממשלתי לעסוק במקצוע. ההתמחות כללה אפשרות של שהות במשק יער בחו״ל או בשוויץ בשני אזורים שונים: האחד באזור הררי-אלפיני והשני באזור השפלה. אני, בתור אזרח זר, לא הייתי חייב בעבודה מעשית שכזו כי לא יכולתי להיות מועמד למשרה במסגרת שירות היערות השוויצרי, אך רציתי בכל זאת ללמוד דבר אחד או שניים ביער עצמו, על כן ביקשתי מהפרופסור שלי ליעראות, הפרופ׳ לאיבאונדגוט, למצוא לי מקום שכזה. הוא קישר ביני ובין חבר שלו, פרופ׳ מלינצ׳ק, פרופ׳ ליערנות בעיר לובליאנה - בירת סלובניה שביוגוסלביה, והכול סודר לקראת הנסיעה לתקופה של שלושה חודשים. אלא שאז פרצה מלחמת ששת הימים, יוגוסלביה ניתקה את היחסים הדיפלומטיים עם ישראל, ולא נסעתי. במקום זאת עבדתי בתחנת הניסיונות בשוויץ חודשיים, וחודש אחד שהיתי בישראל בחופשה. כמו המוני בית ישראל טיילתי בכל המקומות שאפשר היה אז לטייל: רמת הגולן, הגדה המערבית, ירושלים העתיקה, סיני ועוד. כאשר השוואתי בין מה שראיתי לבין הזיכרונות שהיו לי מהמקומות השונים מלפני מלחמת השחרור התאכזבתי מאוד. הזיכרונות, ברוב המקרים, לא תאמו את המציאות. שנים רבות מאוחר יותר, נדמה לי שבתחילת שנות השמונים, השתתפתי בכנס במסגרת הארגון העולמי למחקר יערני (IUFRO) בסלובניה. נושא הכנס היה נקודות חשובות בממשק יערות לשם תיירות ונופש. בערב, ליד מדורה ביער וכיבוד כיד המלך, ניגש אלי יערן מבוגר יחסית ושאל אותי האם אני מר שילר משוויץ, שאמור היה להגיע בשנת 1967 לשלושה חודשים להשתלמות יעראית. אמרתי שאכן זה אני, והסברתי את הנימוקים שגרמו לכך שלא נסעתי. היערן אמר כי הם הצטערו מאוד שלא באתי, ושלא היה קורה לי כלום כי ליער אין קשר לפוליטיקה של בלגרד.

באופן כללי הלימודים התנהלו על מי מנוחות. במסגרת הקורסים שהייתי חייב בהם היה קורס על זיהוי מין העץ על-פי מבנהו האנטומי, שניתן על ידי הפרופסור פריי וויזלינג, שהיה דמות ידועה בעולם האנטומיה של הצמח. הוא ראה מהבמה שאני מדפדף בספר, כפי שמדפדפים בספר כתוב בעברית, ולכן כאשר עסקנו בתרגיל זיהוי בעזרת המיקרוסקופ הוא ניגש מאחוריי והסתכל כיצד אני עובד. אמרתי לו שהספר הזה הוא בעברית, אך תרגום שלו בשפה האנגלית בוודאי מצוי אצלו על המדף. הספר נכתב על ידי פרופ׳ אברהם פאהן. הוא כמובן שמח שיש לו סטודנט שלמד אצל חברו, ומאז תמיד הקפיד לבדוק שאני מבין היטב את שנאמר, ומבצע את התרגול היטב. היו הרצאות בנושאים שונים

שעניינו אותי והשתתפתי בהם. היות שכתיבה בעברית קצרה מכתיבה בגרמנית, כתבתי את התקציר בעברית מה שהפליא מאוד את הסטודנטים שישבו מאחריי באודיטוריום. הם היו מתלחשים על כך בקול די רם עד שהפרופסור היה גוער ודורש שקט. בהפסקה הסטודנטים היו פונים אליי בשאלה האם אני יודע לקרוא את מה שכתבתי ומבין את הכתוב? היו עבודות סמינריוניות שהייתי צריך להגיש, התקשיתי לכתוב בגרמנית כהלכה. פרופ׳ אחד אמר לי: ״מר שילר, אתה בא מהמזרח, שם אנשים יודעים להציג ולמכור את מרכולתם בבזאר, איך אתה לא יודע זאת״! הייתי חייב בעבודה סמינריונית על חוק היער, בחרתי להתמודד עם חוק היער הישראלי. אספתי על כך חומר בארץ, על עבודה זו קיבלתי ציון נמוך יחסית כי לדברי הפרופ׳ לא הזכרתי שבן-גוריון הצהיר בכנסת כי חייבים לטעת 8 מיליון עצים. הפרופ׳ טען כי דברי בן-גוריון הם חוק בארץ, מכוון שלא הזכרתי אותם הוא הוריד לי ציון.

בשנה השלישית לשהותי בשוויץ (השנה השנייה כסטודנט מהמניין) פניתי להתמחות בתחום של מִמשק יער. פרופ׳ קורט שאל אותי עם אני מעוניין לבצע עבודה הכוללת פענוח צילומי אוויר ומיפוי למטרות ממשק יער? השבתי בחיוב. הוטל עלי להכין עבודה סמינריונית על היער השייך לקואופרטיב של תושבי כפר קטן בעמק המזוקס שבאלפים, שהוא העמק היורד ממעבר סן-ברנדינו לעיר בלינצונה בירת הקנטון האיטלקי של שוויץ. לשם כך ציידו אותי ברכב ממשלתי, חיפושית פולקסוואגן, ונסעתי לכפר ובדרכי היער שלו והלכתי וטיפסתי בשבילי היער אל מעל לגבול העליון של היער כדי לבדוק האם הפענוח של צילומי האוויר אשר נעשה בעזרת סטריאוסקופ אכן תואם את המציאות בשטח ואינו ארטיפקט. לאחר הבדיקה בשטח של נכונות הפענוח ותיקונים הכרחיים העברתי את גבולות השטחים מצילומי האוויר למפות טופוגרפיות וביצעתי סיווג של חלקות היער בהתאם לאפשרויות ניצולם, צבעתי את המפות וביצעתי פלנימטרציה של השטחים (מדידת השטח על גבי המפה בעזרת מכשיר ייעודי (פלנימטר). העבודה השביעה את רצון הפרופ׳ ולכן, כעבודת גמר והסמכה כמהנדס-יערן, הוטל עליי להרחיב את העבודה הנ״ל על פני העמק כולו וגם לעמק צדדי נוסף, בסך הכול על פני שטח יער של כ- מאתים ועשרים אלף דונם. בדיקת נכונות הפענוח של צילומי האוויר חייבה אותי לעלות ברגל בשבילי היער וכרי מרעה לפסגות ההרים, משני עברי העמק, לבדוק בעזרת משקפת בעלת הגדלה גדולה את המדרונות שממול. ביצוע העבודה באופן הזה היה דורש ימים רבים מאוד, כאשר עיקר הזמן היה מוקדש לעלייה לכרי המרעה שמעל לגבול היער –בגובה של כאלפיים מטר ולירידה מהם.

התמזל מזלי ומשך הזמן לבדיקת נכונות הפענוח והצורך לעלות ולרדת רגלי את כל הפרשי הגבהים הגדולים התקצר מאוד בעקבות אירוע בו היה מעורב הצבא השוויצרי. הצבא השוויצרי ערך תרגול ירי בתותחים ופגע בטעות ביער באזור עבודתי והעלה חלק ממנו באש, על-פי החוק השוויצרי, הצבא חייב בתיקון הנזקים. על כן הוא גייס את המשאבים, כולל הליקופטר, כדי להעלות הציוד הדרוש לכרי המרעה שבהרים מעל לגבול היער. פניתי וביקשתי שההליקופטר, בסיבוביו הרבים להעברת הציוד, ייקח אותי ויעביר אותי בין כרי המרעה. לאחר היסוס מסוים, עקב היותי אזרח זר וחסר ביטוח למקרה אסון, התקבל אישור ביטחוני והטייס הסכים לעזור לי. וכך, במשך שבעה ימי עבודה, הועברתי מידי כמה שעות בין כרי מרעה אלפיניים שמעבר לגבול העליון של היער על פני מדרונות תלולים, בין פסגות ההרים שגובהם מעל ל- 3000 מ׳, מה שהקל עליי מאוד וזירז במידה רבה מאוד את העבודה בשטח. לאחר שסיימתי לשרטט את המפות על סמך צילומי האוויר, לסווג את השטחים, את הפלנימטרציה של השטחים, ערכתי בכתב את סיכום עבודת הדיפלומה. פרופ׳ קורט ארגן את הרצאת סיכום העבודה ובעקבות זאת קבלת התואר בפקולטה. עבודת הסמכה זו הייתה אמורה לשמש הדגמה לגישה חדשה של בדיקת שטחים והערכה ראשונית למטרות תכנון ממשק יערני. לקראת סוף ההרצאה, אשר לוותה בשקופיות שצולמו מההליקופטר ומהקרקע, נוצר רעש באולם. ברגע שסיימתי את ההרצאה התפרץ ״הר געש״ שכלל טענה אחת: כיצד זה שאדם שאינו אזרח שוויצרי מוטס בהליקופטר צבאי ועושה עבודה כפי שהוצגה, בעוד שאנשי מקצוע, יערנים אחרים, מבקשים חודשים ושנים מהצבא להעמיד לרשותם אמצעים לעבודה שכזו, והם נידחים כל הזמן. הייתה זו טענת שווא כדי להציל פנים שהרי הפרופ׳ לא היה מציע לי לבצע עבודת הדגמה ללא סיבה מספקת. העבודה פורסמה בעיתון השוויצרי ליערנות.

מרגע שסיימתי את חוק לימודי בפקולטה ליערנות, באמצע יולי 1968, נותר לי זמן עד למועד שקבעתי לחזרתי לישראל, כפי שהתחייבתי בעת קבלת המִלגה בישראל ובפני שלטונות שוויץ. ניצלתי את הזמן לעבוד בתחנת הניסיונות ליערנות. היות שהייתי מהנדס מוסמך, הייתי אחראי וביצעתי חישובים שונים עבור התקנת טבלאות יבול. כשסיימתי, נשלחתי לחודש וחצי להיות אחראי על מדידת עצים בחלקת אֵקלום גדולה מאוד בהרים שמעל לעיר בלינצונה, בשוויץ האיטלקית. גרתי שם בצריף היערן, וכל ערב בדקתי את הדפים של המדידות וחתמתי על נכונותם. שנים רבות מאוחר יותר, בשנות השמונים המאוחרות, פורסמה על ידי תחנת הניסיונות השוויצרית חוברת אשר הכילה את הידע על

כל המינים בחלקת אֵקלום זו, ידע שנבע מהמדידות, וגם שמי הוזכר שם בין רבים אחרים כאחראי על המדידות בפרק זמן מסוים.

באוגוסט 1968, ביקר בשוויץ פרופ׳ זאב נאווה ז״ל, מהפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון בחיפה, שאֵתו התייעצתי בשנת 1965 לגבי המשך הלימודים בשוויץ. הראיתי לו את עבודת הגמר שלי, והוא מאוד התלהב. והמליץ לי לעשות עבודת מחקר לתואר דוקטור בטכניון בחיפה, במחלקה שלו, ולהמשיך עבודתי באותו האופן לגבי שטחי החורש והיער בישראל. במשך כל שנות לימודי בשוויץ, ואף לפני כן בשנה האחרונה בפקולטה לחקלאות, עמדתי בקשר עם סגן מנהל אגף הייעור של הקק״ל, מר משה קולר ז״ל, שגם הוא הוסמך כ-20 שנה לפניי באותה הפקולטה בשוויץ שבה למדתי. תיאמתי אֵתו דגשים רבים בלימודי, באמצעותו סוכם והובטח לי שאתקבל לעבודה באגף הייעור של הקק״ל עם תום לימודי. כאשר הוסמכתי על ידי הטכניון בשוויץ, כתבתי למר קולר שאחזור לישראל ב- 31.12.1968 ואהיה מוכן להתחיל את עבודתי באגף הייעור בראשון בינואר 1969. ארבעה ימים לפני חזרתי לישראל, לקראת סוף דצמבר, קיבלתי מכתב בהול ורשום, חתום על ידי מנהל אגף הייעור של הקק״ל, מר שרון ויץ, שבו הוא הודיע לי כי אין עבורי מקום עבודה באגף הייעור של הקק״ל. חזרתי בתאריך הנקוב לישראל בטיסת אל-על שהיו בה 7 נוסעים, כי היה זה הלילה שלפני ראש השנה הנוצרי, ללא ידיעה מה צופה העתיד, ובניגוד גמור לכוונה של הוועדה שאישרה לי את המילגה. כמובן שברגע שנתאפשר לי, ב-2 בינואר 1969, ביקשתי פגישה דחופה עם מנהל אגף הייעור של הקק״ל, מר שרון ויץ, שהיה חתום על מכתב הסירוב. נקבעה לי פגישה ב-4 בינואר 1969 במשרדי הנהלת אגף הייעור, שהיו ממוקמים ״בפס הירק״ בקריית חיים שמצפון לחיפה. בשעה היעודה התייצבתי בפני מנהל האגף. לשאלתי מדוע בניגוד לסיכומים המוקדמים וההבטחה שניתנה לי אין לי אפשרות לעבוד באגף הייעור, נעניתי על ידי מר ויץ כי ״אין צורך באקדמאים במדעי היער באגף הייעור, אם אני רוצה בכל זאת אני יכול לעבוד באגף רק כפועל בייעור״. הסברתי שאינני יכול בשל בעיות הגב שמהן סבלתי קשות ורבות, בנוסף לכך אמרתי שכבר שתלתי פעמים רבות מאוד בשנים קודמות ואני יודע כיצד לעשות זאת. תשובתו של מר וויץ הייתה: ״כל מה ששתלת לפני כן לא שווה שום דבר כי הדבר לא נעשה בפיקוחו של עובד אגף הייעור״. סברתי כי זה סתם עלבון מרושע שאין לו שום בסיס והוא מלמד על אופי האדם. בלי להוסיף דברים עזבתי את המקום באכזבה עצומה, כך ירד לטִמיון חלומי להיות יערן בשטח, מנהל גוש יערות או חבל במסגרת הקק״ל. חשבתי שבעתיד, לאור התמחותי בממשק יערות, אולי

אתקדם למשרת מנהל אגף הייעור. סגנון הדיבור ותוכן תשובתו של מר ויץ (שאפילו לא הזמין אותי לשבת) היו אמורים לשמש לי תמרור אזהרה ליחסים העכורים אשר ישררו ביני לבין הקק״ל במשך כל שנות עבודתי. הקק״ל כלל לא העריכה יערנים ברמה אקדמית אשר ״לא לְכלכו את ידיהם״ ולא רכשו לדבריהם ״ניסיון יערני ישראלי ייחודי״ בנוסח אגף הייעור של הקק״ל. הם לא העריכו יערנים שלא אמרו אמן אחר הדעות הנחרצות והפעולות של מנהלים באגף הייעור. אני מכיר לפחות חמישה יערנים מוסמכים, חניכי אוניברסיטאות מארצות המערב, שעלו לארץ וניסו להתקבל לעבודה באגף הייעור, כולם נדחו וחזרו לארצות מוצאם. אך גם יערנים מוסמכים שעלו ונִקלטו, לא החזיקו מעמד שנים רבות וחזרו לחו״ל.

לאחר אותה פגישה נוראה עם מר ויץ שכבר הוזכרה, המליץ לי משה קולר, סגן מנהל אגף הייעור, לפנות למחלקה לחקר היער של מִנהל המחקר החקלאי ב״אילנות״ ולבקש עבודה. זה בדיוק הדבר שלא רציתי: להיות חוקר במעבדה. לכן לא עברתי בזמנו לפקולטה לביולוגיה בירושלים, כאשר ניתנה לי ההזדמנות לכך, בקיץ 1963. מתוך כורח פניתי לגופים ציבוריים אחרים אשר פועלים בשטחים הפתוחים דוגמת ״רשות הגנים הלאומיים״; על מכתבי אפילו לא זכיתי לתשובה. פניתי ל״רשות שמורות הטבע״ בראשות האלוף יופה, התקבלתי לשיחה שהייתה מאוד לא נעימה כי נדרשתי לתרץ את מעשי אגף הייעור של הקק״ל בייעור הארץ. השיחה נותקה כאשר מר יופה קיבל שיחת טלפון מהנגב שדיווחה על בדואי שצד צבי. מר יופה ענה: ״את הצבי תעבירו אליי, יש לי חפלה בשבת, את הבדואי תעבירו למשטרת באר-שבע״. עם סיום שיחה זו מר יופה הודיע לי כי אין לו מקום עבודה עבורי ברשות.

מכיוון שלא הצלחתי בשבועיים הראשונים למצוא מקום עבודה, פניתי מחוסר ברירה וברגשות מאוד מעורבים למנַהל המחלקה לחקר היער של מִינהל המחקר החקלאי ב״אילנות״, דר׳ רנה קרשון וביקשתי להתקבל לעבודה. ד״ר רנה קרשון, גם הוא מוסמך ובעל תואר דוקטור בהצטיינות מאותה הפקולטה בשוויץ, שחלק מהפרופסורים שלו וחבריו היו המרצים שלי, ידע אודותיי ממר משה קולר. בפגישתנו נקבע שאתחיל לעבוד ב-12.01.1969 כעובד ארעי בתפקיד עוזר לחוקר בדרגה ו׳ מהנדסים. מפי משה קולר ז״ל וד״ר ירח קפלן מאגף הייעור שמעתי באקראי כי גם ד״ר קרשון לא בדיוק רצה לקבל אותי לעבודה. הוא סבר שאדם שרוצה להיות יערן ומנהל שטח לא יכול להיות אקדמאי טוב. רק השתדלותו של משה קולר אצל ד״ר קרשון אפשרו את קבלתי לעבודה במעמד זמני לתקופת

ניסיון, כאשר חוזה העבודה הוארך כל 4 חודשים במשך השנתיים הראשונות, ולאחר מכן כל שנה, עד שקיבלתי קביעות.

כך מחוסר ברירה, כי לא רציתי לעשות הסבה מקצועית ולעזוב את היערנות, הייתי לעובד ארעי בדרגה ו׳ מהנדסים במקום עבודה שלא כל כך רציתי בו. המתח במקום העבודה נבע מוויכוחים אינסופיים עם עובדי העזר במחלקה (טכנאים), שתמיד ידעו הכול יותר טוב וקלקלו לעִתים קרובות את הניסיונות. קשיים עצומים אחרים היו קשורים באנשי אגף הייעור של הקק״ל, שבוודאי ידעו הכול יותר טוב ובכלל: ״מי זה האקדמאי הזה שיבוא ויגיד לנו מה לעשות, הוא לא לכלך את הידיים שלו״ (זה היה המוטו של עובדי אגף היעור של הקק״ל כל השנים כנגד דעות, רעיונות ותוצאות מחקרים שהוצגו בפניהם). לאט לאט השתנתה דעתו של ד״ר קרשון מנהל המחלקה, כאשר ראה והבין כי איני נִרתע מקשיים ואני מגלה חריצות. הוא דאג לקדם אותי בדירוג המהנדסים, מה שִׁדרג במידה מסוימת את השכר והתנאים הנלווים. ד״ר קרשון הטיל עליי את הביצוע של עבודות מחקר שונות, דבר ששיפר מעט את הרגשתי. הייתי אדון לעצמי במידה לא מבוטלת, בתנאי שעמדתי בביקורת צמודה למעשי. אך למרות הכול התַסכולים ממקום העבודה ב״אילנות״ בשנתיים הראשונות גרמו לי לנסות ולעשות עבודת דוקטורט בפקולטה להנדסה חקלאית בטכניון אצל פרופ׳ זאב נאווה, שהזכרתי כבר קודם לכן. על-פי המלצתו של פרופ׳ נאווה הגשתי את כל המסמכים הדרושים ואז שוב נחלתי אכזבה ענקית: מזכירות הטכניון הודיעה לי שהתואר השני שלי משוויץ נחשב אצלם רק כתואר ראשון, זה בנוסף לתואר הראשון שלי מהפקולטה לחקלאות. במידה וארצה להתקבל ללימודים יהיה עלי ללמוד לתואר שני, להשלים מספר קורסים לתואר ראשון במקצועות ריאליים. ברור כי לא הסכמתי לכך וביטלתי את ההרשמה למגינת לִבו של פרופ׳ נאווה, שהיו לו תכניות רבות עבורי כמו ביצוע עבודות מחקר בנוסח עבודת הגמר שלי בשוויץ. ברור כי חוסר הערכה של המוסד האקדמי הטוב במדינה גרם לי למפח נפש רב.

ביוני 1969 נוסדה האגודה של מהנדסי יער בישראל שבה רצו להשתתף כל האנשים שהיו אקדמאים בתחומים הרבים והשונים שעבדו בקק״ל, באילנות ובמקומות אחרים. התקיימו מפגשים בהם דנו בדברים כבדי משקל בממשק היער בארץ, דוגמת ניסוח מדיניות הייעור בישראל, ניסיון לנסח חוק יער חדש שיחליף את פקודת היערות המנדטורית, דרכים לממשק יער (מרווחי זמן בין הדילולים ועוצמתם, ועוד), הדברים סוכמו בכתב והופצו. דברים אלו לא מצאו חן בעיני דירקטוריון הקק״ל והוא הודיע לחברי האגודה שהיו מעובדי

הקק״ל כי הם יפטרו על חברותם בהתאגדות מקצועית, דבר זה הרתיעה רבים מלהמשיך ולהשתתף באגודה והיא התנוונה תוך זמן קצר. על כן החלטתי בשנת 1971 להצטרף לאגודת המהנדסים והאדריכלים בישראל כאיגוד מקצועי. הגשתי את הטפסים ומזכירות האיגוד החליטה לרשום אותי בסקציה של מהנדסי מים. כאשר שאלתי לפשר הדבר אמרו לי כי אין סקציה של מהנדסי יער בארץ ויער ומים קשורים מאוד, לכן רשמו אותי בסקציה הנ״ל.

יום אחד בשנת 1972, נקראתי אל מנהל המחלקה, ד״ר קרשון, שהודיע לי בצורה הפשוטה ביותר שלא אוכל לעבוד עוד זמן רב במחלקה בתור עובד ארעי, כי קיימת מגבלה חוקית. עם ברצוני להמשיך לעבוד ״ולקבל קביעות״ הדבר אפשרי רק עם אהיה בדירוג אקדמאי, לשם כך אהיה חייב לבצע עבודת מחקר לשם קבלת תואר דוקטור, הדרוש לשם קבלת תקן בתור חוקר במסגרת מנהל המחקר החקלאי. וכך, בלא שרציתי והתכוונתי לכך, באין מוצא ובאין ברירה (כי יש גם אחריות אישית למשפחה שאין להתנער ממנה), דחקו בי לפנות לנתיב האקדמי. בעצה אחת עם מר משה **ק**ולר, ד״ר ירח **ק**פלן שניהם מאגף הייעור של הקק״ל וד״ר רנה **ק**רשון מנהל המחלקה, הרחבתי את תכנית המחקר שכבר ביצעתי אז במסגרת המחלקה על ״הגורמים האקולוגיים המשפיעים על ההתחדשות הטבעית של יער אורן ירושלים״ כדי שתתאים לדרישות האקדמיות של עבודת מחקר לתואר דוקטור של אוניברסיטת תל-אביב, במחלקה לאקולוגיה בהנחית פרופ׳ יואב וויזל וד״ר מיכאל ליטב. מחקר זה היה הראשון פרי יוזמתי כי ראיתי והבנתי שאין באגף היעור של הקק״ל שום ידע תיאורטי ומעשי על אחד המקטעים החשובים בממשק היער, שהוא כעין גלגל ענק שמסתובב בהתאם לקצב ההתפתחות של כל חלקת יער בפני עצמה, והוא ההכנה של חלקת היער לקראת התחדשות, והביצוע של התחדשות באופן טבעי-עצמי ללא שריפה. לאור מה שכבר רמזתי על התנהלות האנשים של הקק״ל ברור שעבודתי זו נתקלה בקשיים עצומים מאנשי השטח של אגף הייעור דוגמת מנהל חבל תיכון באותם הימים, שטען: ״אנחנו יודעים הכול, ומטומטם מי שמממן לך את המחקר, אני אראה לך שאני יודע את הכול״. לצערי, עד היום לא זכיתי לראות את פעולותיו בחידוש חלקות יער ולשמוע את הסבריו ונימוקיו לאופן פעילותו. היו לי קשיים נוספים עם הרועים של קיבוץ משמר העמק שהיער היה בשכנותו, הקיבוץ שתל אותו כאשר עלה להתיישבות. הרועים הפקירו בחלקות שהוקצו למחקר את הפגרים של עדר הבקר שלהם וזאת בניגוד לכל חוק, אגף הייעור לא פעלה לשם הפסקת נוהג זה. רק לאחר שיחה עם מר יעקב חזן (המוכתר של הקיבוץ ומנהיג פוליטי במפלגת מפ״ם), שאבי הכיר בינינו בבית קפה בתל-אביב (אבי הכיר אותו מהתקופה שהוא תכנן ובנה את מה

שנקרא בקיבוץ משמר העמק "המוסד- השומריה", שהיה בית ספר אזורי לקיבוצים), רק אז נפתרה הבעיה.

גם הקבלה כתלמיד מחקר באוניברסיטה של תל-אביב לא עברה באופן חלק. את התעודה שלי מהטכניון השוויצרי שלחו לבדיקה והערכה באוקספורד, אנגליה. התשובה שחזרה הודיעה שהתעודה היא שוות ערך לתואר שני (M. Sc.). מכיוון שלא הייתי בוגר או מוסמך אוניברסיטת תל-אביב, נדרש ממני להוכיח את יכולותיי, חויבתי להשלים שני קורסים נוספים בציונים טובים מאוד: קורס אחד על "מיקוריזה וסימביוזה" בהנחיית פרופ' מרגלית גלון, השני "אנליזה של בית גידול" בהנחיתו של פרופ' יואב ויזל. לא היו לי קשיים רבים מדי ובשנת 1975, לאחר שנה של השלמות התקבלתי ללימודים לתואר שלישי. סיימתי את העבודה הפיזית ביער ואת כתיבת התזה תוך חמש שנים מ- 1972 ובשנת 1978 האוניברסיטה של תל-אביב זיכתה אותי בתואר דוקטור לפילוסופיה. סיום עבודת הדוקטורט קידם אותי בדירוג האקדמי לדרגה ג' מחקר וכמובן במשכורת, וזיכתה אותי בתקן ובקביעות במקום העבודה. אין לכחד שדבר זה היה בעל חשיבות רבה מאוד על-פי חוקי העבודה בישראל - פנסיה תקציבית מובטחת. המעבר לקביעות וגמר עבודת הדוקטור גם העבירו אותי לקטגוריה של חוקר בזכות עצמו, אשר רשאי ורצוי שייצא להשתלמויות בכנסים בין לאומיים בנושאים הנוגעים למחקרים המבוצעים. כך התאפשר לי לצאת למקומות שונים בעולמנו הקטן ולהציג נושאי מחקר ותוצאות. במשך השנים ביקרתי במספר לא קטן של מדינות ומקומות: אוסטריה, רומניה, טורקיה, איטליה, שוב שוויץ, צרפת, ארה"ב, קנדה, יוון, כרתים, יוגוסלביה בתקופת השליט טיטו, צ'כוסלובקיה, גרמניה ועוד. עד שנעמי אשתי פרשה לגמלאות והילדים בגרו, נסעתי לבד, רק לאחר מכן נעמי הצטרפה אליי לכמה כנסים ונסיעות עבודה. היא נהנתה מאוד בנסיעה לפינלנד ולפלנד בשנת 1995 במסגרת הכנס העולמי של ארגון המחקר היערני, באותה הזדמנות גם ביקרנו שלושה ימים בעיר סנט-פטרבורג שברוסיה. נסיעה נוספת הייתה לספרד ולאיים הקנאריים, שם אספתי חומר גנטי מעצי אורן קנרי למטרות מחקר. היו גם נסיעות לאיטליה, צרפת, מרוקו וכרתים במסגרת תכנית מחקר רבת משתתפים של הקהילה האירופאית על השפעת שינויי אקלים על אורנים ים-תיכוניים וארזים. נסענו לכנס רב-משתתפים בסלובקיה, בעיירה סטרה לזנה שלמרגלות הרי הטטרה, שבמסגרתו ביקרנו גם בעיר זקופנה שבפולניה, מהצד השני של הטטרה. לשם ובחזרה נסענו דרך הונגריה ונפשנו לחופי אגם בלטון. גם לאוסטרליה, ניו-זילנד ויפן הגענו.

ההתנהלות השערורייתית כלומר, חוסר התייחסות חיובית כל שהיא כלפי המחקר היערני מצד משרד החקלאות ומינהל המחקר החקלאי גרמה לי לעיתים לנסות ולעזוב את המינהל ובכל זאת לעבור לעבוד במסגרת אגף הייעור של הקק״ל. אלא שהדבר לא צלח בידי כתוצאה מפוליטיקה פנימית ומשיטת המכרזים הנהוגה בקק״ל. בכל פעם שפניתי והעברתי את קורות חיי (התיק שלי) למחלקה למשאבי אנוש כדי להשתתף במכרז על תפקיד ניהולי מסוים, קיבלתי תשובה של משפט אחד ״אין לנו מישרה פנויה התואמת את כישוריך״. ובכל זאת, בשנת 1976 פורסם בציבור והתקיים מכרז לאיוש התפקיד של משנה למנהל אגף היעור של הקק״ל, שעתיד היה להיהפך למנהל האגף עם פרישתו של מר שרון ויץ. התנאים הבסיסים הדרושים לשם הגשת מועמדות היו מנוסחים באופן שכל מי שהיה בעל הכשרה אקדמית גם ביערנות יכול היה להגיש מועמדות. ואכן, לא חסרו אנשים שהגישו מועמדות כולל סגן מנהל אגף היעור מר משה קולר וגם אני. את אופן וצורת הראיון שעברתי לא אשכח כל ימי חיי; הוזמנתי לראיון שהתקיים בבית הקק״ל ברחוב שפירא בתל-אביב, כאשר זומנתי פנימה לחדר, ישב שם רק אדם אחד, חבר הדירקטוריון של הקק״ל. הוא ישב על השולחן ושם רגל אחת על המסעד של כיסא שממולו ושאל אותי שאלה יחידה והיא ״האם אני מסוגל לנהל מאה מליון לירות בשנה״ שהם תקציב אגף הייעור״. תשובתי הייתה שהוא בודאי קרא את התיק שלי והבין שהוכשרתי כמהנדס יערן שאחד מתפקידיו הרבים הוא לפעול באופן מסודר על פי תקציב שנתי. הוספתי ואמרתי כי מעט ניסיון מעשי בניהול תקציבי רכשתי במסגרת המחלקה לחקר היער, שבאותה עת ניהלתי את תקציבה. הוספתי ואמרתי כי כל חברי מהפקולטה בשוויץ זכו במשרות של ניהול שטחי יער בשוויץ ובמקומות אחרים בעולם, שהם גדולים מכל שטחי היער הנטועים בארץ, והם מצליחים בתפקידם; לכן אין סיבה שאני לא אצליח לתפקד כמנהל אגף הייעור השולט על רק כ- 800.000 דונם יער כאשר לכולנו הייתה אותה הכשרה. הוספתי עוד כי תפקידו של מנהל אגף הייעור הוא ראשית כל לנהל את היער על מנת להשיג את המטרות שלשמם הוא ניטע. תשובת המראין היתה כי התשובה אינה מספקת ושילח אותי; כל הראיון נימשך פחות מארבע דקות. כל אלו שניגשו למכרז ״נכשלו״, כלומר, המכרז היה פיקטיבי ולמעשה נבחר מראש אדם שהיה קצין בכיר בצה״ל, מר מרדכי בן- פורת, חבר קיבוץ כברי, שבו הייתה חברה גם הד״ר אביבה רבינוביץ, המדענית הראשית של ראשות שמורות הטבע, אשר התנגדה בקולניות ובחריפות למעשי הייעור של הקק״ל. המחשבה לבחירה זו הייתה כנראה ששני חברי הקיבוץ יסתדרו ביניהם ובכך יורידו את רמת האנטגוניזם שבין אגף הייעור של הקק״ל לבין ״הגופים

הירוקים״. היו לי וויכוחים רבים וקשים עם הדר׳ רבינוביץ על ממשק יערות אורן ירושלים טבעיים ונטועים. את התוצאות של חוסר ממשק אקטיבי בשמורות הטבע, ״שהטבע יעשה את שלו״ בכרמל, במסרק ובמקומות אחרים אנחנו כולנו ״אוכלים״ היום בגדול.

אך נחזור לאחור לשנות עבודתי הראשונות. עבודתי הראשונה בשנת 1969 הייתה לבדוק את ״השפעת הגורמים האקולוגיים על התפתחות הנטיעות ביער יתיר ולהב״. כמובן, שלפני העבודה רציתי לבדוק מה כתוב ב״ספר היער״, אותו מסמך חשוב מאוד אשר אמור לתאר את תנאי הסביבה, את הנתונים הבסיסים אשר שימשו לקבלת החלטות ממשק ומה שנעשה בהתאם לתנאים בשטח. נדהמתי לראות שבספר, שהיה מחברת דלת דפים, כמעט ולא היה כתוב כלום ומה שכתוב היה מלא בשגיאות עובדתיות. בשוויץ ספר היער הוא מסמך מחייב מבחינה חוקית, אך כאן בארץ, בעת ההיא וגם עתה, ספר היער אינו רלוונטי לשאיבת ידע עדכני אדמיניסטרטיבי ומדעי מהימן, הוא חסר שקיפות ואינו מאפשר מעקב על התפתחות היער במשך השנים והפעילות היערית הדרושה. הסקר על התפתחות הנטיעות בשני היערות נמשך שנתיים, לעזרתי בא חברי משוויץ, פטר אטלינגר, שעשה חצי שנת התמחות בארץ במסגרת הקק״ל. בעת עבודתנו ביער יתיר בא לביקור מי שהיה אז מנהל החבל. לשאלתי, כיצד זה שאין תיאום בין מספר העצים שניטעו ליחידת שטח כפי הכתוב במחברת היער לבין מספר העצים הגדל באופן ממשי ביחידת שטח יער בן חמש שנים שלא הייתה בו תמותה או דילול? תשובתו הייתה: ״מר שילר, אמנם למדתה בשוויץ, אך לספור אינך יודע״ והסתלק מהמקום. לאחר מכן עובד קק״ל הראה לי וגם הסביר את פשר הדבר. הוא הרים אבן שטוחה תחתיה היו קבורים שתילים קטנים ואמר שמכיוון ששתילה בשטחים נעשית על-פי פרמיות, כלומר עד גמר השתילים שהביאו מהמשתלה, 200 עד 250 שתילים לדונם, לכן הבדווים קברו חלק מהשתילים כאשר הפקחים כאילו לא ראו ולא שמעו. העבודה סוכמה בשנת 1972. בשנה זו התקיים כנס בבית היער ביתיר בו הוצגו עבודות מחקר על יער זה. לקראת הכנס קיבלתי פנייה טלפונית מפרופסור שעסק באותה עת בחקר חישה מרחוק בטכניון בחיפה, להשוות תוצאות מחקר. הוא ערך מחקר בעזרת צילומי אוויר, שבאותה תקופה הפכו לכלי פופולארי בארץ. כפי שכבר כתבתי למדתי להשתמש בצילומי אוויר למטרות מחקר ועבודה ביער בשוויץ כי ״מרוב עצים לא רואים את היער״, ועבודת ההסמכה שלי בטכניון בשוויץ עסקה בפענוח צילומי אוויר ובמיפוי לשם ממשק יערני . הפרופסור רשם בשקדנות את התוצאות, אך אני לא קיבלתי ממנו דבר והתפלאתי מאוד. בעת הכנס, כמובן, נתנו לפרופסור את מלוא הזמן לדבר, והוא האריך מאוד בדבריו

מעבר לזמן המוקצב, וראה איזה פלא, התוצאות שהוא העלה היו בדיוק התוצאות שמסרתי לו. אחרי הרצאתו של הפרופסור הוקצב לי זמן מועט להצגת תוצאות העבודה שלי, כמובן שהיה מגוחך להציג אותן תוצאות פעמיים. הייתי אכול בושה על טיפשותי, שנפלתי בפח של הפרופסור, רק מפני שזה נחשב נכבד בעיני שפרופסור פונה אלי לשם השוואת תוצאות. כמובן שהקק״ל לא ייחסה שום חשיבות למאמץ שלי, כולם היללו ושיבחו את העבודה עם צילומי האוויר ואמרו שזו שיטה עתידנית בניהול יערות ישראל. ההצגה של הפרופסור, הבנתי יותר מאוחר, הייתה על מנת לקבל עבודות מחקר רבות מהקק״ל, דבר שלא התגשם בגלל סיבות שונות. בסופו של דבר גם הבנתי למה לא קיבלתי אז נתונים מהמחקר של הפרופסור, פשוט לא היו לו כי הוא לא ידע לעבד את מה שהוא ראה בצילומים לנתונים יערניים.

על מנת לקדם במסגרת אגף היעור של הקק״ל את השימוש בצילומי אויר למטרות ממשק יער הוחלט כי תבוצע עבודה סקר קטנה לדוגמה, אשר במסגרתה אתרגל את מר יהודה רבס -יערן מוסמך מהפקולטה ליערנות בפירנצה-איטליה- בשימוש בסטראוסקופ. כאשר ביקשנו מימון למכשיר זה מאגף היעור, מר שרון ויץ מנהל האגף סרב לאשר תקציב לכך בטענה שמספיק מה שרואים בעיניים ואין זקוקים למכשור. לאחר תשובה שכזו פניתי מיוזמתי למר צבי רז מנהל המחלקה למיפוי וסקר של משרד החקלאות, ששכנה ברוחב יהודה הימית ביפו. הוא נתן את הסכמתו לביצוע העבודה במחלקתו והעמיד לרשותנו את המכשור הדרוש. העבודה סוכמה ופורסמה (שילר ורבס, 1974. סקר-יערות בשני אגני ניקוז, בעזרת צילומי אויר, עלון 48, המחלקה לפרסומים, מינהל המחקר החקלאי) אך הדגמה זו לא גרמה אז לשיפור ביכולותיו של אגף היעור של הקק״ל למשק את שטחי היער.

עבודת מחקר אחרת, שהתחלתי לעסוק בה, הייתה ״השפעת מבנה היער על המיקרו-אקלים שבתוכו והשפעת מיקרו-אקלים זה על האוכלוסייה הנופשת ביער״. בתחילת שנות השבעים היו חילוקי דעות גדולים מאוד במסגרות אגף הייעור של הקק״ל על דרכי הטיפול ביער המתבגר, כלומר, מה צריכה להיות עוצמת הדילול, וכיצד היער ישרת את דרישות הציבור לאזורי נופש. ההתנגדויות לדילול כללו גם טענה שאמרה ״מה יקרה אם יבוא התורם מחו״ל לחלקה שניטע בכספו ולא ימצא בה את כמות העצים אשר עבורם תרם?״. בתחילה לא ידעתי כיצד לגשת למחקר מסוג זה, אך דחיתי את רעיון לערוך מחקרים חברתיים בעזרת שאלונים לקהל הנופש ביער, כי בארץ הקולטת עלייה עדיין לא נוצרה אוכלוסייה אחידה, ובני עדות שונות יש להם בוודאי הסתכלות ורגשות שונים לגבי

מבנה היער, מיני הצומח, חלוקתו בשטח ועוד פרמטרים רבים אחרים. לאחר שמיעת הרצאה מאת פרופ׳ גִבעוני, מהתחנה לחקר הבנייה בטכניון בחיפה, על מחקר אשר בדק את תגובת גוף האדם לתנאים מיקרו-אקלימיים במבנים כדי לתכנן יותר טוב את האוורור בהם, הבנתי שיש בידי פתרון לבעיה כיצד לערוך את המחקר. החלטתי, בשיתוף עם דר׳ קרשון, מנהל המחלקה, לבצע את המחקר באמצעות מדידות מיקרו-אקלימיות ביערות בהם גדלים מינים שונים ובצפיפויות שונות. החלטתי שראשית כל אבחר יער מבוגר, אשר במבנהו מייצג את האופן שבו אני רואה בחזוני את המבנה הרצוי של יערות מחטניים במדינה שגילם מעבר ל-35 שנה. בחרתי ביער אורן ירושלים של המנזר בית ג׳ימל בשפלת יהודה, שהיה יער מבוגר יחסית ובו מגוון של עצי מחט ותת-יער של חרוב, אלונים, אלות, זית ועוד (מזכיר את מבנה היער הטבעי בכרמל). פעמיים בחודש ביצעתי בפאת-היער, בתוככי היער ובתוך החורש המקיף את היער, מדידות מיקרו-אקלימיות (טמ׳ אוויר יבש ולח, טמ׳ גוף שחור, לחות יחסית, קרינת שמש, רוח והתאדות). נתוני המדידות עובדו על-פי הנוסחאות שעוצבו על ידי פרופ׳ גבעוני. כמו כן התייעצתי גם עם הפרופ׳ עזרא זהר, רופא בבית החולים תל השומר, שעסק רבות בפיזיולוגיה של אנשים וחיילים האמורים לתפקד תחת מאמצים גדולים ובתנאים אקלימים שונים. הרצאתי על תוצאות עבודתי בכנס שנתי שנערך לשם הצגת תוצאות מחקרים שנעשו במימון הקק״ל. לאחר ההרצאה צעק עלי מנהל החבל באותם הימים ״כל התוצאות שלך אינן שוות שום דבר, מי הרשה לך לעבוד עם כספי מחקר שניתנו לך על ידי הקק״ל ביער בית ג׳ימל שהוא יער של הגויים״. הייתה זו דוגמה מאלפת נוספת מיני רבות להתייחסות של המנהלים הבכירים בקק״ל, שפעלו בתקופה שבין שנות ה-60 ועד שנות ה-90 המאוחרות למחקר ולחוקרים. כמובן, שהתגובה של מנהל חבל המרכז הייתה בלתי צפויה, אך התגברתי על כך והמשכתי במחקר, כפי שהבנתי שצריך לבצעו ובמקומות שבחרתי, בעיקר מפני שייצגו נאמנה את היער הנטוע ואת החורש הטבעי במצב התפתחותו בשנות השבעים.

בשנת 1973 ביקר בארץ הפרופ׳ אלפרד קורט מהפקולטה ליערנות בציריך, שהיה הפרופ׳ שלי לממשק יער. הפרופ׳ הרצה במשך שבוע קורס בסיסי כיצד לנהל את היער לאור הנתונים של מחלקת הסקר של אגף הייעור, נתבקשתי לתרגם את דבריו במשך אותו הקורס. שרון ויץ מנהל אגף היעור שלח אדם, שידיעתו גרמנית הייתה פחותה בהרבה מזו שלי, כדי לאמת את נכונות התרגום. עד כדי כך הגיעה חוסר האמון שהיה בהנהלת אגף היעור כלפי מי שלמד יערנות בגרמנית ״ולא לכלך את ידיו בשטח״; למרות הקורס, ממשק

היערות בארץ אז לא השתנה לטובה. בעת שהותו של פרופ׳ קורט בארץ התקיים יום עיון שבו היה נוכח על השפעת עוצמות דילול שונות ביער אורן ירושלים על המיקרו-אקלים בתוכו, ומכאן על הרגשת האדם. לאחר ההרצאה זכיתי לתגובה פומבית מפי מי שהתמנה זה עתה למנהל חבל תיכון באגף הייעור, שאמר: ״כל חתול יודע שבצל יותר טוב״. מבחינה עקרונית הדבר נכון, אלא שמנהלים בקק״ל דאז לא ידעו כלל כיצד לגרום לכך שהיער ינוהל באופן שיהיה בו מיקרו-אקלים מיטבי לנופש לא לחתולים ולא לבני אדם. מצד שני, הפרסומים המדעיים של עבודות המחקר בתחום זה זכו להכרה, וכאשר ביקר בארץ פרופ׳ אנדרסון מקנדה הוא ביקש, שכל העבודה בנושא תסוכם ותוגש בצורת הרצאה בכנס של IUFRO שיתקיים בקנדה בנושאי יער עירוני ונופש. דר׳ קרשון ואנוכי כתבנו את המאמר-הרצאה, ושלחנו לכנס כי לא נסענו אליו בעצמנו ומישהו הקריא את הרצאתנו.

עם גמר המחקר על נופש ביער החלטתי שאם כבר עסקתי בנושא שנוגע להשפעות המיקרו-אקלים ביער על איכות הנופש בקירבו , אבדוק גם את איכות היער מהבחינה האקוסטית. כלומר, מהי מידת ההשקטה (ההפחתה בעוצמת הרעש) הנוצרת על ידי יערות צפופים יותר ופחות, הנטועים במיני עצים שונים, מהי מידת ההפחתה שמייצר עץ בודד מפותח ממינים אחדים, אשר עשויים להיות נטועים בגינות ובפארקים. לשם המחקר יצרתי קשרים עם פרופ׳ שאודינישׂקי, ראש המחלקה לאקוסטיקה שימושית, התחנה לחקר הבנייה הטכניון בחיפה. קנינו את הציוד הדרוש, ביחד עם סטודנט-אסיסטנט של הפרופ׳ יצאנו לבצע את המדידות. יש לציין שנתקלתי בקשיים במנהל המחקר החקלאי בקבלת אישור לקניית הציוד האקוסטי: מכונת הקלטה, רמקולים כדוריים, מגברים ועוד כי במינהל לא הבינו כלל מה ליערנים ולציוד אקוסטי. תוצאות המחקר פורסמו בעיתון יערני גרמני, בעיתון מקצועי יערני בעברית בשם ״ליערן״ וגם ״בגן ונוף״.

בסוף שנת 1972 ״פרצה״ בעוצמה גדולה לתודעת הציבור, באמצעות התקשורת, ״הפרשה״ של יער ״שער הגיא״ שנישתל בין השנים 1926-1936 על ידי אגף היעור של ממשלת פלשתינה. התברר שהיער הזה נמצא בשלבי התנוונות/תמותה שונים שלא זוהו מוקדם יותר (כי אף אחד לא ניכנס ליער זה במשך 10 שנים, כי חסרו לחלוטין דרכים למעבר כלי רכב). היערנים בשטח וגם אקדמאים בתחומים השונים (ביולוגים, אקולוגים, אנשי קרקע, פיטופתולוגים, אנטומולוגים ועוד) היו אובדי עצות, כי באופן ראשוני לא נמצא גורם ברור וחד-משמעי שעשוי היה להוות את הסיבה להתנוונות, שהתבטאה בהתייבשות ענפי העצים מתחתית הנוף כלפי מעלה, ומקצות הענפים כלפי הגזע. היער לא היה צפוף במיוחד,

כך שאי אפשר היה ליחס את התייבשות הענפים בצורה המיוחדת למחסור באור בתת היער. דר׳ קרשון הטיל עליי לבצע בדיקות מקדימות ביער כדי לנסות ולמצוא סיבה לתופעת ההתנוונות. ראשית, פניתי ללמוד את ההיסטוריה של היער הזה ממסמכים שנמצאו בתיק היער של מחלקת היערות המנדטורית שבגנזך המדינה. בחנתי צילומי אוויר ישנים ומפות ישנות מלפני שנת 1948 ולאחריהם. כל הידע שאספתי סוכם במאמר בעיתון *״ליערן״*. שנית, הצמיחה של העץ מושפעת מגורמים אקולוגיים, שסך ההשפעה שלהם מתבטא בעובי הטבעת השנתית; בארץ גורם המים הוא בדרך כלל המשפיע ביותר. קדחתי בעזרת מקדח מיוחד כ-30 עצים, שלא נראו פגועים, וכ-30 עצים שנראו מאוד פגועים. מדידת התפתחות הטבעות השנתיות בקדחים גילה התאמה מאוד יפה בין עובי הטבעות לכמות הגשמים השנתית עד שנת 1962/3 ו/או שנת 1964/5, שבהן הייתה בצורת קשה ביותר באזור וירדו בו רק כ-250 מ״מ גשם לעומת מעל ל-500 מ״מ בממוצע רב שנתי. ממועד זה ההתאמה בין כמות הגשמים ועובי הטבעות השנתיות התפלג מאוד. בעצים אשר נראו כפגועים, עובי הטבעות השנתיות השתנה לעומת זה שבעצים שנראו כבלתי פגועים. התוצאות הוצגו בפני הוועדה שהוקמה על ידי מנהל המחקר החקלאי בראשות פרופ׳ אברהם פאהן ובשיתוף עם חוקרים נוספים מהאוניברסיטה העברית בירושלים. הראיתי את האיורים שכללו את תוצאות הבדיקה של מהלך הטבעות השנתיות והבעתי את דעתי שבַּצורות קשות עשויות לפגוע ולשנות את הצמיחה של העצים ולגרום לניוונם, אך דעתי לא התקבלה. היה ויכוח גדול בעיתונות על האפשרות שהיער נפגע מזיהום אוויר שנוצר בקניון שבו עובר הכביש לירושלים, אך לא נמצאו סימנים חד-משמעיים. הייתה השערה נוספת כי מאזני המים בשטח השתבשו כתוצאה מפיצוצים וחפירות לשם הרחבת הכביש. פרופ׳ ווילקוקס (פיטופתולוג מאוניברסיטת סירקוס בארה״ב) בדק את המיקוריזה (קשר סימביוטי של פטרייה עם העץ שאינו מזיק) שנמצאה *״תקינה״*. הוא מצא פטרייה שחורה ומזיק על המחטים והענפים. המזיק - כנימת המצוקוקוס (איצריית האורן) והיא הוכרזה על ידי הוועדה כגורם להתנוונות היער, למרות שלא היו לכך הוכחות מדעיות חד משמעיות. דר׳ יוסף הלפרין ז״ל, מדען בתחום האנטמולוגיה, התנגד מאוד לקביעה זו. בשנת 1975 ביקר בארץ פרופ׳ דה-פיליפס, פרופ׳ ידוע ליערנות מפירנצה באיטליה, ששלט בשפה העברית כי אשתו הייתה מישראל. הפרופ׳ הוזמן לבקר ביער כדי לחוות את דעתו. וכך, ביום שישי אחד נתבקשתי על ידי מר משה קולר, סגן מנהל אגף הייעור, ודר׳ קפלן מהקק״ל לבוא בשעות אחרי-הצהריים המוקדמות ליער ליד מושב שואבה, שבמעלה יער *״שער הגיא״*. לקחתי אִתי

את בני אלון (בן ארבע) שהי לו שערות מתולתלות ובלונדיניות לטיול הזה. אלון שמח מאוד והיה עליז ביער. הוא לקח מקל וטייל לאורך השביל ביער, הכה בסלעים ובאבנים והגדיר אותם על-פי הגודל. אחר זמן מה הוא הסתכל על העצים ואמר, "הם נראים עצובים כי חסר להם מים". פרופ' דה-פיליפיס שמע את מה שאמר אלון, ליטף את ראשו ואמר: "ילד, כנראה שאתה צודק". התחלתי במחקר כללי ביער "שער הגיא", שניטע בשטח בו התנאים האקולוגיים מגוונים מאוד, דבר שנובע מהמפנה של המדרונות, מהשיפוע שלהם, ומאופי השכבות הגיאולוגיות הרבות בשטח. ממצא מובהק ראשון במחקר זה היה, שלטיב המסלע (כגוף אוגר מים) ישנה השפעה רבה על התפתחות העצים. מחקר זה הורחב לאחר מכן ליערות ותיקים רבים בהרי-יהודה ובשפלה הפנימית. ממצא מובהק שני הוא כי ביער "שער הגיא" גדלים שני מופעים (פנוטיפים) של אורן ירושלים אם לא יותר, כאשר פנוטיפ אחד כמעט ואינו פגוע. ממצא זה תאם את התרשמותו של דר' קרשון בשנת 1949, עת סייר ביער זה לראשונה ורשם בפנקסו כי על פי אבחנתו ביער גדלים מספר פנוטיפים של אורן ירושלים.

בשנת 1980 פנה אליי מר איב אופל, סטודנט בבית הספר להנדסאים ב"אורט" כפר-סבא, שלמד הנדסאות כימיה. הוא ביקש לבצע עבודת הסמכה בנושא עצים וכימיה. בעקבות הידע שרכשתי בביקור של 10 ימים בארה"ב, במעבדה ליערנות של שירות הייעור האמריקאי בברקלי שבקליפורניה, שעליו אספר מאוחר יותר, הצעתי לסטודנט לבצע בדיקה של הרכב השרף שבתוך גזעי העצים. באותה עת הרכב השרף בעצי מחט הוכר כסמן גנטי מקובל, עבודות מחקר רבות בנושאים גנטיים בוצעו בעזרת אנליזה של שרף בגז כרומטוגרפיה. אספנו שרף מעצי אורן ירושלים, בריאים ופגועים, ביער "שער הגיא" ובקבוצת ביקורת, שהיו עצי אורן ירושלים מהמסרק שנחשבו "טבעיים". הבדיקות נעשו במעבדה לכימיה אורגנית של האוניברסיטה העברית בירושלים - גבעת רם, בראשות פרופ' איקן, התוצאות הוכיחו כי כל אחת מהקבוצות הנ"ל נבדלת באופן מובהק בהרכב השרף מהאחרות. המסקנה מכך הייתה, שביער גדלים עצים עם גנומים שונים, שחלקם נפגע וחלקם לא, מסקנה דומה למסקנה הקודמת של דר' קרשון שביער גדלים פנוטיפים שונים. בחיפוש נוסף שנעשה בתיקי אגף הייעור המנדטורי, אשר בגנזך המדינה, נמצאו בתיק על זרעים ומשתלות הזמנות והוראות תשלום עבור קנית זרעי אורן ירושלים מחברות זרעים בחו"ל. כלומר, לשם נטיעת היערות בארץ אגף ייעור ייבא זרעים באמצעות חברות זרעים ממקורות שונים סביב אגן הים-התיכון. ממצא זה היווה את הבסיס לשאלה: מהיכן יובאו הזרעים שמהם גודלו השתילים עבור נטיעת יער "שער הגיא" ויערות אחרים באותה

תקופה? השאלה הזו נשארה פתוחה עד שבוצעה עבודת המחקר על המבנה הגנטי של אורן ירושלים במעבדת שרות היעור האמריקאי אשר בברקלי קליפורניה, ועל כך בהמשך.

בשנת 1976 התחיל מחקר, בהשראת שני גופים יערניים: IUFRO וה-FAO והגוף המשותף שהקימו ששמו Silva méditerranéene, על הבדלים בהתפתחות נבטים, שתילים וחלקות יער, שנשתלו ממקורות זרעים שונים ממרחבי התפוצה הגיאוגרפית של מחטניים ים-תיכוניים ובהם אורן ירושלים, אורן ברוטיה, אורן ימי, ארזים ואשוחים. נאספו זרעים, בדרך כלל מיערות טבעיים ממרחבי התפוצה הגיאוגרפית של כל מין. ומתוך האוסף הזה הועברו זרעים מהמקורות השונים לידי מי שרצה להשתתף במחקר. המחלקה לחקר היער של מְנהל המחקר החקלאי ב"אילנות" רצתה וקיבלה בשנת 1974 משלוח גדול מאוד שכלל זרעים ממקורות רבים של אורן ירושלים ואורן ברוטיה, בכמות מספקת מכל מקור, כדי לגדל שתילים עבור חלקות בהם תיבדק התפתחותם. חלק מהזרעים נשמר למקרה שמשהו ישתבש. בשנת 1976/7 נשתלו שלוש חלקות באזורים שונים בארץ, והקק"ל הסכימה להקצות למחקר שטחים לנטיעת החלקות. התברר שאלו היו שטחים עלובים ובלתי מתאימים להיות חלקת ניסיון. בקק"ל דגלו אז ברעיון כי חלקת ניסיון חייבת לייצג את התנאים של השטחים המיועדים, לכן הקצו את השטחים הגרועים ביותר שבידם, גם אם מטרת הניסוי הייתה השוואה בין מקורות הזרעים. לאור מבחר השטחים הגרוע שקק"ל הציעה ביקשתי וקיבלתי רשות מ"קרן יד הנדיב" לטעת חלקה אחת בשטחי רמת הנדיב. כעבור שלוש-ארבע שנים, כאשר העצים בחלקה גדלו ואִפשרו קטיף של חומר צמחי לשם ביצוע בדיקות שונות, התחילו להצטבר תוצאות על ההבדלים בין ובתוך מקורות הזרעים (Provenances) של אורן ירושלים ואורן ברוטיה בפרמטרים מורפולוגיים, בקצב הצמיחה, בתגובה למתח המים בקרקע ועוד. הבדלים נמצאו בהרכב השרף ששימש כסמן גנטי, וב"עמידות לכנימת המצוקוקוס". ד"ר צבי מנדל (אנטומולוג) מצא כי מקורות הזרעים השונים, הנטועים בשלושת החלקות הגדלות בתנאים אקולוגיים שונים, נפגעים ברמות שונות לחלוטין בכל אחת מהחלקות. כלומר, לתנאי בית הגידול ישנה השפעה רבה על "מידת הנגיעות" של כל מקור זרעים (Mendel, 1980). המחקר הראה כי עצים שמקורם בחצי האי הבלקני (יוון) נפגעים במידה הפחותה ביותר על ידי הכנימה הנ"ל, אורן ברוטיה כלל אינו ניפגע. בעקבות תוצאות הביניים של המחקרים ביער "שער הגיא" בוצע מחקר נוסף על הבדלים בתכונות מורפולוגיים ופיזיולוגיים שונות בזרעים ושתילים צאצאי אוכלוסיות

טבעיות ושרידיות של אורן ירושלים בארץ. תוצאות המחקרים סוכמו בסדרת מאמרים הוכיחו כי קיימים הבדלים מובהקים בתכונות שונות בין האוכלוסיות השרידיות בארץ. הוקמה ועדה לשם בחינה של כל שרידי היערות של אורן ירושלים בישראל שנחשבו כאוכלוסיות טבעיות ושל יערות אחדים שנשתלו בעת המנדט הבריטי, כדי לסמן בהם "עצי עילית"= "עצי אם לזרעים" לשם איסוף זרעים אשר ישמשו למחקרים שונים ולשם הקמת חלקות "מטעי אם" לזרעים באזורים שונים בארץ. ועדה זו כללה את הפרופסורים: גדעון אורשן, אברהם פאהן, דני זהרי, ואת אנשי אגף הייעור: משה קולר, ד"ר ירח קפלן, יהודה רבס ויעקב גולן. מהמחלקה לחקר היער ב"אילנות" השתתפו ד"ר קרשון, ד"ר גרינוולד ואנוכי. הוועדה קבעה סמנים מורפולוגיים ברורים ומוגדרים לבחירת העצים, מהם אפשר יהיה לאסוף חומר ריבוי (עצי אם לזרעים). במשך חודשים מספר ועדה זו סיירה ביערות וסומנו העצים המתאימים. מעצים אלו נאספו אצטרובלים מהם הופקו זרעים. נעשו גם ניסיונות מרובים ב"אילנות" וגם על ידי אגף הייעור של הקק"ל, לרבות עצים אלו בעזרת השרשה או הרכבות. ההצלחה הייתה מִזערית מאוד, ולא אִפשרה פעילות אפקטיבית בקנה-מידה רחב. כלומר, ייצור שתילים בכמות הדרושה להקמת "מטעי אם" לזרעים לשם השבחה.

בשנת 1980, עם יסוד "הקרן הדו-לאומית אמריקה-ישראל למחקר חקלאי" (BARD) הגשנו, ד"ר קרשון, ד"ר גרינוולד ואנוכי, יחד עם החוקרים האמריקאים פרופ' קריצ'פילד, פרופ' לדיג, וד"ר קונקל מהמכון למחקר גנטי באוכלוסיות עצי יער של שירות הייעור האמריקאי בברקלי, קליפורניה, תכנית למחקר גנטי בשיטות מתקדמות, שהיו בשימוש באותן שנים. שירות הייעור האמריקאי היה מאוד מעוניין במחקר זה כדי לברור את מקורות הזרעים אשר עשויים להתאים לנטיעה באזורים יובשניים מאוד בארה"ב. המחקר נִדחה והסיבה שנמסרה לנו על ידי מר יאיר גוראון ז"ל, מנהל הקרן דאז, הייתה כי הגשנו תכנית זולה מאוד על סך -$13.500. הוא אמר לנו שבמידה שאנחנו רוצים שמחקר זה ייעשה, שנקיים אותו על חשבון שבתון. ואכן, בשנת 1982 ד"ר גרינוולד ואנוכי נסענו לארבע חודשים לבצע את עבודות המעבדה הדרושות בברקלי, כאשר כל הוצאות המעבדה נתרמו על ידי שירות היעור האמריקאי. התוצאות של המחקר היוו כר נרחב לכתיבת שלושה מאמרים, אשר היוו בסיכומו של דבר את אבן הראשה בהבנת ההבדלים בשונות הגנטית שבין אוכלוסיות (מקורות זרעים, אקוטיפים) של המינים שנבדקו על פני מרחבי תפוצתם הגיאוגרפית. הפִרסום של התוצאות היה בשנת 1986, ומאז ועד היום המאמרים שנכתבים

בנושאים הקשורים בשונות הגנטית באוכלוסיות של אורן ירושלים וברוטיה מצטטים את המאמרים שכתבנו מפני שהיוו פריצת דרך באופן ההסתכלות על מין מסוים על פני כל אזור תפוצתו הגיאוגרפי ולא הסתפק רק בהבנה של מקורות בודדים באזור מצומצם. הוכחה לחשיבות הנושא קיבלתי, בשני אופנים: האחד, מיד עם חזרתי מברקלי הוזמנתי על ידי פרופ׳ דניאל זהרי ופרופ׳ פאהן להרצות על ממצאי המחקר בפני פורום אקדמי שכלל את מרבית הפרופסורים ושאר הצוות במחלקות שעסקו במדעי הצמח באוניברסיטה העברית בירושלים (בוטניקה, אקולוגיה, גנטיקה, פיזיולוגיה ועוד). הוזמנתי לשאת את אותה הרצאה גם במסגרת הפקולטה למדעי הצמח שבאוניברסיטת תל אביב. ובאופן שני שהיה אקראי לחלוטין, בשנת 1986 בכנס על גנטיקה של אוכלוסיות עצי יער שהתקיים בעיר אורוויאטו שבאיטליה. נקבע ״שכולם נפגשים״ בשעה 09:00 לפני הקתדראלה העתיקה והמפורסמת של העיר. כמובן שהגעתי בזמן, אך שום נפש חיה נוספת לא הופיעה. חיכיתי זמן רב עד שהופיעה גברת ושאלה אותי אם אני באתי לכנס. עניתי שכן, ושאני בטוח כי זו נקודת המפגש, למרות שחוץ ממנה אף אחד לא בא לעת הזו. לאחר שהכרנו, הגב׳ שאלה אותי אם אני ד״ר שילר מישראל שכתב את המאמר המסוים. הודיתי בעובדה זו, היא חילקה לי שבחים רבים. אך גם לפני כן, בכנס העולמי למחקר יערני שנערך בעיר לובליאנה-יוגוסלביה בשנת 1985, הצגתי ״פוסטר״ שכלל את תוצאות המחקר הנ״ל. בשעות שיועדו לעיון בפוסטרים עברו רבים ועיינו בו זמן רב. לכנס הגיעו גם שני צעירים יחד עם פרופ׳ מבוגר, איטלקים, שדיברו בנושא הפוסטר בינם לבין עצמם. אני הייתי עסוק בשיחה עם חוקר אחר שביקש הסברים. שמעתי מאחורי גבי את מה שאמר אחד הצעירים: ״איך לעזאזל החוקר הזה יודע מה קורה עם הגנטיקה של אוכלוסיות אורן ירושלים באיטליה?״. לבסוף הסתובבתי אל שלושת האיטלקים, אחד מהם היה פרופ׳ גיאניני ושני הצעירים היו ד״ר וונדרמין וד״ר מיכאלוצ׳י מהאקדמיה הלאומית האיטלקית הסקציה ליערנות בפירנצה. מאז אנחנו חברים טובים. אפשר לסכם כי תוצאות המחקר על השונות הגנטית בין ובתוך אוכלוסיות של אורן ירושלים ואורן ברוטיה האירו את ההבדלים הגנטיים בין אוכלוסיות שרידיות אוטוכטוניות של אורן ירושלים בארץ, בינם לבין אוכלוסיות במרחבים הסובבים את הים התיכון. הם פָּענחו את מוצא הזרעים שנִקנו בחו״ל ששימשו לנטיעת היערות בתקופת המנדט ועם קום המדינה. המחקר אכן הוכיח כי יער ״שער הגיא״ ויערות אחרים נשתלו בזמנו בשתילים שגודלו ממקורות זרעים רבים ושונים, שרובם לא היו מקומיים, אלא מאזורי אקלים במערב הים-התיכון, ממערב אירופה או מצפון אפריקה וגם

מחצי האי הבלקני. כמו כן הוכח כי גם ביערות צעירים יותר, שנשתלו בשנות הייעור הגדול (שנות החמישים-שישים ותחילת השבעים) קיימים סמנים גנטיים המצביעים על כך שמקור הזרעים כמעט ואיננו מאוכלוסיות טבעיות בישראל. הזרעים נאספו קרוב לוודאי ביערות שנשתלו בעת המנדט, המכילים גנומים רבים ממקורות שמחוץ לישראל. מכאן ברור כי התנוונות עצים רבים ביער "שער הגיא" ומאוחר יותר ביערות רבים אחרים היא ראשית כול תוצאה של חוסר התאמה בין הגנום של העצים לתנאי בית הגידול שבהם הם נטועים. ההתנוונות קשה במיוחד לאחר שהעצים עוברים את שיא קצב התפתחותם, מאבדים מחיוניותם ונחשפים לפגעים רבים (כפי שהדבר בא לידי ביטוי באנשים מבוגרים) דוגמת שנות בצורת או התיישבות רבה של איצרית האורן, שמכונה מצוקוקוס (josephi Matsucocus), עליהם. כלומר, כנימה זו היא מזיק משני בעצים בוגרים. המחקר הראה כי הגנוטיפ מחצי האי הבלקני הוא העמיד ביותר ומתפתח טוב גם בתנאים היובשניים שבארץ. לימים התברר, ממחקרים שבוצעו במדינות ים-תיכוניות רבות, כי גם שם הגנוטיפ היווני הוא המוצלח ביותר.

בשנת 1983 הוחלט להביא את כלל הידע המדעי שנצבר מהמחקרים השונים שבוצעו מאז שהתגלה המשבר ביער "שער הגיא" בשנת 1973, בפני ראשי אגף הייעור של הקק"ל ביום עיון שאורגן למטרה זו. בעקבות יום העיון הוחלט באגף הייעור של הקק"ל לייבא הפעם זרעים איכותיים ממקורות ביוון. לשם כך הקק"ל הגיעה להסכם עם רשות היערות ביוון, ומימנה נסיעה שלי ושל מר גולן מאגף הייעור לשם איסוף זרעים מעצים נבחרים בשלושה אזורים שונים ביוון לשם צירופם ל"מטעי אם" לזרעים שיספקו בעתיד את תצרוכת הזרעים הדרושה. מכיוון שבאנו ליוון שלא בעונה המקובלת לקטיף האצטרובלים מעצים נבחרים, לא עמד לרשותנו ציוד מכאני לשם טיפוס על העצים הישרים כסרגל, שלהם ענפים דקים, דבר המקשה על הטיפוס. עברנו סידרה של קשיים אשר נפתרו לבסוף באישור מיוחד של השר לענייני יערות שאפשר כריתה של 15 עצי אם לזרעים מסומנים על ידי אגף הזרעים של היערנות היונית בכל אחד משלוש יערות שונים ביוון. הקשיים שעברנו הראו לנו עד כמה קשה האיסוף ללא ציוד טיפוס מתאים וציוד מכאני משוכלל, שבוודאי לא היה נחלת הדורות הקודמים של אוספי חומר ריבוי ביערות בחו"ל ובארץ. מכאן הבנו שבעבר הזרעים נאספו רק מעצים שאפשר היה לטפס עליהם, כלומר, עצים שאינם עונים לקריטריונים של "עצי עילית", ומכאן האיכות הירודה ביותר של העצים הגדלים ביערות הארץ. אספנו אצטרובלים מאותם 45 עצי זרעים שאושרו לנו. הזמן היה שיאו של הקיץ,

פרשׂנו לארבעה ימים לבית מלון נחמד על שפת הים, החרמנו חצי משטח מגרש החנייה, פרשׂנו שם את השקים ובתוכם האצטרובלים כדי שיתייבשו בחום של השמש הקופחת, ובינתיים בילינו בים. לאחר ארבעה ימים האצטרובלים נפתחו במידה שאִפשרה הפקה של הזרעים, מכל עץ הפקנו זרעים מהאצטרובלים הגדולים, ניקינו את הזרעים מהכנפיים שלהם, הם נארזו בקפדנות והובאו איתנו לארץ. חלק מזרעים אלו ומהזרעים שנאספו מעצי עִלית ביערות בארץ נזרעו, גודלו שתילים, נשתלו חמש חלקות (מטעי אם לזרעים) לאורך המדינה על מנת שבכל אזור ביו-אקלימי תהיה חלקה אשר בה תתקיים הפריה הדדית בין העצים בהשפעת תנאי האזור והזרעים שייאספו ישמשו לשם ייעור באותו אזור. שוב נִתקלתי בהתנגדות רבה במיוחד של המנהלים בשטח. "מטעי האם לזרעים" היו חייבים להינטע במקומות מבודדים או מרוחקים לפחות כדי אלף עד אלפיים מטר מכל יער אורנים קרוב, כדי שלא ייווצר זיהום גנטי (הכלאות בלתי רצויות). למרות הסברי למנהלי השטח, הם הקצו חלקות במקומות בלתי אפשריים. לדוגמה: באותה עת נטעו יער ליד העיר הקטנה כרמיאל והקצו לנו את השטח הגרוע ביותר. סירבתי לטעת בו בטענה כי העיר תִגדל, ובמהרה השטח יהיה כלול בתחום העיר וייפגע על ידי התושבים. ואכן, היום החלקה היא הגן האחורי של עיריית כרמיאל החדשה. היא ניצלה מכריתה ולא הפכה למגרש חנייה מפני שקודשה לזכר חייל שנפל בפעילות צבאית. יש לציין שהעצים בחלקה זו הם היפים והטובים ביותר שיש ביערות הקק"ל בכל רחבי ישראל. חלקה נוספת נִטעה בנחל תות בתנאי בית גידול גרוע במיוחד. החלקה נפגעה קשה משרפה שפרצה בה כתוצאה מבישול קפה על ידי הפועלים שעסקו בבנייה ובשיפוץ כביש נחל תות (ואדי מילק). חלקות נוספות נשתלו: האחת, בעמק קטן על כביש בית שמש-פלוגות ליד הפנייה מהכביש ליישוב נחושה, השנייה בעמק קטן בין היישובים אמציה ושקף, והחמישית ביער יתיר. החלקה ביער יתיר סבלה מחבלות רבות על ידי הבדווים שהתנחלו בשטחים שמסביב ליער. הם גנבו את הגדר של החלקה ואִפשרו לעדרים להיכנס לחלקה, לנגוס בכל פה ולהשחית כל צמח רענן. במשך 10 השנים הראשונות לאחר נטיעת החלקות נעשו בהם מדידות התפתחות של הגובה והקוטר. לאחר 10 שנים של גדילה ותוך העזרות בטבלאות יבול ונפח עבור אורן ירושלים בישראל, ביצעתי הערכות על ההתפתחות העתידית של העצים, מכל מקור זרעים שהוא, בכל חלקה מחמשת החלקות. תוצאות החישובים הנ"ל נִשלחו למנהל אגף הייעור דאז, פיזיולוג בהכשרתו, שהיה בעבר המנהל של המחלקה לירקות במינהל המחקר החקלאי ואחד ממיסדי חברת חיש-שתיל. הוא הובא לאגף היעור של הקק"ל ע"י חברו מנהל מינהל פיתוח

הקרקע בקק״ל. כעבור שבועים קיבלתי את כל החבילה בחזרה עם מכתב נלווה שאמר כי הוא (מנהל אגף הייעור) כלל אינו מבין במה העניין ומהם טבלאות יבול ונפח ועוד. בנטיעת מטעי האם לזרעים בשנת 1985/6 הסתיימה הפעילות המחקרית שהתפתחה מהניסיון להסביר את ההתמוטטות החלקית של יער ״שער הגיא״ בראשית שנות השבעים.

בשנת-1987 החלטתי לנצל את זכותי לשנת שבתון, על מנת להתאוור מאטימות הלב, חוסר ההבנה למטרות המחקר, אפשרויות הביצוע, תועלתו ועוד, וגם מהרישעות של בודדים ומוסדות ביחסם למחקר היערני כפי שחוויתי בכל הנושאים הקשורים בקידומי האישי בסולם האקדמי. יצאתי איפה אל התחנה למחקר יערני של ממשלת שוויץ שליד צירידְ, שם השתתפי במחקר בנושא השפעת יובש ואוזון על הפוטוסינטזה באשוחית ובאורן ירושלים-אשר העברתי מישראל לשוויץ. לצערי שתילי אורן ירושלים לא נקלטו בחממה שהועמדה לרשותי, ונשארתי רק עם האשוחית. כאשר חזרתי משוויץ בסוף דצמבר 1987 חיכו לי במשרדי 150 בקשות לתדפיסים של מאמרי על השונות הגנטית באורן ירושלים בכל אזור תפוצתו סביב אגן הים-התיכון

בתחילת שנות התשעים הגיע לארץ לשנת שבתון פרופ׳ ברוק מאוניברסיטת צפון-קרולינה, שהיה פרופ׳ ליערנות עם התמחות בפיטופטולוגיה. את השבתון הוא עשה במעבדה של דר׳ צבי סולל במרכז וולקני בבית דגן. פרופ׳ ברוק ביקר ביערות והזדעזע ממצבם הירוד ומחוסר טיפול נאות (דילול נכון), הוא כתב את דעתו על מה שדרוש לעשות כדי לשפר את המצב. כמו כן הגשנו ביחד תכנית להשבחת מיני עצי מחט בארץ לאור הידע הגנטי שהצטבר. מובן ששום דבר מכל מה שנאמר ונכתב לא התבצע למרות ההבטחות מפורשות של מנהל אגף היעור. [פרופ׳ ברוק התמנה לאחר מכן ליועצו של הנשיא קלינטון לענייני איכות הסביבה].

התובנות שרכשתי מהמחקרים על אורן ירושלים גרמו לי לשאול את עצמי אם אכן קיים כזה אי-סדר בטיפול בחומר ריבוי של מין שהוא גם טבעי בארץ, אז מה קרה וקורה עם מינים אחרים שהובאו (אוקלמו) מחו״ל למטרות ייעור הארץ, דוגמת אורן ברוטיה, אורן קנרי, אורן הצנובר וברוש מצויִ כי כל מי ששם לב יכול לראות הבדלים ניכרים מאוד בפנוטיפיות של העצים בתוך ובין היערות שניטעו בשנים שונות. היה ברור שזרעים של מינים אלו יובאו בעזרת השירותים של חברות זרעים ומוצאם אינו ידוע. לכן רציתי ללמוד על המיגוון הגנטי במינים אלו הנטועים ביערות בארץ לעומת המיגוון ביערות שונים בתחום תפוצתם הטבעי בחו״ל. רציתי לנסות לברור את העומדים בארץ בהם קיים מיגוון גנטי

גבוהה, אשר מהווה בסיס טוב לברירה על ידי התנאים האקולוגיים בכל בית גידול- ולנסות ולשייך עומדים אלו לאזורים גיאוגרפיים בתחום אזור התפוצה הטבעי (האריאל) של המין. רציתי לגרום לכך שיוקמו "מטעי אם" לזרעים מעצי עֵלית אשר יעברו ברירה, תיעשה בהם הפריה שתושפע מתנאי הסביבה השוררים בחבלי הארץ השונים והזרעים ישמשו עבור נטיעות עתידיות. עבור המחקר על הברוש המצוי זכיתי לקבל זרעים מעומדים אוטוכטוניים (טבעיים) בכרתים, יוון, טורקיה, ירדן, קפריסין והאיים רודוס וסמוס וגם מאירן. כמובן שאספתי חומר גנטי ביערות שניטעו ראשונים בארץ (שער הגיא, יער ואדי קוף, יער משמר העמק, בן-שמן, קריית ענבים, חולדה, ראש- פינה, כפר תבור, תחנות רכבת שניבנו בזמן המנדט ועוד, ומעצים בודדים דוגמת העצים בסיני, עצים בהר הבית ועצים בכפר גלעדי (ברושי הברון), ועוד. עבור המחקר על האורן הקנרי נסעתי ואספתי זרעים באיים הקנריים בשיתוף פעולה עם פרופ' חייל מהאוניברסיטה הטכנית במדריד ואגף הייעור של הממשל האוטונומי באיים. ושוב, גם כאן חזרה על עצמה ההיסטוריה של חוסר רצון טוב בשיתוף פעולה ברמה האדמיניסטרטיבית וברמת השטח באיסוף חומר גנטי מעצים מבוגרים ביערות בארץ מצד אחד ותַקצוב המחקר, שנעשה עבור אגף היעור של הקק"ל, מצד שני, שניתן כרגיל ברמה מגוחכת וגרם לקשיים רבים במחקר. גם אופן הקצאת שטחים לחלקות ניסיון שונות לא השתנה, על כן החלקות נטעו בתנאים גרועים של מיקום, קרקעות, צורת השטח ועוד. התוצאה הייתה ששום מחקר לא הושלם כפי שתוכנן על מנת שיוכל לשרת את היערנות הישראלית, אך תוצאות המחקרים פורסמו במיטב העיתונים המדעיים שעסקו בגנטיקה של אוכלוסיות עצי יער. הפירסומים המדעיים הביאו בעקבותם הזמנה להשתתף במחקר כלל ים-תיכוני, שמומן על ידי הקהיליה האירופאית, בנושא "השפעת שינויי אקלים גלובליים על מיני מחטניים הגדלים באזור אגן הים-התיכון: אורן ירושלים, אורן ברוטיה, אורן פינסטר (ימי), ארז הלבנון וארז אטלנטי". לכל קבוצת מחקר שהשתתפה במחקר הוקצה סכום כסף בהתאם לצורכי המחקר הספציפיים, אך שוב, מינהל המחקר החקלאי שם את ידו על הכסף, והכריח אותי ללא בושה לחתום על מסמך המאפשר להם גבייה של תקורה הגבוהה פי שניים ויותר (30%~) מהתקורה המותרת על-פי חוזה המחקר, בכך צימצמה כדי 20% את רמת המימון ומכאן את יכולת הביצוע של מטלות המחקר. יער יתיר, שרובו נטוע באורן ירושלים, עמד במרכז המחקר שבדק השתנות בין-דורית בשונות הגנטית כתוצאה מהשפעת תנאי הסביבה, התנהלות פיזיולוגית של העצים ממקורות זרעים שונים, ועוד. תוצאות המחקרים פורסמו בעיתונות מקצועית.

כתוצאה מהלחץ הציבורי שגובש על ידי הגופים הירוקים, אגף הייעור של הקק״ל החל לטעת מינים רחבי עלים בעיקר אלונים בשטחים נרחבים אך ללא הצלחה יתרה, עקב חוסר ידע בתחומים רבים ושונים. החלטתי, עם סיום המחקרים על המיגוון הגנטי במיני עצי מחט נטועים בארץ, לבדוק גם את המיגוון הגנטי במיני האלונים הגדלים בארץ, כי הם מינים המהווים את עמוד השידרה של החורש/יער רחב עלים בארץ. מחוץ לידע בוטני כללי על התפוצה, בתי גידול, חברות צומח של מיני האלונים, וידע על שונות פנוטיפית בקרב כל מין ומין לא היה שום ידע על הבדלים גנטיים בין חבלי ארץ שונים, בין בתי גידול ובתוכם, ועוד. הצעות מחקר שהוגשו להנהלת ענף היער, גוף שנשלט על ידי אגף הייעור של הקק״ל, נידחו ולא לזכו למימון כי לא נחשבו כחשובים. תוכניות מחקר אלו הוגשו לקרן מאוד נכבדה וידועה בארץ ולאחר שיפוט מדעי שנעשה בחו״ל, זכיתי למימון שאיפשר לי את ביצוע המחקרים על המיגוון הגנטי במיני אלונים הגדלים בארץ, תוך שידרוג שיטות המחקר בעזרת ציוד חדיש . תוצאות המחקרים פורסמו בעיתונות מדעית בחו״ל ובארץ, אך כרגיל הם לא זכו להתענינות מאת היערנים אשר ממשיכים לאסוף בלוטים לשם גידול שתילים לנטיעה מכל הבא ליד מתוך חישובי נוחות וללא מחשבה נוספת על איכות חומר הריבוי ואיכות הצאצאים..

מאז אירועי יער ״שער הגיא״ שמהם למדתי כי למאזני המים בבית הגידול יש השפעה עצומה על התפתחות היער, רציתי להפנות תשומת לב גם לנושא של יער ומים. הדבר התאפשר בעקבות שיפור שיטת פולס החום (Heat pulse velocity technique) שנעשה במחלקה להשקיה ומטאורולוגיה חקלאית במנהל המחקר החקלאי בשנות השמונים. השיטה מאפשרת למדוד את מהירות מעבר גל חום הנישא בזרם המים העולה בעצת הגזע בעומקים שונים, דבר המאפשר להבין את התפלגות מהירות הזרימה עם העומק מתחת לקליפה. השימוש בשיטה זו מאפשר מדידה דיקנית של מהירות זרימת המים בעצה. כלומר, השיטה מאפשרת לחשב את כמות המים שעוברת בגזע של העץ מִדי שעה במשך היממה, שהיא ביטוי לרמת הדיות (טרנספירציה). השיטה פותחה כדי לאפשר קביעת המועד וכמות השקיה הדרושה במטעי עצי פרי. בדקתי את האפשרות של שימוש בשיטה זו גם בעצי יער מחטניים, שבעצתם יש שרף מרובה, ואכן השיטה פעלה. כך נפתחה הדרך לחקור ולבדוק את צריכת המים (כמות הדיות) של עצי יער שונים בנקודות זמן שונות במשך השנה ההידרולוגית. ושוב, הנהלת ענף היער לא התרשמה כלל מהצעות המחקר בנושא של חקר כמות הדיות של עצי יער לשם תכנון מִמשק יערני אשר מתחשב במאזני מים. המימון

שזכיתי לקבל למחקרים השונים בתחום זה היו מִזעריים. ושוב אותה קרן מסוימת וידועה התרשמה מהצעות המחקר, אשר גם הפעם נבדקו על ידי מדענים בחו״ל, ומימנה את המחקר כולל רכישת הציוד הדרוש ואת תחזוקתו. גם חוקרים מהמחלקה להשקיה ומטאורולוגיה חקלאית (פרופ׳ ג׳רי סטנהיל, ד״ר יחזקאל כהן, ד״ר שבתאי כהן, ד״ר מרסל פוקס וד״ר שמואל מורשת), התעניינו בנעשה ביער מבחינת משק המים, ועמדו לצִדי בתמיכה לוגיסטית ובמתן ייעוץ במשך כל שנות המחקר בתחום זה אשר השתרעה על פני כ-14 שנה. השתמשתי בשיטה פולס החום על מנת לחקור את כמויות המים שאורן ירושלים, ברוש מצוי, אלון מצוי, אלון התבור, בר-זית בינוני ואקליפטוס המקור מדיתים בכל שעה לאורך היממה והשנה ביחס לכמות הגשמים או זמינות המים בקרקע באזורים שונים בארץ. תוצאות המחקרים פורסמו בעיתונות מקצועית בין-לאומית, והעניקו לי הזמנות לכנסים מדעיים בחו״ל. מחקר על הדיות של אורן ירושלים ביער יתיר, שנעשה בעת היותי בגימלאות, כהשלמה למחקר שנוהל על ידי פרופ׳ דן יקיר ממכון ויצמן, מאפשר להסיק מסקנות עבור ממשק יער באזורים מיעוטי גשמים בארץ.

המגמה העולמית של ״מלחמה במידבור״ הגיעה גם לישראל והקק״ל רצתה להראות שהיא שותפה לדאגה העולמית בנושא זה. ״סוניזציה״ הוא השם למכלול של פעילות מחקרית ומעשית להבנת הדינמיקה של תהליכים אקולוגים במרחבי הנגב הקשורים למאזני מים, צמחיה טבעית, רעיה, סחף, הצלחה בתפתחות נטיעות עצים ועוד, כדי לעצור את התפשטות המידבר בעזרת ממשק מתאים מבחינה אקולוגית של השטחים. ההתענינות והפעילות הרבה בקק״ל וגודל המשאבים שהושקעו בפעילות מחקרית ומעשית במסגרת פרויקט זה גרמו לירידה גדולה בתשומת הלב של הנהלת ענף היער לבעיות הרבות והקשות שהתפתחו ביער הנטוע והטיבעי שעיקרו בחבל הים תיכוני במדינה, ולירידה בטיפול המעשי בבעיות אלו על ידי אגף היעור. הקק״ל ביחד עם שרות היעור האמריקאי הצליחו למסד קונסורציום בין לאומי תחת השם "International Arid-Lands Consortium", שמומן ישירות על ידי הקונגרס האמריקאי, במטרה לתמוך במחקרים בנושאים המשיקים לרעיון המרכזי של ״מלחמה במידבור״ בעזרת ממשק על בסיס אקולוגי של השטחים הפתוחים. באותה עת כבר סיימתי את המחקר על הדיות של אורן ירושלים ובר-זית בינוני בכרמל תוך שימוש בשיטת פולס החום. הגשתי לקונסורציום זה הצעת מחקר תחת הכותרת ״ השוואות אקו-פיסיולוגיות והתאמת מינים לנטיעה בתנאי משק מים שונים באזורים ארידיים״. במסגרת זו בדקתי, תוך שימוש בשיטת פולס החום, את המהלך היומי של הדיות במשך

השנה של אורן ירושלים ביער יתיר ובפלוגות כדי שהידע ישמש בסיס לממשק היער. באופן דומה בדקתי את מהלך הדיות היומית במשך השנה ההידרולוגית של עצי אקליפטוס שניטעו בלימן טללים שליד שדה בוקר. לימן זה הממוקם באזור סלעי אשר העצים בו לא התיבשו דוגמת העצים בלימנים באזורי הלס הצפוניים יותר בנגב. בדיקה זו נעשתה כדי לאשש או לסתור את ההנחות של פרופ׳ אהרון יאיר מהאוניברסיטה העברית בירושלים בדבר האפשרות לטעת עצים במקום המפגש שבין המדרון וערוץ הואדי באזורים סלעיים. במסגרת המחקר ניטעו חלקות נסיון ומעקב במסגרת פארק סיירת שקד ובגבעות להב שממיזרח לישוב להבים. בחלקות שהוקמו באופן שיווצרו ביניהם הבדלים במאזני המים, נטעו מינים שונים שהיו בשימוש על ידי אגף היעור בנטיעות בחבל דרום. למרות ההשקעה הכספית האדירה והאנרגיה האנושית הרבה מאוד שהושקעה בפרויקט זה, לא התאפשר בסיכומו של דבר ללמוד על השרידות של המינים השונים בתנאים האקולוגיים השונים. זאת היות וחלק גדול של החלקות הושמד על ידי הבדואים שגנבו את הגדרות ושילחו את עדריהם לרעות בנטיעות (המלחמה הקדמונית בין קין והבל, בין האיכר לרועה, בין המזרע והישימון). גם מדידות הדיות שנעשו במשך השנים ביער יתיר סבלו קשה מחבלות והרס ציוד המחקר ואחר על ידי הבדואים.

חוסר ההתיחסות של מינהל המחקר החקלאי ואגף היעור של הקק״ל כלפי המחקר היערני בא לידי ביטוי לא רק במיעוט הקצאת מקורות למחקר, במיעוט עזרה בפיתרון בעיות הקשורות לעבודה בכל ימות השנה ביערות ובחורשים בתנאי שטח וטופוגרפיה קשים, בנזקים הקשים לציוד ולחלקות מחקר הן על ידי עובדי הקק״ל והן על ידי הקהל הישראלי המשוטט ביערות. כל זה גרם לפגיעה קשה באפשרויות של סיכום חיובי של מחקרים ופירסום תוצאות המחקר כנדרש, דבר שגרר בעיקבותיו פגיעה גם ״בהערכת החוקרים״ וקידומם בסולם הדרגות האקדמי. בנוסף, פרקי הזמן שחלפו עד לקידום הבא היו תלויים מאוד גם ברצון הטוב של מנהלי המכון, הועדה הפרופסיונאלית ועוד, שטענו כי ״התיק אינו בשל להגשה״ ויש להוסיף מאמרים, שהם כמובן סיכומים של מחקרים שכפי שכבר הסברתי היה קשה מאוד לבצע בשטחי היערות בארץ. כל הועדות העוסקות במחקר היערני ואו בקידום חוקרים היו מאוישות תמיד על ידי אנשי מדע מדיסציפלינות שונות אך מעולם לא היה נציג מהמחקר היערני ״ודי לחכימה ברמיזה״. הדיון בועדות אלו נימשך ונימשך. אך כאשר הגעתי לבסוף לדרגה שמימנה כל קידום היה בידי הועדה הממשלתית לדרוג במחקר חל שינוי בקצב. ועדה זו ניסמכה על שיפוט התיק האישי בידי גורמים חיצוניים למינהל

המחקר החקלאי, בדרך כלל נתבקשה גם חוות דעת מאקדמאים בחו״ל. תוצאות השיפוט שחזרו במהירות מהגורמים הבלתי תלויים היו טובות כך שהטיפול בתיק לא ערך מעל לחצי שנה. ולדוגמה, בשנת 1995 הצגתי ״פוסטר״ במסגרת הכנס העולמי למחקר יערני שהתקיים בעיר טמפרה אשר בפינלנד בנושא של מדידות דיות עצי אקליפטוס הגדלים בלימן בנגב. בזמן שהוקדש לעיון בתצוגת הפוסטרים פנו אלי שני פרופסורים, האחד מארה״ב והשני מארופה על מנת לשוחח ולקבל הסברים משלימים בנושא הפוסטר. לבסוף הם הציגו את עצמם ושאלו האם אני הוא דר׳ שילר מישראל העוסק במחקר יערני. לאחר שעניתי בחיוב שניי אלו התלחששו ביניהם (כניראה היו מכרים) ואז פנה אחד מהם אלי ושאל האם אני מועמד לקידום אקדמי, כאשר עניתי בחיוב השני אמר לי שגם הוא וגם חברו נתבקשו לגבש הערכה באמצעות התיק שלי על התפקוד המדעי שלי . הם הוסיפו כי לדעתם באוניברסיטאות שלהם היתי מקבל דרוג הגבוהה בשתי דרגות מהדרגה אשר עבורה נתבקשו להביעה את חוות דעתם.

בעיקבות ההשתדלות של הקק״ל אצל מוסדות אקדמיים לפתוח מגמה להוראת תחום היערנות כדי לקדם את הרמה האקדמית בארץ בתחום זה, הסכימה האוניברסיטה העברית לאפשר קיום הרצאות בנושאים יערניים במסגרת הפקולטה לחקלאות ברחובות; כמרכז התחום מונה דר׳ ריוב שהתמחה בהדרים, בהורמונים צמחיים ועוד. החל משנת 1988 ועד שנת 2008 הרצאתי במסגרת זו על התפתחות עצים בהשפעת תנאי בית הגידול, מדידות עצי יער, וממשק יערני. לאחר תקופת זמן של שנים אחדות בהוראה בפקולטה, נירמז לי כי באפשרותי ״להגיש תיק״ כדי לקבל דרגה אקדמית אוניברסיטאית. בתחילה לא פעלתי בנדון כי היתי מרצה מהחוץ ועובד קבוע בדרוג אקדמאי במינהל המחקר החקלאי. לאחר מספר שנים בכל זאת הגשתי את התיק למרכז התחום, אך התיק לא טופל בטענות מטענות שונות ומשונות. שבע שנים לאחר ההגשה, פגשתי במיקרה את דיקן הפקולטה במסדרון, העזתי ושאלתי אותו למה אני צריך לחכות שבע שנים לתשובה על התיק שלי. הדיקן לא הבין כלל במה מדובר ושאל היכן ולמי הגשתי את התיק? לאחר הסבריי הוא הורה לי להכין את התיק מחדש תוך שבועים ולהגישו לו ישירות. תוך פרק זמן קצר להפליא חזרו מחו״ל ומהארץ ההערכות על האיכות האקדמית של התיק, וארבע חודשים לאחר התחלת הטיפול בתיק הועדה העליונה לדירוג אקדמי של האוניברסיטה העברית העניקה לי תואר של פרופסור חבר עמית, תואר המיועד למרצים שאינם חברי סגל באוניברסיטה.

בעיקבות מחקרי על הדיות של מיני עצי יער ופרסום תוצאותיהם הוזמנתי בשנת 1999 לכנס שכותרתו היתה "יער ומים" שהתקיים בעיר קנברה, בירת אוסטרליה. שם פגשתי שוב את ידידי דיוויד, שעסק באיקלום, ברירה והשבחה של אורנים ים-תיכוניים שניטעו באזורים בהם קיים אקלים ים-תיכוני וסמי-ארידי באוסטרליה. לאחר הכנס הוא ביקש שנצא לסיור בן מספר ימים בהם הוא יבקש את חוות דעתי על תופעות שונות שניראות בחלקות נסיון ויערות מהמינים: אורן ירושלים, אורן ברוטיה, אורן קנארי ואחרים. לאחר סיור במספר חלקות הממוקמות באזור הסמי ארידי שמצפון מערב לעיר אדליד ניתקלתי בתופעה של התנוונות עצי אורן ירושלים מבוגרים שניראת בדיוק רב כפי שהיא ניראת בארץ, שהאנטמולוגים מזהים אותה כתוצאה של התקפת איצרית האורן "מצוקוקוס יוספי", שהסימנים לה הם הפרשת שרף רב הנוזל על פני הגזע, קשקוש רב ומתקלף של הקליפה ועוד. "ברכתי" את דיוויד ואמרתי "יופי, הצלחתם להחדיר את איצרית האורן הזו לאוסטרליה למרות ההסגר ההדוק על יבוא כל חומר צמחי ובעלי חיי ליבשת זו". דיוויד ענה לי כי הם בדקו את העצים היטב והתנוונותם אינה תוצאה של התקפת מצוקוקוס, כי הוא לא קיים באוסטרליה, אלא שהתופעה נובעת מעקה פזיולוגית עקב יובש מתמשך. מראה עינים זה הבהיר לי כי גם בארץ, ההתנוונות של יערות אורן ירושלים שגילם עבר את גיל העשרים, כלומר, הם עברו את שיא קצב ההתפתחות בגדילה לגובה ובקוטר, סובלים במידה רבה יותר מעקות פזיולוגיות עקב התנאים היובשניים בארץ. מבחינתי, מראה עינים זה שם סוף פסוק לוויכוח הניצחי מאז ארועי יער שער הגיא בשאלה "האם איצרית האורן או חוסר התאמה בין הגנום והתנאים האקולוגיים ובנוסף חוסר טיפול נאות ביער הם הגורמים להתנוונותו".

ספר זה שמסכם את עבודתי המדעית, כולל גם זיכרונות הקשורים בעבודה זו וגם חלקים ממהלך חיי, לא היה מתממש אילולי מספר אנשים אשר השפיעו עלי רבות. ראשית ומובן מאליו הם הורי, כל אחד בדרכו. הם עלו לארץ מהעיר ווינה בירת אוסטריה בשנת 1933. עיר שהיתה מרכז תרבותי באירופה עד מלחמת העולם הראשונה וגם עוד אחריה. הורי ידעו בעל-פה יצירות קלאסיות דוגמת פרקים רבים מהיצירה פאוסט של גתה, הם היו חובבי אומנות על כל צורות הביטוי שלה. אבי היה אדריכל ומתכנן ערים עם השקפת עולם סוציאליסטית אשר התבטאה באופן התיכנון של פרברים, שכונות ובתים בחו"ל ולאחר עליתו לארץ גם כאן. היכולת של אבי בהתאמת התיכנון והבניה לאופי השטח היתה במידה

רבה יחודית, הוא לא "גילח את השטחים והתאים אותם לצרכים" אלא היפוכו של דבר. אבי תמיד אמר לי "באתי לארץ חסרת עצים, מכאן ועד לאופק לא היה עץ ועתה היא ירוקה". אימי היתה בתחילה אחות רנטגן, ולאחר שלמדה אצל פרופ' אריך נוימן (תלמידו של יונג) החליפה את תחום העיסוק והיתה לפסיכולוגית לבני נוער. בבית הספר היסודי הושפעי רבות על ידי מורה צעירה שעלתה מרוסיה ששמה יהודית ביאלר שדרשה ביצוע נקי של המטלות שהינו אמורים להשלים בבית, היא לא סבלה את הבערך, חוסר דיוק בביטוי, בכתיבה, בציור מפות ועוד. בלימודי בבית ספר תיכון-חקלאי "הכפר הירוק" הושפעתי מאוד על ידי עזריה שהיה המדריך לגידול עצי פרי, הוא מאוד הקפיד על ביצוע נכון ומדויק של המטלות בשטחי המטעים הצעירים שנטענו. הושפעתי רבות מפרופסור הילל אופנהימר בפקולטה לחקלאות ברחובות, שהיה איש רחב אופקים ואפשר היה לשוחח איתו לא רק בעיניני מדע אלא גם בעיניני אומנות, מוזיקה וספרות. וכמובן הפרופ' ליעראות, ראש הפקולטה ליערנות בשוויץ, פרופ' לאיבאונדגוט, שהיה אדם גדול ממדים, רחב לב ומאוד ידידותי. בשנה הראשונה שלי בשוויץ, עת היתי סטודנט שלא מין המנין "שומע חופשי" שהשתתף בקורסים וסיורים לימודיים רבים ביערות, הפרופסור תמיד הציג אותי בפני המארחים כאורח מישראל, דבר שגרר אחריו הרבה מאוד הרמת כוסיות לחיי ישראל, אך במיוחד לחיי דר' רנה קרשון. כאן עלי להתחיל פרק בפני עצמו על איש זה שהיה המנטור שלי (אדם המשמש כיועץ ומדריך, עקב נסיון עשיר בתחום התמחותו) בכל מה שקשור במחקר יערני בארץ. לפני נסיעתי ללמוד יערנות בשוויץ לא הכרתי את ד"ר קרשון. ביום השני לתחילת הלימודים "נחטפתי" בעוברי במסדרון על ידי עוזר הוראה מבוגר של פרופ' קורט, הוא הכניס אותי מהר לחדרו, נעל את הדלת ושאל אותי "אתה מכיר את ד"ר קרשון, אתה יודע מה מספרים עליו"? עניתי כי איני מכיר את האיש ולא את הסיפור, שהוא כדלהלן: ד"ר קרשון היה סטודנט מצטיין שעשה עבודת דוקטור בהצטינות רבה ושימש עוזר הוראה ומחקר של פרופ' לאיבאונדגוט. הוא קיבל משימה לכתוב ביקורת מיקצועית על ספר ביערנות שיצא זה עתה לאור, דבר שהוא אכן ביצע. כעבור תקופת זמן הפרופ' שאל את הספר מהספריה והינה כל הדפים צמודים. הפרופ' זימן את ד"ר קרשון וביקש הסבר כיצד כותבים ביקורת על ספר מבלי לקרוא בו, כי עובדה היא שהספר היה סגור. תשובתו של דר' קרשון היתה "שהספיק לו לקרוא את המבוא כדי לכתוב ביקורת ספרים". תשובה זו עברה לאחר מיכן כסיפור מפה לאוזן. כאשר חזרתי לישראל ועבדתי במחלקה לחקר היער באילנות סיפרתי את הסיפור לדר' קרשון, הוא נהנה מאוד והסביר: זה שכתב את הספר

היה חברו הטוב בשוויץ שביקש ממנו כל פעם לערוך, לשכתב, לבדוק ולבקר את מה שניכתב וגם לתקן את הכתוב בשפה עילגת לגרמנית תיקנית, מכאן ההכרות העמוקה עם תוכן הספר. אך את הדבר הזה הוא לא סיפר לפרופ׳ לאיבאונדגוט כדי לא לבייש את חברו. כעוזר הוראה ומחקר ד״ר קרשון עבד הרבה באזור האלפיני של קנטון ברן ורכש לו שם שם של איש שיודע ומבין, ושמו הלך לפניו. כך שכאשר הגעתי לשוויץ בשנת 1965, 16 שנים אחר עזיבתו את המדינה, שמו ויכולותיו עדין היו זכורים וידועים לרבים מהכפריים והיערנים בקנטון. בשנת 1949 ביקר בפקולטה ליערנות בשוויץ, בראשות פרופ׳ לאיבאונדגוט- שקיבל פרופסורה כבר בגיל 25-. ד״ר עמיהוד גור (גרוזובסקי) אז מנהל אגף היעור של ממשלת ישראל. פרופסור לאיבאונדגוט אמר לד״ר גור- הכנתי לך חוקר יערן יוצא מהכלל עבור ישראל תיקח אותו-. וכך עלה דר׳ קרשון לישראל ועסק במחקר במסגרת אגף היעור של ממשלת ישראל שהיה ממוקם באילנות. עם פרוק האגף הוא נתמנה למנהל המחלקה לחקר היער שמוקמה במקום. מהבחינה המקצועית ד״ר קרשון השפיעה עלי רבות מאוד במשך 35 שנות עבודתי. הוא היה קפדן, דייקן, בעל ידע רחב מאוד וזיכרון עצום. למשל: בתשובה לשאלה מסוימת הוא יכל היה להפנות אותך לספריה שהיתה במחלקה באילנות ולהגיד – תסתכל בפרק הרביעי שבספר בעל כריכה כחולה, שעומד במדף השלישי מצד שמאל בסוף ליד החלון-. ד״ר קרשון היה מאוד לוגי ושנא רשלנות מחשבתית. הוא ידע היטב את השפות גרמנית, אנגלית, צרפתית ולטינית. למרות שלא ידע עברית על בוריה, הרי שהיה מגיהה מאמרים גם בשפה זו רק מתוך הבנתו את הלוגיקה של השפה. במשך השנים כאשר גברה הכרותינו הינו משוחחים גם בענינים שברוח, מוסיקה ואומנות. ד״ר קרשון שהיה לא רק המנהל אלא גם המדען הבכיר בתחום היעראות במחלקה, היה מעורב בפיתוח נושאי מחקר שחשבתי שצריך לחקור אך הנהלת ענף היער לא קיבלה אותם ולא אושר להם מימון דבר שהיום, במבט לאחור, מצביע במפורש על חוסר הידע ביעראות וקוצר הראות של הנהלת ענף היער: בהנהלת ענף היער שרר חוסר הבנה מוחלט לדינמיקת ההתפתחות של יער, חוסר הבנה להשפעות הישירות והעקיפות של האדם על התנאים האקולוגיים ביער באותם אזורים בהם יש הצטופפות קהל, חוסר הבנה לצדדים הגנטיים ביעראות ועוד. ד״ר קרשון היה מעורב בביקורת על ביצוע המחקרים שביצעתי עד סגירת המחלקה באילנות. גם אחרי שפרש לגימלאות, המשיך ליעץ לי בנושאי המחקר שבצעתי במסגרת המחלקה למשאבי טבע. הייתי נפגש איתו רבות בדירתו ברחובות שם דננו שעות בידע הכללי לגבי נושא מחקר מסוים שבצעתי ובאופן ביצועו, בתוצאות הביניים עם התקדמות המחקר, ולבסוף במאמר

המסכם וההשלכות הנובעות מהממצאים. דר׳ קרשון היה עמוד התווך של המחקר היערני בישראל, לא היתה הצעת מחקר אחת שלא עברה את הביקורת הלוגית-מדעית שלו לפני הגשתה להנהלת ענף היער או קרנות מחקר אחרות. שמו הלך לפניו ביערנות הים תיכונית, ב-FAO וב-IUFRO כמומחה ביעור באזורים סמי-ארידיים וכמומחה בסוג אקליפטוס.

<u>לסיכום</u>, המסופר כאן מראה את הקשיים העצומים אשר היו מוטלים לפני ולפני אנשי מדע אחרים בתחום היערות בארץ שהיו מתי מעט ביחס להקף הבעיות שדרשו פתרונות בעזרת מחקר. אך חשיבות המחקר כלל לא היתה ברורה לגוף הציוני-ביצועי שהוא אגף היעור של הקק״ל ולממשלת ישראל (משרד החקלאות ומינהל המחקר החקלאי). המחקר הזה תמיד נפל בין הכיסאות והיה הראשון לסבול כל קיצוץ בכח אדם ובתקציבים. המחלקה לחקר היער חוסלה שנתיים לאחר צאתו של דר׳ קרשון, מנהל המחלקה לגימלאות, חלק מהחוקרים המשיכו את עבודתם במסגרת מרכז וולקני בבית דגן, אך גם שם לא בא ישועה אדמיניסטרטיבית ותקציבית והמחקר המשיך להיתדרדר. למרות כל הקשיים והמהמורות שעמדו בדרכי, תיק הפירסומים המדעיים והדרגה האקדמית אליה הגעתי הן במסגרת מינהל המחקר החקלאי והן באוניברסיטה העברית נבעו מאי כניעה ומלחמה קשה ומתמדת בתנאים ובנסיבות המשתנות לעיתים קרובות כדי לקדם את המחקר הנחוץ לפי הבנתי כדי לספק ידע מהימן לממשק היער בארץ.

6.2 רשימת פירסומים מדעיים

פרסומים מדעיים בעברית שעברו ביקורת מדעית

"השפעת גורמי הסביבה על ההתחדשות הטבעית של יער אורן ירושלים".
חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, אוניברסיטת תל-אביב, 1978.

מאמרים בתחום האקולוגיה של יערות:

1. שילר ג. 1969. מבעיות הייעור בארץ. ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל **19**, חוברת 4-3, עמ' 89-86.
2. שילר ג., 1970. דו"ח מיום עיון על דישון יערות. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **20**, חוברת 102, עמ' 26-25.
3. שילר ג., 1970. עשרים שנות גשם באילנות. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **20**, חוברת 3, עמ' 53-49.
4. שילר ג., 1970. היער ואספקת העץ לתעשייה בארץ. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **20**, חוברת 3, עמ' 76-74.
5. שילר ג., 1970. על הדילול. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **20**, חוברת 4, עמ' 100-99.
6. שילר ג., 1971. הצמחיה היערנית בחרמון. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **21**, חוברת 2-1, עמ' 8-5.
7. שילר ג., 1971. אקלום עצי יער בגולן, תוצאות ראשוניות. ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל 21, חוברת 2-1, עמ' 11-9.
8. שילר ג., 1972. הברוש על הגג. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **22**, חוברת 2-1, עמ' 21-22.
9. שילר ג., 1972. גורמים אקולוגיים המשפיעים על הצמיחה של אורן ירושלים בדרום הרי-יהודה. עלון מס' 44 של המחלקה לחקר היער- אילנות, מנהל המחקר החקלאי.
10. שילר ג., רכס י., 1974. סקר שני אגני ניקוז בעזרת צילומי אויר. עלון 48, של המחלקה לחקר היער-אילנות, מנהל המחקר החקלאי.
11. שילר ג., 1974. תולדותיו של יער שער –הגיא. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **24**, חוברת 4-3, עמ' 52-48.
12. שילר ג., 1975. סקר התפתחות היער, בתוך: דו"ח צוות המחקר על התייבשות עצי אורן ירושלים ביער שער-הגיא, עמ' 7-3. המחלקה לפרסומים מדעיים מרכז וולקני, בית דגן.
13. שילר ג., 1975. חידוש טבעי של יערות, כנס "יופרו" בתורכיה. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **25**, חוברת 2-1, עמ' 25-23.
14. שילר ג., 1976. השפעת דילולים על התפתחות יער אורן ירושלים. *ליערן, בטאון אגודת היער בישראל* **26**, חוברת 4-1, עמ' 9-5.
15. שילר ג., 1976. האקלים ביער אורן ירושלים. *"מדע"* כרך **6**, עמ' 292-291.
16. שילר ג., 1977. מהלך טמפרטורה יומי בעל שני שיאים. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **27**, חוברת 4-1, עמ' 2-1.
17. שילר ג., 1977. יחסי הגומלין שבין התפתחות אורן ירושלים לבין תנאי הסביבה. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **27**, חוברת 4-1, עמ' 23-13.

18. שילר ג., 1978. השפעת גורמי הסביבה על ההתחדשות הטבעית של יער אורן ירושלים. עלון המחלקה לחקר היער-אילנות, פרסום 201 של המחלקה לפרסומים מדעיים מרכז וולקני, בית דגן.

19. שילר ג., 1996. אורן ירושלים בכרמל. *אקולוגיה וסביבה* **3**, חוברת 2-1, עמ' 19-15.

20. שילר ג., וינשטיין א.,, 1978. השפעת התשתית הגיאולוגית והמפנה על התפתחות היער בואדי קוף. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **28**, חוברת 4-1, עמ' 10-2.

21. שילר ג., 1980. השפעת התשתית הגיאולוגית על התפתחות אורן ירושלים. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **30**, חוברת 2-1, עמ' 5-1.

22. שילר ג., 1988. אורן ירושלים נטוע בישראל. *השדה* **ס"ח**, עמ' 1400-1397.

23. שילר ג., 1988. התאוששות אפשרית של היער הטבעי והנטוע לאחר שריפה. *השדה* **ס"ט**, חוברת א, עמ' 153.

24. שילר ג., 1992. אורן ירושלים בישראל בכלל ובכרמל בפרט. *עלון למורי הביולוגיה* **131**. חוברת ד, עמ' 76-69.

25. שילר ג., 2001. תולדות יער נטע-אדם ברמת הנדיב. *אקולוגיה וסביבה* **6**, חוברת 4-3, עמ' 217-216.

26. וינשטיין א., שילר ג., 1979. ייעור ונטיעת עצים בסיני, 2 בפתחת רפיח. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **29**, חוברת 2-1, עמ' 16-13.

27. וינשטיין א., שילר ג., 1979. אירוס הארגמן ביער אילנות. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **29**, חוברת 2-1, עמ' 28-26.

28. עצמון נ., וויץ א., שילר ג., קפולניק י., 1995. פטריות מיקוריזה משפרות הישרדות והתפתחות של שתילי אורן ברוטיה באזורים צחיחים למחצה. *השדה* כרך **75**, עמ' 78-75.

29. שילר ג., מנדל צ., 1989. הטיפולים לשיקום פארק הכרמל. *השדה* **ע'**, חוברת ב', עמ' 305-306 .

30. מנדל צ., עשאל פ., זהבי ע., ספיר נ., נסטל ד., שילר ג., 1996. קטילת זריעי אורן ירושלים בשנים הראשונות לאחר שריפה על ידי הכנימה איצרית האורן. *אקולוגיה וסביבה* **3**, חוברת 2-1, עמ' 78-75.

31. פרבולוצקי א., נאמן ג., שילר ג., 1996. השרפה בכרמל 1989-לקחים ממשקיים. *אקולוגיה וסביבה* **3**, חוברת 2-1, עמ' 120-113.

32. שילר ג., פרבולוצקי א., שוורץ ר., יונתן ר., אטינגר ע. 1997. התנאים המאפשרים את התפתחותם המוצלחת של עצי ברוש מצוי, אורן ברוטיה ואורן הגלעין. *השדה* **77**, חוברת דצמבר, עמ' 40-36.

33. שילר ג., פרבולוצקי א., שוורץ-צחור ר., יונתן ר., אטינגר ע., 2001. יער נטע אדם ברמת הנדיב: תוצאות והשלכות. *אקולוגיה וסביבה* **6**, חוברת 4-3, עמ' 222-218.

34. קרני נ., שילר ג., 2006. אורן ברוטיה ותיק ביער הרצל. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **8**, עמ' 44-41.

35.

מאמרים בתחום של פיזיולוגיה והשימוש במים על ידי עצי יער:

36. גרינבלד ק., שילר ג., מלזק ר., 1983. השונות בתכונות פיזיולוגיות באורן ירושלים טבעי בארץ. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **83**, חוברת 4-1, עמ' 7-1.

37. מלזק ר., שילר ג., גרינבלד ק., 1982. הקשרים שבין גודל הזרעים, הנביטה והתפתחות הנבטים לבין המקורות הטבעיים של אורן ירושלים בישראל. עלון מס' **72**, המחלקה לפרסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן.

38. כהן י., שילר ג., 1989. מדידת הדיות באורנים בשיטת פולס החום. *השדה* **ס"ט**. חוברת ח', עמ' 1945-1947

39. שילר ג.,זהר י., 1997. דיות עצי איקליפטוס כפתרון לבעית המליחות בעמק יזרעאל. השדה 77, חוברת ה', עמ' 61-63.

40. שילר ג., כהן י., 1999. מאזן המים ככלי עזר בקבלת החלטות ממשק נטיעות (עצי יער) באזורים צחיחים. *אקולוגיה וסביבה* **5**, חוברת 3-2, עמ' 129-122.

41. שילר ג., אונגר י.ד., כהן י., 2001. ידע שיעור הדיות כגורם מכוון בממשק אקוסיסטמה ים-תיכונית: מיקרה רמת הנדיב. *אקולוגיה וסביבה* **6**, חוברת 4-3, עמ' 178-170.

42. שילר ג., אונגר ד., כהן ש., משה י., עצמון נ., 2001. השפעת פנות המדרון על הדיות של אורן ירושלים ביתיר. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **11**, עמ' 19-14.

43. זליגמן ר., עצמון נ., אשד י., שילר ג., פיין פ., 2002. השתנות רדיוס הגזע באיקליפטוס המקור בתגובה להשקיה. *יער, כתב עת ליער, חורש וסביבה* **1**, עמ' 12-7.

44. אונגר י.ד., רוטנברג א., רז-יסיף נ., כהן ש., יקיר ד., שילר ג., 2014. דילול יער מונחה מאזן מיים: מודל פשוט והשלכות ליער יתיר. אקולוגיה וסביבה (בדפוס)

מאמרים בתחום של גנטיקה של אוכלוסיות עצי יער:

45. שילר ג., 1973. הופעת מוטציה בברוש מצוי. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **23**, חוברת 2-1, עמ' 8.

46. שילר ג., 1985., אורן ירושלים טבעי, תפוצה וקשרים גנטיים. *רתם, כתב עת לנושאי שדה בוטניים* **18**, חוברת נושאית על החורש והיער הים-תיכוניים בישראל, עמ' 78-69.

47. שילר ג., 1987. דרושים צאצאים של עצי עילית. *טבע וארץ* **כ"ט**, 39-37.

48. שילר ג., אורן ירושלים בכרמל. אקולוגיה וסביבה 3, חוברת 2-1, עמ' 19-15.

49. שילר ג., 2013.התנוונות ותמותה מוקדמת של אורן ירושלים בישראל בעקבות יבוא זרעים ממערכות אקולוגיות זרות. אקולוגיה וסביבה 4, חוברת 2, עמ' 175-167.

50. שילר ג., שקלר ג. וקורול א., 2014. השונות הגנטית במיני אלון בארץ. אקולוגיה וסביב (בדפוס).

51.

מאמרים בתחום של מיקרו אקלים ונופש ביער, הפחתת עוצמת הקול על ידי מיני עצים

52. שילר ג., 1974. מיקרו-אקלים ועקת חום של אדם ביערות הר הכרמל. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **24**, חוברת 2-1, עמ' 6-1.

53. קרשון ר., שילר ג., 1976. עצי יער כמשפרי עקת חום של האדם בתנאים ים תיכוניים. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **26**, חוברת 4-1, עמ' 29.

54. ווינשטיין א., שילר ג., 1981. מיקרו-אקלים בחורש טבעי וניהולו למטרות נופש. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **31**. חוברת 4-1, עמ' 16-12.

55. שילר ג., 1998. שימוש במדדים פיזיולוגיים בתיכנון ובממשק יער וחורש למטרות נופש. *אקולוגיה וסביבה* **5**, חוברת 1, עמ' 44-34.
56. שילר ג., שאודי נשקי ל.ה., קלר י., 1978. על תכונות אקוסטיות של עצי יער ונוי. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **28**, חוברת 4-1, עמק 39-33.
57. שילר ג., שאודי נשקי ל.ה., קלר י., 1979. על תכונות אקוסטיות של חלקות יער. *ליערן, ביטאון אגודת היער בישראל* **29**, חוברת 4-3, עמ' 55-51.
58. שילר ג., שאודי נשקי ל.ה., קלר י., 2000. רעש וצומח. אקולוגיה וסביבה **6**, חוברת **1**, עמודים 57-53.

עריכת כתובים:

1. גידול צפצפות בישראל, עקיבא עצמון 1979, הוצאת סילון, ירושלים.
2. יערנות, האנציקלופדיה לחקלאית כרך **ג'**, 1976. עריכה בשיתוף עם דר' רנה קרשון.

עריכת פרקים באוספים:

1. טישלר ק., שילר ג., 1975. עץ כחומר גלם, האנציקלופדיה העברית, כרך **27**, עמ' 69-60.
2. שילר ג., 1977. מדידת עצים ויערות, תכנון יערות. האנציקלופדיה החקלאית, כרך **ג'**, עמ' 399-433.

רשימת פרסומים באנגלית בעיתונות מבוקרת

***** The Publications are aggregated according to main themes of research

Forest management in general and for recreation in particular.

1. Schaudinischky L.H., **Schiller G**. and Keller Y., 1982. Uber die Schallschutzwirkung von Einzelbäumen und Waldstreifen. *Forstarchiv* 53: 52-56 (G.).
2. Schiller G., Dellco G., and Ciocco H., 1969. Beitrag zur generellen Planung der Forstwirtschaft in einer Gebirgsregion. *Schweizerische Zeitschrift för das forstilche versuchswesen*. **5**: 231-245 (G).
3. Schiller G. and Karschon R.,1973. Microclimate and thermal stress of man in an Aleppo pine plantation and an oak scrub. *Israel Journal of Agricultural Research* **23**: 79-90.
4. Schiller G. and Karschon R., 1974. Microclimate and recreational value of tree planting in deserts. *Landscape Planning* **4**: 329-337.

5. Schiller G., 1976. Einfluss der Durchforstung auf den Erholungswert des Waldes. ***In***: Fest-schrift Prof. Dr. Alfred Kurt. *Beiheft Zu den Zeitschriften des Schweizerichen Forstvereins* **57**: 95-101 (G).

6. Schiller G., 2001. Biometeorology and recreation in east-Mediterranean forests. *Landscape and urban planning* **57**: 1-12.

7. Weinstein A. and **Schiller G**., 1982. Microclimate, recreational value and management for recreation of Mediterranean oak scrub. *Forest Ecology and Management* **4**: 333-340.

8 Zohar Y., **Schiller G**. and Karschon R., 1971. Determination of the direction of the prevailing wind from the orientation of the crescent Bedouin shelters in northeastern Sinai. *Agricultural Meteorology* **9**: 319-323.

Forest trees population genetics

9. Conkle M.T., **Schiller G**., and Grunwald C., 1988. Electophoretic analysis of diversity and phylogeny of *Pinus brutia* and closely related taxa. *Systematic Botany* **13**: 411-424.

10. Gil L., Climent J., Nanos N., Mutke S., Oritz I. and **Schiller G**., 2002. Cone morphologiy variation in *Pinus canariensis* Sm. *Plant Systematics and Evolution* **235**: 35-51.

11. Grunwald C., Karschon R and **Schiller G.,** 1986. Filling a phytogeographical gap: Relict occurrences of *Pinus halepensis* Mill. in Samaria. *Israel Journal of Botany* **35**: 55-57.

12. Grunwald C., Schiller G**.** and Conkle M.T., 1986. Isoenzyme variation among native stands and plantations of Aleppo pine in Israel. *Israel Journal of Botany* **35**: 161-174.

13. Kara N., Korol L., Isik K. and **Schiller G**., 1997. Genetic diversity *in Pinus brutia* Ten.: Altitudinal variation. *Silvae Genetica* **46**: 155-161.

14. Korol L., Madmony A., Riov Y. and **Schiller G**., 1995. *Pinus halepenis* X *Pinus brutia* subsp. *brutia* hybrids? Identification using morphological and biochemical traits. *Silvae Genetica* **44**: 186-190.

15. Korol L. and **Schiller G**., 1996. Relations between native Israeli and Jordanian Aleppo pine based on allozyme analysis: A note. *Forest Genetics* **3**: 197-202.

16. Korol L., Kara N., Isik K. and **Schiller G**., 1997. Genetic differentiation among and within natural and planted *Cupressus sempervirens*. L. eastern Mediterranean populations. *Silvae Genetica* **46**: 151-155.

17. Korol L., Gil L., Climent J.M., Zehavi A. and **Schiller G**., 1998. Canary Island pine (*Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC.) **2**. Gene flow among native populations. *Forest Genetics* **6**: 279-284.

18. Korol L., Shklar G. and Schiller G., 2001. Site influences on the genetic variation and structure of *Pinus halepensis* Mill. provenances. *Forest Genetics* **8**: 295-306

19. Korol L., Shklar G. and **Schiller G**., 2002. Diversity among circum-Mediterranean populations of Aleppo pine and differentiation from Brutia pine in their isoenzymes: Additional results. *Silvae Genetica* **51**: 35-41.

20. Korol L., Shklar G. and **Schiller G**., 2002. Genetic diversity within *Pinus halepensis* Mill. provenances growing in different microenvironments in Israel .*Israel Journal of plant Sciences* **50**: 135-143.

21. Korol L., Shklar G. and **Schiller G**., 2002. Genetic variation within and among range-wide *Pinus brutia* Ten. provenances. *Forest Genetics* **9**: 233-242.

22. Korol L., Shklar, G. and **Schiller G**., 2004. Tabor Oak in Israel, Genetic Diversity Within and Between Populations. *Forest Genetics* **11**: 317-

23. Madmony A., **Schiller G**., Moshe Y., Tsabary G., Mendel Z. and Riov J., 2003.Controlled and open pollination between Pinus brutia (Ten.) and Pinus halepensis (Mill.) and hybrid performance. *Israel Journal of Plant Sciences* **51**: 215-224.

24. Melzack N.R., Grunwald C. and **Schiller G**., 1982. Morphological variation in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Israel. *Israel Journal of Botany* **30**: 199-208.

25. Mendel Z. and **Schiller G**., 1993. Biogeography of *Matsucoccus josephi* Bodenheimer et harpaz in Crete and Mainland Greece. *Annales Sciences Forest* **50**: 383 - 388.

26. Schiller G., Conkle M.T. and Grunwald C., 1986. Local differentiation among Mediterranean populations of Aleppo pine in their isozymes. *Silvae Genetica* **35**: 11-19.

27. Schiller G. and Grunwald C., 1986. Xylem resin monoterpene composition of *Pinus halepensis* Mill. in Israel. *Israel Journal of Botany* **35**: 23-33.

28. Schiller G. and Grunwald C., 1987. Resin monoterpene in range-wide provenance trials of *Pius halepensis* in Israel. *Silvae Genetica* **36**: 109-114.

29. Schiller G**.** and Grunwald C., 1987. Cortex resin monoterpene composition in *Pinus brutia* Ten. provenances grown in Israel. *Biochemical Systematics and Ecology* **15**: 387-394.

30. Schiller G. and Waisel Y., 1989. Among-provenance variation in *Pinus halepensis* Mill. in Israel. *Forest Ecology and Management* **28**: 141-151.

31. Schiller G**.**, 1989. Variation in resin composition of the Italian cypress (*Cupressus sempervirens* L.) grown in Israel. *Silvae Genetica* **39**: 89-95.

32. Schiller G. and Madar Z., 1991. Variation in foliage resin composition within the Italian cypress (*Cupressus sempervirens* L.) species complex and its relation to canker diseases. *European Journal of Forest Pathology* **21**: 179-184.

33. Schiller G. and Brunori A., 1992. Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Umbria and its relation to east Mediterranean populations. *Israel Journal of Botany* **41**: 123 – 127.

34. Schiller G. and Genizi A., 1993. An attempt to identify the origin of *Pinus brutia* Ten. plantations in Israel by needle resin composition. *Silvae Genetica* **42**: 63 - 68.

35. Schiller G., 1993. Foliage resin composition of *Cupressus sempervirens* L. as affected by environmental factors. *Silvae Genetica* **42**: 297 - 303.

36. Schiller G., 1993. Effect of seed origin on growth of *Eucalyptus microtheca* F. Mull. in Israel. *Israel Journal of Plant Sciences* **43**: 31 - 40.

37. Schiller G.,1994. Diversity among *Pinus brutia* and related taxa, -a review. *Orman Fakultesi Dergisi, series A*, **44**: 133-147.

38. Schiller G. and Korol L., 1997. Electrophoretic analysis of diversity within *Cupressus sempervirens* L. growing in Israel. *Israel Journal of Plant Sciences* **45**: 1-8.

39. Schiller G., Korol L., Unger E.D., Zehavi A., Gil L. and Climent M.J., 1998. Canary Island pine (*Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC.). **1**. Differentiation among native populations in their isoenzymes. *Forest Genetics* **6**: 257-276.

40. Schiller G., Shklar G. and Korol L., 2003. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks in Israel. **1**. Tabor oak (*Quercus aegilops* L. *ssp. ithaburensis* [Decne] Boiss.). *Israel J. of Plant Sciences* **51**: 1-10.

41. Schiller G**.,** Korol L. and Shklar G., 2004. Habitat effects on adaptive genetic variation in *Pinus halepensis* Mill. provenances. *Forest Genetics* **11**: 325-335.

42. Schiller G., Shklar G. and Korol L., 2004. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks in Israel. **2**. *Quercus boissieri* Reut. *Israel J. of Plant Sciences* **52**: 315-322.

43. Schiller G., Herr N., Shklar G. and Korol L., 2005. Diversity assessment, by means of random amplified DNA, of leaf phenology variation in *Quercus ithaburensis* Decne. *Israel J. of Plant Sciences* **53**: 77-80.

44. Schiller G., Shklar G. and Korol L., 2006. Genetic diversity assessment by random amplified polymorphic DNA of oaks:. **3**. *Quercus calliprinos Webb*. in Israel and Jordan. *Israel J. of Plant Sciences* **54:** 137-148**.**

45. Schiller **G.** and Atzmon N., 2009. Performance of Aleppo pine (Pinus halepensis) provenances grown at the edge of the Negev desert: A review. *Journal of Arid Environments* **73** (12): 1051-1057.

Natural forests and plantations ecology

46. Karschon R., **Schiller G**. and Weinstein A., 1986. Some effects of slope aspect in a Mediterranean environment. ***In***: Festschrift Prof. Dr. Baumgartner. *Meteorologisches Inst., München, Wissenschaftilsche Mitteilungen* **35**: 121-125 (G.).

47. Mendel Z., Assael F., Saphir N., Zehavi A., Nestel D. and **Schiller G**., 1997. Causes of Aleppo pine seedling mortality in natural regeneration after fire. *International Journal of Wildland Fire* **7**: 327-333.

48. Nathan R., Safriel U.N., Noy-Meir I. and **Schiller G**., 1999. Seed release without fire in *Pinus halepensis*, a Mediterranean serotinous wind-dispersed tree. *Journal of Ecology* **87**: 659-669.

49. Nathan R., Safriel, U.N., Noy-Meir I. and **Schiller G**., 2000. Spatiotempral variation in seed dispersal and recruitment near and far from adult trees. *Ecology* **81***:* 2156-2169.

50. Ne'eman G., Pervolotsky A. and **Schiller, G**., 1997. The Management lesson of the Research initiative after the 1989 fire on Mt. Carmel, Israel. *International Journal of Wildland Fire* **7**: 343-350.

51. Osem Y., Yavlovich H., Zacharia N., Atzmon N., Moshe Y., Schiller G., 2013. Fire-free natural regeneration in water limited Pinus halepensis forests: a silvicultural approach.
European J. Forest Res., Doi 10.1007/s10342-013-0704-3.

52. Schiller G., 1982. Significance of bedrock as a site factor for Aleppo pine. *Forest Ecology and Management* **4**: 213-223.

53. Schiller G., Ne'eman G. and Korol, L., 1997. Post-fire vegetation dynamics in a native *Pinus halepensis* Mill. forest on Mt. Carmel, Israel. *Israel J. of Plant Science* **45**: 297-308.

Eco-physiology and Water use by forest trees

54. Atzmon N., Moshe Y. and **Schiller G.**, 2003. Eco-physiological response to sever drought in trees of *Pinus halepensis* Mill. trees of two provenances. *Plant Ecology* **171**: 15-22.

55. Cohen Y., Adar E., Dody A. and **Schiller G**., 1997. Underground water use by *Eucalyptus* trees in an arid climate. *Trees* **11**: 356-362.

56. Cohen Y., Cohen S., Cantuarias-Aviles T. and **Schiller G**., 2008. Variation in the radial gradient of sap velocity in trunks of forest and fruit trees. *Plant and Soil* **305**: 49-59.

57. Ffolliott P. F., Gottfried G. J., Cohen Y. and Schiller G., 2003. Water use by Dryland Oaks. *The Journal of Arid Environments* **55**: 595-605.

58. Grunwald C. and **Schiller G**., 1988. Needle xylem water potential and water saturation deficit in provenances of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. *Forêt méditerranéene*, **10**: 407-414.

59. Raz Yaseef N., Yakir D., Rotenberg E., **Schiller G**. and Cohen S., 2010. Ecohydrology of a semi-arid forest: partitioning among water balance componenets and its implications for predicted precipitation changes. *Ecohydrology **3***: *143-154*

60. Raz Yaseef N., Yakir D, **Schiller G**. and Cohen S., 2012. Dynamics of evapotranspiration partitioning in a semi-arid forest as affected by temporal rainfall patterns. Agri. For. Meteo. **157**: 77-85

61. Schiller G. and Cohen Y., 1995. Water regime of a pine forest under Mediterranean climate. *Agricultural and Forest Meteorology* **74**: 181 - 193.

62. Schiller G. and Cohen Y., 1998. Water balance of a *Pinus halepensis* Mill. afforestations in an arid region. *Forest Ecology and Management* **105**: 121-128.

63. Schiller G., Ungar E. D. and Cohen Y., 2002. Estimating the water use of a sclerophyllous species under an East-Mediterranean climate. **1.** Response of transpiration of *Phillyrea latifolia* L. to site factors. *Forest Ecology and Management* **170**: 117-126.

64. Schiller G, Ungar E. D., Yosef M., Cohen, S. and Cohen Y., 2003. Estimating water use by sclerophyllous species under East-Mediterranean climate. **2.** The transpiration of *Quercus calliprinos* Webb. in response to silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management* **179**: 483-495.

65. Schiller G., Yosef M. and Ungar E. D., 2002. Transpiration of *Cupressus sempervirens* L. as influenced by canopy structure. *Israel J. of Plant Sciences* **52**: 9-19.

66. Schiller G, Shabtai C., Ungar E. D., Moshe Y. and Herr N., 2007. Estimating the water use by sclerophyllous species under East-Mediterranean climate. III. Tabor oak forest sap flow distribution and transpiration as related to site factors. *Forest Ecology and Management* **238:** 147-155

67. Schiller G., Ungar E. D., Shabtai C and Herr N., 2010. Water use by Kermes and Tabor oaks growing in their respective habitats in the Lower Galilee region of Israel *Forest Ecology and Management* **259**; 1018-1024

68. Ungar E. D., Rotenberg E., Cohen S., Raz-Yaseef N., Yakir D., **Schiller G**., 2013. Transpiration and annual water balance of Aleppo pine in a semiarid region:. implications for forest management. *For. Ecol. Mamage* **298**, 39-51

69. Zohar Y. and **Schiller G**., 1998. Growth and water use by selected seed sources of *Eucalyptus* under high water table and saline conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **69**: 265-277.

Articles of symposia proceedings

*The article was reviewed before publication.

670. Bucher J.B., **Schiller G**. and Rolf, T.W., 1987. Effects of ozone and/or Water stress on xylem pressure, transpiration and leaf conductance of Fir (*Abies alba* Mill.). ***In*:** J. Bervaes, P. Mathy and P. Evers (eds.): Proceeding of a workshop,

Wageningen, 15-17 .12. 1988, pp.83-88. Brussels: Commission of the European Communities, 1988. (Air pollution research report, 16; Report EUR 11738 EN)

71. Nathan R., Safriel U.N., Noy-Meir E. and **Schiller G**., 1996. Samara's aerodynamic properties in *Pinus halepensis* Mill., a colonizing tree species, remain constant despite considerable variation in morphology. ***In:*** Steinberger, Y (edt.). Preservation of our world in the wake of change. Proceedings of the Sixth international conference of the Israel Society for Ecology and Environmental Quality Sciences.

72. Karschon R. and **Schiller G**., 1976. Forest trees as ameliorators of heat stress of man in a Mediterranean environment. ***In*:** Proceedings of the Vancouver and Oslo P 1.05-00 IUFRO Project Group Trees and forests for human settlements. Andresen, J.W., (Ed.) Univ. of Toronto. pp. 382-387. *And also in La-Yaaran **26**: 25-29 (Hebrew).*

73. Schaudinischky L. H., **Schiller G.** and Keller Y., 1979. About the sound protecting properties of some selected Israeli trees and shrubs. ***In*:** Proceedings of the international conference on noise control engineering *"Internoise-79" Warsaw, Poland.*

74. Schiller G., 1980. Microclimate and recreational value of tree planting in the Negev. ***In*:** Proceedings of the GIFRID seminar on forestry and afforestation techniques in dry lands. *La-Yaaran, **30** (3-4) (E, Heb).*

75. Schiller G., 1985. Management for sustained yield of pine plantations in Israel. ***In*:** Proceedings of Managerial Economics, Haifa, Israel, pp. 148-152

76. Schiller G., Grunwald C. and Conkle M. T., 1986. Genetic variation among *Pinus halepensis* Mill. and the *P. brutia* Ten. species complex. ***In*:** Proceedings of the 18th IUFRO World Congress pp. 856.

77. Schiller G., 1997. The knowledge of the transpiration of *Phillyrea latifolia* at Ramat ha'Nadiv as a tool for management decisions. ***In***: Proceedings of the 28th Annual Meetting of the Israel Society for Ecology and Environmental Quality Sciences.

78. Schiller G., 1997. Genetic diversity within the *P. brutia* complex, *Pinus halepensis* and *Cupressus sempervirens* for in situ conservation-A review. ***In*:** Proceedings of the XI World Forestry Congress, Antalya, Turkey, **2**: 220.

Chapters in Collections

79. Schiller G., and Tischler K., 1975. Wood as material. ***In***: The Hebrew Encyclopedia, Vol 27: 60-69 (Hebrew).

80. Schiller G., 1977. Forest mensuration and management. ***In***: The Encyclopedia of Agriculture Vol. 3: 399-433 (Hebrew).

81. Schiller G. and Mendel Z., 1995. Is the overlap of ranges of Aleppo pine and Brutia pine in the east Mediterranean natural or due to Human activity? ***In***: Baradat, PH., Adams, W. T. and Müller-Starck, G. (Edits); Population Genetics and Genetic Conservation of Forest Trees. pp: 159-163.

82. Schiller G., 2000. Inter- and intra-specific genetic diversity of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus brutia* Ten. ***In***: Ne'eman, G., and Trabaud, L. (Editors), Ecology, Biogeography and Management of Mediterranean Pine Forest Ecosystems (*Pinus halepensis* and *Pinus brutia*), Backhuys Publishers-Wil, R. Peters, Amsterdam. 13-35 pp.

83. Schiller, G., 2000. Eco-physiology of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus. brutia* Ten. ***In*:** Ne'eman, G., and Trabaud, L. (Editors), Ecology, Biogeography and Management of Mediterranean Pine Forest Ecosystems (*Pinus halepensis* and *Pinus brutia*), Backhuys Publishers-Wil, R. Peters, Amsterdam. 51-65 pp.

84 Schiller G, 2010. The Case of the Yatir Forest. *In*: Bredemeier, Cohen, Godbold, Lode, Pichler and Schleppi (Eds); Forest Management and the Water Cycle. An Ecosystem Based Approach. Ecological Studies 212, 163-186.

85. LUKAC M, PENSA M, **SCHILLER G**, 2010. TREE SPECIES TOLERANCE TO WATER STRESS, SALINITY AND FIRE. *In*: Bredemeier, Cohen, Godbold, Lode, Pichler and Schleppi (Eds); Forest Management and the Water Cycle. An Ecosystem Based Approach. Ecological Studies 212,247-262.

86. SCHILLER G, ATZMON N, 2011.. IMITATING CLIMATE CHANGE INFLUENCES ON A TYPICAL MEDITERRANEAN PINE SPECIES. THE CASE OF *PINUS HALEPENSIS* AS AN INTRODUCED SPECIES INTO SEMI-ARID LANDS. *IN* "Status of the Experimental Network of Mediterranean Conifer Genetic Resources ". Fao Silva Mediterranea -

Forest Genetic Resources in the Mediterranean Region. Compilers/Eds.: Ch. Besacier, F. Ducci, M. Malagnoux, Souvannavong O. Scientific Board: Ch. Palmberg-Lerche, E, Teissier du Cros, R. Morandini, G. Scarascia Mugnozza.

87. Schiller G., 2012. Pine Forests in Israel: History, Species, Threats and Management. *In*: Frisiras C. T. (Edt.) Pine Forests, Types, Threats and Management, Nova Science Pub. Inc, New York, pp 1140-154.

*The articles were reviewed before publication

6.3 תיאורי מסעות למזרח הקרוב מהם אפשרי להסיק על מראה הנוף, החיי והצומח והתושבים

Baumgarten, Martin von, 1473-1535. The travels of Martin Baumgarten through Egypt, Arabia, Palestine, and Syria: to which is prefix'd the life of the author [London], [17--]

Bruyn, Cornelis de, 1652-1726. 7 Voyage au Levant, c'est-a-dire, dans les principaux endroits de l'Asie Mineure, dans les isles de Chio, Rhodes, Chypre, &c, de même que dans les plus considérables villes d'Egypte, Syrie, & Terre Sainte; enrichi d'un grand nombre de figures en tailledouce. Rouen, C. Ferrand, 1725.

Canaye, Philippe, 1551-1610. Le voyage du Levant / Paris : Ernest Leroux : E. Leroux, [1897]

Chateaubriand, Francois-Rene, 1768-1848. Tagebuch einer Reise von Paris nach Jerusalem durch Griechenland: und von Jerusalem durch Egypten, durch die Staaten der Barbarei und durch Spanien zuruck nach Paris / Freiburg: Herdersche Universitats-Buchhandlung, 1817

Egmond van der Nijenburg, Johannes Aegidius van, 1697-1747. Travels through part of Europe, Asia Minor, the islands of the archipelago, Syria, Palestine, Egypt, Mount Sinai, &c. giving a particular account of the most remarkable places London, L. Davis and C. Reymers, 1759.

Forbin, Louis Nicolas Philippe Auguste, 1777-1841. Voyage dans le Levant en 1817 et 1818 / Paris : De l'Imprimerie royale, 1819

Hasselquist, Fredric, 1722-1752. Reise nach Palästina in den Jahren von 1749 bis 1752 auf befehl Ihro Majestat der Koniginn von Schweden / Rostock: Johann Christian Koppe, 1762.

Hasselquist, Fredric. Voyages and travels in the Levant: in the years 1749, 50, 51, 52 : containing observations in natural history, physics, Agriculture, and Comerce: particularly on the Holy land, and the natural history of the Scriptures / London : Davis and Reymers, 1766

Korte, Jonas, 1683-1747. Reise nach dem Weiland gelobten, nun aber seit Siebenzehn hundert Jahren unter dem Fluche liegenden Lande : wie auch nach Egypten, dem Berg Libanon, Syrien und Mesopotamien / [Altona]: Im Verlag des Autoris, 1741

Lucas, Paul, 1664-1737. Voyage du sieur Paul Lucas : fait en MDCCXIV, &c. par ordre de Louis XIV, dans La Turquie, L'Asie, Sourie, Palestine, Haute et La Basse Egypte, &c. Amsterdam : Steenhouwer & Uytwerf, 1720.

Pococke, Richard, 1704-1765. A description of the East and some other countries / London : Printed for the author, 1743-45.

Pococke, Richard, 1704-1765. Voyages de Richard Pockocke, membre de la Société Royale, et de celle des antiquités de Londres, &c., en Orient, dans l'Egypte, l'Arabie, la Palestine, la Syrie, la Grèce, la Thrace, &c. &c: traduit de l'Anglois sur la seconde édition, par M. Eydous . A Neuchatel: Aux dépens de la Société Typographique, 1772-1773.

Richardson, Robert, 1779-1847. Travels along the Mediterranean and parts adjacent; in company with the Earl of Belmore, during the years 1816-17-18: extending as far as the second cataract of the Nile, Jerusalem, Damascus, Balbec, &c.. London, Printed for T. Cadell; 1822.

Thompson, Charles, fl. 1750. The travels of the late Charles Thompson, Esq.: containing his observations on France, Italy, Turkey in Europe, the Holy Land, Arabia, Egypt, and many other parts of the world: giving a particular and faithful account of what is most remarkable in the manners, religion, polity, antiquities, and natural history of those countries: with a curious description of Jerusalem as it now appears, and other places mention'd in the Holy Scriptures: the whole forming a compleat view of the ancient and modern state of great part of Europe, Asia, and Africa / London : J. Robinson, 1744.

Von Wolfgang Stahl, 1803. Sammlung der merkwurdigsten Reisen in den Orient / Jena :

Wilbrand, von Oldenburg, fl. 1233. Wilbrands von Oldenburg Reise nach Palaestina und Kleinasien: lateinisch und Deutsch mit erklarenden Anmerkungen und einer Biographie des Verfassers hrsg. / Hamburg, : [s.n.] T.G. Meissner, 1859.

Wright, Thomas, Early travels in Palestine: comprising the narratives of Arculf, Willibald, Bernard, Saewulf, Sigurd, Benjamin of Tudela, Sir John Maundeville, De La Brocquiere, and Maundrell / London: H. G. Bohn, 1848

אילן, צבי,. מאה ושלושים שנה למסע "בנימין השני" בארץ ישראל. בתוך קרדום : *דו ירחון למורי דרך* 1978, **א'** (1) : 32-29,

ארץ ישראל בספרות עולי הרגל (קטעים נבחרים).*קרדום : דו ירחון למורי דרך* , **ג'** (14-13) : 114-51, 1981

באוארנפיינד, גוסטב. - צייר בלתי-נודע של ארץ-ישראל.בתוך קתדרה : לתולדות ארץ-ישראל וישובה , 57 : 75-52, 1990

בן-אריה, יהושע..ספרות הנוסעים המערביים לארץ-ישראל במאה הי"ט כמקור היסטורי וכתופעה תרבותית.קתדרה : לתולדות ארץ-ישראל וישובה , 40 : 188-159, 1986

ון דה ולדה. מהשומרון ליפו בשחייה.בתוך טבע וארץ : כתב-עת ולטבע לידיעת הארץ , כ"ט (3) : 18- 20, 1987

טובלר,טיטוס. מחוקריה של ארץ ישראל במאה הי"ט.בתוך קתדרה לתולדות ארץ-ישראל וישובה , 48 : 45-30, 1988

טפר, יגאל..ביבליוגרפיה מוארת בנושאי ידיעת הארץ (ספרות עולי-רגל, חוקרים וסיירים יהודים בדרום לבנון).מבפנים , מ"ה (2-1) : 198-192, 1983

יערי, אברהם. מסעות ארץ ישראל של עולים יהודים : מימי הבינים ועד ראשית ימי שיבת ציון / תל-אביב : מודן, 1996

כהן, עפר. מסע בארץ ישראל - סיפורו של הנרי בייקר טריסטרם. נשיונל ג'יאוגרפיק, 34 : 129-124, 2001.

פז, עזי. הצומח הטבעי של ארץ-ישראל בשלהי התקופה העותמאנית בתוך טבע וארץ : כתב-עת ולטבע לידיעת הארץ , כ"ב [2] (1980) 50-48

נויגרש, מרדכי. ארץ אסורה בכבלי השממה.בתוך ניצוצות, 7 : 13-8, 37-36, 1987

צ'לבי, אבליה. ארץ ישראל במאה השבע-עשרה. ירושלים : אריאל, 1980.

רבא, יואל. ארץ ישראל בתאורי נוסעים רוסיים : המאות י"ב-י"ז. ירושלים : יד יצחק בן צבי, 1984

שור, נתן. מדריך ביבליוגרפי : עצי הפרי וגידולי השדה שבארץ-ישראל בתקופה הממלוכית והעותמאנית, לפי כתביהם של נוסעים נוצריים מן המערב.בתוך נופים : עיונים בידיעת הארץ , 11- 12 : 160-138, 1979

שור, נתן. חוקרי הטבע הראשונים. אריאל, ט"ו (99-98) : 179-177, 1994

שור, נתן. חוקרים ומגלים ראשונים.אריאל , ט"ו (99-98) : 176-166, 1994