



# אקלום והשבחת עצים – כלים יישומיים בהיערכות לשינוי האקלים

אביב אייזנבנד \* | חגי יבלוביץ'

אגף הייעור, קק"ל  
Aviv@kkl.org.il \*

## תקציר

בישראל ומציגים יתרון בולט לפחות באחת מהתכונות המבוקשות (עמידות ליובש, יצירת נוף מרשים ועוד) וזאת בהשוואה לפרטים אחרים מאותו מין באותו בית גידול.

פעולות אקלום והשבחה נעשו על ידי קק"ל במיני עצי מחט, כגון אורן ירושלים, אורן הצנובר, אורן קנרי וברוש מצוי, כמו גם במינים רחבי עלים, כגון שיטה סלילנית, אלון התבור, אלה אטלנטית ומינים רבים בסוג איקליפטוס. מאמר זה בא להציג את חשיבותן של פעולות השבחה ואקלום למיני עצים כדי לספק פתרונות לצרכים ולאתגרים המשתנים בייעור בישראל.

בעשורים האחרונים מתרחש ברחבי העולם שינוי האקלים, המאופיין במיעוט משקעים, בשינוי בדפוס פיזור הגשם ובעלייה בתדירות גלי חום, וגורר ריבוי שרפות והתפרצות מזיקים. התוצאה היא התנוונות היער ותמותה של מיני עצי יער רבים. היערכות לשינוי האקלים מחייבת שינויים באופן שאנו מקימים יערות כמו גם שינויים בממשק היער הוותיק, והמטרה היא לצמצם ככל הניתן את הפגיעה ביערות בישראל.

שני כלים מרכזיים ומקובלים בעולם להשגת מטרה זו הם אקלום והשבחה, לקידום השימוש במינים או בטיפוסים בעלי תכונות רצויות עבור בתי גידול קשים. הבעיות המרכזיות הן עמידות ליובש ועמידות למזיקים ולמחלות. איתור מינים וטיפוסים אלה מתבצע במסגרת פעולות האקלום וההשבחה. בפעולת האקלום מתבצעים איתור, בחינה והכנסה לשימוש בייעור של מינים או טיפוסים שאינם מקומיים כמענה לאתגרים ולצרכים שאינם מתקבלים מהמינים או מהטיפוסים המקומיים. בפעולת ההשבחה נעשה שימוש בטיפוסים שהופיעו ספונטנית ביערות ותיקים

### מילות מפתח

מינים מקומיים, עמידות ליובש, תמותת עצים

## מבוא

תמותה נרחבת של אורנים וברושים, ושל מיני חורש טבעי, כגון אלון ואלה (אין נתונים לגבי כל סוג בנפרד). העובדה שבמהלך שנים רבות הנטיעות התבססו ברובן על מיני אורן, באה לידי ביטוי בשיעור תמותה גבוה יחסית (74%) של מינים אלה מסך כל העצים שנפגעו מיובש או ממזיקים כגורם משני לתמותה (גולן, 2018).

על פי ניתוח הגורמים לתמותת עצים (Klein et al., 2019), כרבע ממקרי התמותה היו קשורים ישירות לתקופות בצורת. שרפות גרמו ל-58% ממקרי תמותת העצים (שני שלישים מהשרפות התחוללו בשנות בצורת). גורם נוסף שהביא לתמותה היו מזיקים, ובהם חיפושיות קליפה וכנימות. כפי הנראה, הבצורת השפיעה גם על העמידות של העצים לחרקים מזיקים, שכן 54% ממקרי התמותה שנמצאו קשורים למזיקים, התרחשו בשנים מעוטות משקעים. לעומת זאת, רק 13% ממקרי התמותה אירעו בעת סופות שלגים, שגרמו לעצים רבים לקרוס. המסקנה היא שיש לשים את הדגש על טיפוסים (גנוטיפים) עמידים ליובש ולטמפרטורות גבוהות של המינים העיקריים שיש בהם עניין לנטיעות בישראל. אקלום (introduction) והשבחה (tree improvement) הם אחת מהדרכים להתמודדות עם שינוי אקלים, וכך גם הקפדה על ממשק ניהול היער, בעיקר דילול בעיתוי ובעוצמה הנדרשים, קציר נגר ופעולות אגרוטכניות נוספות (אסם ושות', 2014).

## אקלום של עצי יער בישראל

**אקלום** (introduction) הוא גישה המתבססת על שימוש במינים שאינם מקומיים כמענה לאתגרים ולצרכים שאינם מתקבלים מהמינים המקומיים. זוהי אחת הגישות המקובלות בעולם להתמודדות עם אתגרים כמו תנאי סביבה קשים (בישראל, למשל, אוקלמו מיני שיטה ואיקליפטוס), והיא מאפשרת גם לספק את שירותי המערכת האקולוגית (ecosystem services) שלא ניתן לקבלם מייעור במינים מקומיים, כמו האבקה של גידולים חקלאיים (מינים שונים של איקליפטוס), טיילות ונופש (מינים של עצי מחט גבוהים) וגיוון נופי (מיני ארז).

במשך למעלה ממאה שנים נעשו ניסיונות של גופים שונים, ובעיקר של קק"ל, להתאים מיני עצים שאינם מקומיים לתנאי הארץ. הובאו ארצה מינים בעלי תכונות של עמידות ליובש ולמזיקים שונים (מצוקוקוס למשל) מחד גיסא וכושר צימוח מיטבי מאידך גיסא, תכונות שבמקרים רבים אינן קיימות במינים המקומיים בישראל. חלק קטן ממינים אלה אוקלם בהצלחה ומשמש לנטיעות יערניות, כמו אורן ברטיה (*Pinus brutia*), אורן הצנובר (*P. pinea*) אורן קנרי (*P. canarensis*), ברוש אריזוני (*Cupressus arizonica*)

שינוי האקלים המתרחש בעשורים האחרונים יוצר איום חמור על קיומם של יערות. היכולת של צמחים להסתגל לשינוי האקלים עלולה לשנות את ההרכב, המבנה והפיזור של מיני עצים ביערות באזורים רבים בעולם (Allen et al., 2010). ההסתגלות של צמחים לסביבה משתנה תלויה באורכו של מחזור החיים של הצמח, ולכן צמחים רב-שנתיים, ובעיקר עצים בעלי אורך חיים של עשרות ואף מאות שנים, צפויים לשיעורי תמותה גבוהים יחסית בעקבות עקת יובש (Allen et al., 2010). הסיבה העיקרית לכך היא חוסר היכולת של מינים אלה לעבור ברירה טבעית מהירה, ולכן אם אין להם מנגנון פיזיולוגי מתאים להתמודדות עם העקה, הם עלולים להיכחד (Klein et al., 2013).

בשנת 2022 פורסם מאמר שסקר וניתח 154 מחקרים משש יבשות, 675 אתרים ו-1,303 חלקות (Hammond et al., 2022). במאמר נסקרה תמותת עצים בעקבות שנות בצורת שאופיינו גם בטמפרטורות גבוהות, ונקבע שתופעה זו נבעה משינוי האקלים במהלך השנים 1970–2018. הממצאים מעלים כי בעשרות השנים האחרונות ישנה תמותה של יערות ברחבי העולם בבימות (חברות אקולוגיות) שונות, שנגרמה בשל שינוי האקלים. כמו כן, נמצא מתאם חיובי בין בצורת שאופיינו בטמפרטורות גבוהות, לשיעורי התמותה של עצים. בצורת כאלה חורגות מהגבולות של אזורי אקלים היסטוריים, שהצמח המקומי הותאם אליהם, ובעקבות זאת נפגע חוסנו של היער, וחלה עלייה בשיעור התמותה של עצים בבתי גידול רבים. על פי הממצאים, הבצורת הקשות גרמו נזקים רבים. משנת 2010 נצפתה תמותה של כחצי מיליארד עצים בטקסס ובקליפורניה. במרכז אירופה גרמה בצורת שלווה בטמפרטורות גבוהות לפגיעה נרחבת ביערות משנת 2018. ביערות טרופיים לחים באגן האמזונס תועדו שלושה אירועים גדולים של תמותת יערות נרחבת משנת 2005. כמו כן, בדרום-מערב אוסטרליה תועדו פגיעות נרחבות ביערות במהלך השנים 2018–2019 (Hammond et al., 2022).

בארץ נערך סקר מקיף שבחן את ההיקף והגורמים לתמותה של עצים ביערות הארץ מ-1948 ועד 2017 (Klein et al., 2019). החוקרים דיווחו כי ההיקף הכולל של שטחי היער שנצפתה בהם תמותת עצים במהלך שבעת העשורים שנסקרו הוא כ-65 אלף דונם. נמצא, כי בשנים 1990–2010 תועדו 73% מסך כל מקרי תמותת העצים במהלך כל תקופת הסקר. בתקופה זו אירעו השנים החמות והיבשות ביותר בישראל, ובמהלכן התרחשו השרפות הגדולות ביותר שאירעו במדינה – השרפה בשער הגיא ב-1995 ושרפת הענק בכרמל ב-2010. בארץ נצפתה בעשורים האחרונים

של איקליפטוס, וכן ניטעו שיטת עלי ערבה (*A. salicina*) וארבעה מינים של אראוקריה, ברכיטון, קזוארינה ועוד (ביגר וליפשיץ, 1994). בעיר רחובות ניטע ארבורטום של עצי יער ע"ש מנחם אוסישקין. חלק מהעצים ששרדו מגן אקלום זה מצויים עד היום בשטח הפקולטה לחקלאות ברחובות ובמתחם מכון ויצמן סמוך לתחנת הרכבת של רחובות (מנדל, 2002). "הארבורטום הלאומי" הוקם באילנות, סמוך לנתניה, בשנות ה-50. כיום גדלים בו מעל 300 מינים שונים של עצים, שהובאו מאזורים גאוגרפיים שונים ברחבי העולם. בשנות ה-70 וה-80 של המאה הקודמת הוקמו עשרות חלקות אקלום באתרים שונים ברחבי הארץ, ונבחנו בהן התאמה של 135 מינים ואקוטיפים (תת-מין המתאים לתנאי בית גידול ספציפי) שונים. רוב העצים נבחנו באזור האקלים הים תיכוני, וחלק מהם באזור האקלים המדברי למחצה והמדברי (ויינשטיין, 2002). הסוגים העיקריים שנבחנו היו איקליפטוס, ברוש, אורן, שיטה, ינבוט, קזוארינה, טטרקליניס, קליטריס ומללויקה. בשנת 2001 החל מאמץ מרוכז לאקלום מיני איקליפטוס ושיטה לנטיעה ביערות במרחב דרום. שני מיני שיטה, שיטת אלטיו (*A. elatior*) ושיטה צהובת גזע (*A. xanthophloea*), הראו התפתחות טובה מאוד בנטיעות במרחב דרום. מאמץ רב הושקע בעשרים השנים האחרונות באקלום של מיני איקליפטוס שלא נבחנו בעבר. בסוג איקליפטוס קיימים מעל 700 מיני עצים שמקורם באוסטרליה, ומיעוטם צפונית לה, בגינאה החדשה. כללית, באזורים המאופיינים במשקעים רבים גדלים מיני איקליפטוס לגובה של 30–40 מטר, ואילו באזורים היבשניים גדלים מינים נמוכים, שמגיעים בבגרותם עד לגובה של 5–12 מטר, ולחלק מהם יש פריחה מרשימה וצוף בכמות גדולה. במהלך עשרות שנים של אקלום ניטעו מינים רבים של איקליפטוס בישראל, ונבחנו התאמתם של מינים נמוכי נוף לאזורים צחיחים. בשנים 2002–2004 הוקמו שבע חלקות מעקב, וניטעו בהן עשרות מינים שונים של איקליפטוס (קגן ואייזנבנד, 2011). החלקות ניטעו ביער איתן, ביער צרעה, במספר חלקות במשמר הנגב, בניר עוז, בדורות ובגילת. מדידת שיעור ההישרדות, מידת החיוניות וקצב הצימוח של העצים נערכה פעמיים בשנה, וכן נרשמו מועד הפריחה ומידת המשיכה של הדבורים. בשנת 2005 ניטעו שלוש חלקות מבחן נוספות בבית שאן, ביער רוויה וביער משמר הנגב. בשנת 2006 ניטעה חלקה בפארק באר שבע. בשנת 2007 ניטעה חלקה נוספת ביער שאללה בנגב המערבי.

נוסף על חלקות המבחן של האיקליפטוסים שהוקמו במהלך השנים, ניתן להבחין לעיתים קרובות בהצלחה יוצאת דופן של מיני איקליפטוס מסוימים בבתי גידול שונים בדרום, כמו איקליפטוס סלובריס (*Eucalyptus salubris*), איקליפטוס טורקוואטה (*E. torquata*), איקליפטוס סטריקלנדי (*E. stricklandii*), איקליפטוס פלטיפוס (*E. platypus*)

ועוד. נקודת ציון חשובה היא האקלום של האקוטיפ היווני של אורן ירושלים (*P. halepensis*), שהוכח כעמיד לכנימת המצוקוקוס הארץ-ישראלי, ואפשר את המשך הנטיעה של אורן ירושלים ביערות הארץ. מין זה היה המוביל בנטיעות ביערות קק"ל עד שנות ה-90. הוא עמיד יחסית ליובש, וניטע בהיקפים גדולים גם ביערות בדרום הארץ, שם היו יערות נטועים של אורן ברוטיה שנכחדו כמעט לחלוטין. בשנות ה-70 של המאה הקודמת התפשטה בארץ כנימת המצוקוקוס בשטחי יער רבים. בעקבות זאת, כבר בתחילת שנות ה-80 החלה קק"ל לייבא זרעים של אורן ירושלים ממקור יוני, שעמיד לכנימה. מזרעים אלה הוקמו חמש חלקות גם לזרעים לאורך מכל הגשם של ישראל מצפון לדרום (כרמיאל, נחל תות, משואה, אמציה וחירן), ובשני העשורים האחרונים הן משמשות מקור לכל שתילי אורן ירושלים הגדלים במשתלות קק"ל.

בתחילת המאה הקודמת היה רצון לפתח בישראל ענף יצרני של תפוקת עץ, כמקובל בארצות בעלות שטחי יער המשמשים לעצה. כשניטעו בארץ היערות הראשונים, רווחה הדעה שמיני העצים המקומיים אינם מתאימים להצמיח יערות גבוהי קומה. גישה זו הובילה לבחינת ההתאמה של מינים שהובאו ממקומות אחרים בעולם, שהתנאים הסביבתיים בהם, למשל האקלים, דומים לאלה של הארץ (לדוגמה: מיני איקליפטוס ומחטניים). הניסיון בארץ הוכיח שהפקת עץ מנטיעות יערניות בישראל אינה כלכלית.

רק בשנות ה-80 של המאה הקודמת החלה קק"ל לטעת מינים מקומיים, כמו אלון מצוי (*Quercus calliprinos*), חרוב מצוי (*Ceratonia siliqua*), שיטה סלילנית (*Acacia raddiana*) ואלה אטלנטית (*Pistacia atlantica*). נמצא כי לעתים קרובות מינים אלה אינם מסוגלים להתבסס בתנאי סביבה קשים, כמו רמת משקעים נמוכה, קרקעות דלות וקרקעות גירניות, ופעולות ייעור שהושקעו בהן משאבים רבים, בעיקר בדרום, ירדו לטמיון בשל נטיעת מינים מקומיים. חשוב לציין, כי לצד אקלום ופיתוח של שורת מינים וטיפוסים עמידים ליובש כפי שיתואר בהמשך, מבוצעות פעולות רבות אחרות לשיפור משק המים (קציר נגר), בעיקר עבור הנטיעות במרחב דרום, אך במאמר זה לא נעסוק בכך.

אקלום מיני עצים שימש כלי להעשרת מגוון המינים הגדלים בבתי הגידול הרבים והשונים המאפיינים את ישראל. לשם כך, הובאו ארצה מיני מחטניים, כגון אורן ברוטיה, אורן מקרין (*P. radiata*) וברוש מקרוקרפה (*C. macrocarpa*) מקליפורניה, המאופיינת באקלים ים תיכוני, וגם מאזורים אחרים באמריקה, מאירופה ומאפריקה. מאוסטרליה הובאו רחבי עלים, בעיקר מינים שונים של איקליפטוס. באתרים שונים ברחבי הארץ הוקמו חלקות אקלום (ארבורטום). בשנת 1920 הוקמה בקריית ענבים חלקת האקלום הראשונה לעצי יער בארץ. בחלקה ניטע אוסף של 60 מינים

ניטעים מכלואים של מיני אורן. בשיטה זו קיים פוטנציאל לפיתוח טיפוסים בעלי יתרון בעמידות למחלות ולמזיקים, בעמידות ליובש ועוד. לטיפוסים נבחרים אלה יש חשיבות רבה לכלל הנטיעות היערניות (Lebedev et al., 2020).

ג. **הנדסה גנטית** – השיטה מתייחסת למגוון טכניקות לביצוע שינויים בגנום של צמחים ובעלי חיים. לרוב מדובר על העברה בררנית של גנים או חלקים קטנים מהגנום לשם הוספת תכונה בודדת. בשנים האחרונות פותחה שיטה חדשה CRISPR-Cas9 (שינוי בגנום הצמח ללא הכנסה של גנים זרים) המותרת לשימוש בכל הארצות, כולל ישראל. השימוש בהנדסה גנטית להשבחה של עצי יער עדיין מצומצם בשל העלויות הגבוהות הכרוכות בו. דוגמה לכך הם הניסיונות שנעשו בארה"ב להשבחת איקליפטוס לעמידות לקור. נכון להיום טרם נעשה שימוש בשיטות של הנדסה גנטית להשבחה לצורכי ייעור בישראל.

המטרה העיקרית של השבחת עצי יער בישראל היא ניסיון לרבות ולגדל מינים וטיפוסים בעלי עמידות טובה ליובש, לקרקעות דלות, לקרקעות גירניות או נתרניות, למחלות ולמזיקים, לאירועי שלג ועוד, תוך התמקדות בעצי היער העיקריים הניטעים. שינוי האקלים מתבטא בעיקר במחזורים תכופים של שנות בצורת, ומחייב אותנו לשים דגש על תכונת העמידות ליובש.

### עיקרי פעולות השבחה שנעשו עד היום על ידי קק"ל

יש עניין רב באיתור פרטים המגלים כושר צימוח גבוה, בעיקר לנטיעות בדרום הארץ, כיוון שבאזור זה רבים מהמינים המקומיים שניטעו לא התפתחו לעצים ראויים. איתור הטיפוסים הרצויים לעמידות ליובש נעשה בעיקר בעומדי יער מהמינים העיקריים בייעור בישראל (אורנים, ברוש מצוי, ברוש אריזוני ועוד), שניזקו בעבר ממחזורים של שנות בצורת שהתרחשו בעשורים האחרונים, ולמעשה עברו ברירה טבעית.

בעשורים האחרונים החלו חוקרי יער בישראל לעסוק בפעולות השבחה. הם התמקדו במינים בעלי חשיבות עבור הייעור בישראל, כמו אורן ירושלים, מכלואים של אורן ברוטיה X אורן ירושלים, שיטה סלילנית, אלה אטלנטית ואלון התבור (*Q. ithaburensis*). החוקרים איתרו עצים נבחרים ("קלונים") המראים עמידות לתכונות מבוקשות, בעיקר ליובש, למזיקים או למחלות ולתנאי קרקע קשים, כמו קרקעות גירניות.

**מכלואים של אורן ברוטיה X אורן ירושלים** – מכלואים של שני המינים האלה, שנוצרו באמצעות הכלאות טבעיות, התגלו לראשונה ביוון ובאיטליה ובהמשך גם בישראל

איקליפטוס קורוגטה (*E. corrugate*) ועוד.

בשנים האחרונות לא נעשה ניסיון לאקלום מינים חדשים עקב לחץ גובר לשמר את אופיו המקורי והמקומי של הצומח ביער ובשטחים הפתוחים בישראל. נוסף על כך, יש המעלים את הטענה כי אקלום מינים בישראל עלול להביא לחדירת צמחים פולשים לישראל. עם זאת, מהלך אקלום קפדני שיתבסס על ידע קיים (סקירת ספרות), על הקמת חלקות אקלום קטנות באזורים שונים בארץ ועל מעקב רציף אחר התנהגות העצים הנבחרים, ימנע חדירה של צמחים פולשים.

### השבחה של עצי יער

**השבחה** (tree improvement) של עצי יער היא תהליך של יצירת טיפוסים של צמחים בעלי תכונות רצויות. ההשבחה נועדה בדרך כלל לספק מענה לצרכים או לאתגרים משתנים. בתחום המעשי של השבחת עצי יער ישנן מספר שיטות, והן יסקרו להלן.

א. **ברירה** (סלקציה) – שיטה זו מבוססת על ברירה של טיפוסים מצטיינים לתכונה רצויה. היא מבוססת על ההנחה כי התכונה שאובחנה בטיפוסים שנבחרו היא גנטית. ייצור שתילים של הטיפוסים הנבחרים לבחינה ובהמשך להכנת שתילים לנטיעות יערניות יכול להיעשות בשתי שיטות המאפשרות לשמר את התכונות הרצויות: 1. ריבוי וגטטיבי של הטיפוסים המצטיינים באמצעות השרשת ייחורים או תרבויות רקמה. השיטה המבטיחה ביותר בתרבויות רקמה היא ריבוי באמצעות עוברים סומטיים (יצירת מעין זרעים מְתָאִים של הטיפוס הנבחר); 2. יצירת מטעי אָם לזרעים, כלומר ביצוע הכלאות מבוקרות בין הטיפוסים הנבחרים ובחינה של הצאצאים המתקבלים מהזרעים. הורים, ששיעור גבוה של הצאצאים המתקבלים מהם מראים את התכונה המבוקשת, משמשים עצי אם לזרעים. שיטה זו מקובלת בארצות שיש בהן יערות מסחריים, ולפיכך נדרשת כמות גדולה של שתילים. יש להדגיש, שאם נעשית ברירה של מכלואים טבעיים, יצירת שתילים לבחינה ולנטיעות יערניות חייבת להיעשות על ידי ריבוי וגטטיבי. שיטת הברירה היא שיטת ההשבחה המקובלת ביותר בארצות היערניות ברחבי העולם (Lebedev et al., 2020).

ב. **הכלאות** – בשיטה זו נעשות הכלאות מבוקרות בין שני פרטים, הידועים בתכונותיהם הגנטיות הרצויות וביכולתם להפרות אחד את השני. השימוש בהכלאות מבוקרות נעשה עד היום בעיקר לפיתוח טיפוסים בעלי און כלאיים (כלומר בעלי צימוח נמרץ) ובעלי איכות גבוהה של עצה עבור יערות מסחריים. לדוגמה, באוסטרליה ובדרום אפריקה נעשה שימוש במכלואים של מיני שיטה ואיקליפטוס, ואילו בארה"ב

הארץ. כדי למצוא פרטים עמידים ליושב אותרה חלקת ברושים ביער יתיר שהתייבשה כמעט כולה לאחר מספר שנות בצורת רצופות, פרט לשמונה עצים. משמונת העצים האלה נלקחו ייחורים במטרה להשריש אותם ולבחון את עמידותם ליושב (ריוב ושות', 2022). שתילים שהוכנו מייחורים מושרשים נבחנו במערכת הליזימטרים שפותחה בפקולטה לחקלאות (מושליון ווולך, 2017), והראו עמידות גבוהה ליושב בהשוואה לשתילים של ברוש מצוי ממקור הזרעים הסטנדרטי של קק"ל. שתילים של הקלונים האלה ניטעו לפני מספר שנים בחלקת מבחן ממזרח לקיבוץ גת והם מראים התפתחות נמרצת מאוד. במקביל, פותחה שיטה יעילה ליצירת שתילים של הטיפוסים הנבחרים באמצעות השרשת ייחורים.

**שיטה סלילנית** – מסקר שנערך בנגב הצפוני נמצא כי שיטת הנגב (*Vachellia gerrardii*) מתפתחת היטב, בניגוד לשיטה סלילנית שהתפתחה לאט. הזרעים ליצירת השתילים של המין הזה נאספו באזור הערבה. במחקר שנערך באזורים שונים בנגב ובערבה נבחנו מאפיינים גנטיים של אוכלוסיות של שיטה סלילנית. נמצא שקיימים הבדלים גנטיים מובהקים בין אוכלוסיית הערבה לבין האוכלוסייה של הנגב הצפוני והמערבי (Shrestha et al., 2002). לשם בחינת הפוטנציאל של זרעים מעצים הגדלים בנגב הצפוני, נאספו זרעים מפרטים מצטיינים של שיטה סלילנית הגדלים בנגב הצפוני באופן טבעי או בחלקות נטועות, חלקם בראשי גבעות או מדרונות (קגן ומשה, 2012). השתילים שגודלו מהזרעים האלה ניטעו בחלקה ביער השגרירים (צפונית לבאר שבע) כדי לבחון אם מתפתחים מעצי האם צאצאים מצטיינים. המדדים היו: גודל העץ, חיוניותו וקצב הצמיחה. כבר לאחר שלוש שנים ניתן היה להמליץ על שלושה מקורות זרעים מצטיינים של המין הזה, שני פרטים מאזור סירת שקד ופרט אחד ממשמר הנגב. ממוצע קוטר הגזע שלהם היה יותר מכפול ממוצע הקוטר בצמחי הביקורת שגודלו מזרעים שנאספו בערבה. בדיקה נוספת שנעשתה בשנת 2021 בחלקה הראתה שוב יתרון לשלושת המקורות הללו. במשתלת קק"ל בגילת מגדלים שתילים ממקורות אלה עבור הנטיעות ביערות הדרום. עם זאת, יש לצין שקצב הגידול בשטח, גם של השתילים מהמקורות האלה, נמוך מהרצוי. במקביל להקמת החלקה ביער השגרירים הוקמה במנהל המחקר החקלאי-מרכז וולקני חלקה לשימור העצים המצטיינים באמצעות שתילים שהתקבלו בהרכבה. קיימת אפשרות שיצירת שתילים לנטיעה בשטח באמצעות ריבוי וגטטיבי של העצים המצטיינים תאפשר לקבל קצב גידול מהיר יחסית.

**אלון התבור** – נערך מחקר לאיתור טיפוסים עמידים ליושב של אלון התבור (בונפיל, 2015). המחקר התבסס על עצים

(ריוב ושות', 2015א). המכלואים הוותיקים בישראל מקורם בזרעים שהובאו בעיקר מיוון, אולם כיום ישנה בארץ אוכלוסייה הולכת וגדלה של מכלואים מהכלאות טבעיות מקומיות. חלק מעצי המכלוא בין שני המינים האלה מראים און כלאיים ועמידות לתנאי סביבה קשים, בעיקר ליושב. במרבית היערות במרחב דרום התגלו בעומדים של אורן ברוטיה, שהוא עץ האם, מכלואים מפותחים מאוד בעלי מראה חיוני, עמידים ליושב. זיהוי המכלואים נעשה במסגרת מחקר השבחה שנועד לבחון את הפוטנציאל שלהם, ובמהלכו הוקמה גם חלקה של עצי אם לייחורים בפקולטה לחקלאות ברחובות המשמשת את החוקרים בתחום זה (ריוב ושות', 2015ב). כיום נעשית עבודת דוקטור על המכלואים הללו, ופותחו במהלכה סמנים גנטיים מתקדמים לזיהוי מכלואים מדור F1, ששימשו לאיתור מכלואים ותיקים בעומדים שונים ברחבי הארץ לאורך מכל הגשם ולקביעת הממדים שלהם בהשוואה לאלה של עצי אורן ברוטיה הנטועים באותם עומדים (Houminer et al., 2021), ונלמדו תכונות מורפולוגיות ופיזיולוגיות שלהם בהשוואה לאלה של שני ההורים (Houminer et al., 2022). בהשוואה של ממדי המכלואים הוותיקים לאלה של אורן ברוטיה נמצא בדרך כלל יתרון למכלואים, שבלט במרחב דרום. לאחרונה הוקמה ביער שחריה חלקת מבחן של מכלואים, ונשתלו בה שתילים של מכלואים ותיקים שנוצרו באמצעות השרשת ייחורים, ושתילים של מכלואים מקומיים שמקורם בזרעים שזוהו באמצעות סמנים גנטיים.

מהכלאות מבוקרות בין שני המינים שנעשו ביוון וגם בארץ, נמצא ששיעור הצאצאים המראים און כלאיים אינו גבוה. לכן, מבחינה מעשית הסיכוי לקבל מכלואים מוצלחים באמצעות האבקה מלאכותית כדי לרבותם באמצעות זרעים – נמוך. קיימת אפשרות לרבות וגטטיבית מכלואים טבעיים בעלי און כלאיים, עמידות ליושב ועמידות סבירה לכנימת המצוקוקוס, מה שיתרום לקיצור משמעותי בזמן שאורך תהליך השבחה מזרעים. הייחורים ניטעים בחלקות מבחן כדי לוודא שאכן היתרון שהם מציגים עומד בזיקה ישירה לתכונה גנטית ולא לתנאי גידול מועדפים בבית הגידול (כיס קרקע עמוק, זמינות מים ועוד). ריבוי וגטטיבי מעצים בוגרים עשוי להיתקל בקשיי השתרשות של החומר הבוגר. בארץ פותחה שיטה לריבוי וגטטיבי של אורנים בוגרים, כולל מכלואים של אורן ברוטיה x אורן ירושלים (Riov et al., 2020).

**ברוש מצוי** – ברוש מצוי הוא אחד ממיני עצי המחט החשובים ביער בישראל ובאגן הים התיכון. הברוש המצוי נחשב עץ עמיד ליושב באופן יחסי למינים מחטניים אחרים. בשנים האחרונות בעקבות שינוי האקלים, המאופיין בין היתר בתקופות יובש ארוכות, בייחוד לאחר רצף אירועי בצורת, אנו צופים בהתייבשות נרחבת של עצים רבים ואף של חלקות שלמות של מין זה, בעיקר ביערות בדרום

הנהוג בקק"ל לביסוס הנטיעות יעיל, ואין צורך לשנותו. בניסוי שנערך באתר דודאים נבחנו שמונה טיפוסים מנחל ניצנה וטיפוס אחד מנחל אלות שניטעו בלימנים ובשיחים. לא נמצאו הבדלים מובהקים בקוטר ובגובה של השתילים בין שני המקורות, אולם כמה פרטים שמקורם מנחל אלות היו בעלי ממדים גדולים יחסית. לנטיעה בשיחים היה יתרון קל מבחינת ההתפתחות של השתילים על פני הנטיעה בלימנים.

**איקליפטוס** – בסוג איקליפטוס נעשו שני מחקרי השבחה. בעבודה הראשונה שנעשתה בעשור הראשון של המאה הנוכחית נבחנו טיפוסים בעלי ממדים גדולים או גזע ישר ממספר מינים וכן טיפוסים של איקליפטוס המקור שלא הראו נגיעות בצרעות עפצים. העצים הנבחרים חוגרו חלקית בבסיס הגזע, והסורים היובנליים שפרצו שימשו מקור להכנת שתילים באמצעות השרשת ייחורים. השתילים שהתקבלו ניטעו בחלקת מבחן במושב גהה הסמוך לאשקלון. כל הטיפוסים שניטעו התפתחו בקצב נמרץ. מבחינה מעשית יש כיום שימוש רק באחד הטיפוסים, מכלוא הנקרא "נתן 1", כמשבר רוח בשטחים חקלאיים. המחקר השני התמקד בעצים גדולי ממדים ביערות במרחב דרום, שעל בסיס תכונה זו, החיוניות הרבה שלהם ומאפיינים מורפולוגיים, ניתן להניח שהם מכלואים (ריוב ושות', 2016). במחקר נכללו 17 טיפוסים שונים, ונקודות הציון שלהם מפורטות בדו"ח של המחקר. בשלב הראשון של המחקר פותחו סמנים מולקולריים לזיהוי ההורים הנקביים וההורים הזכריים של המכלואים. באנליזה שנערכה זהו חלק מהטיפוסים הנבחרים כמכלואים, חלק אחר זהו כמכלואים בספק, והשאר לא זהו כמכלואים. לקבלת מסקנות סופיות לגבי הזהות הגנטית של כל הטיפוסים נדרשת אנליזה נוספת. בשל בעיות תקציב בקק"ל, המחקר הופסק טרם זמנו.

בימים אלה נבחנו מינים וטיפוסים נוספים של עצים מבחינת צימוח, עמידות לגיר ועוד, ובהם ברוש אריזוני תת-מין אריזוני, ברוש אטלנטי (*C. atlantica*) ושיטה סלילנית, כמו גם מינים שונים של ארזים. שתילים של טיפוסים שיימצאו מוצלחים יגודלו מזרעים של עצי אם נבחרים או מייחורים מושרשים, חלק מהם עבור נטיעות יערניות וחלק עבור גינון עירוני.

פעולות ההשבחה שהתבצעו לאורך השנים הראו פוטנציאל לשיפור ההצלחה של היערות הנטועים בארץ, אולם נוצלו רק בקנה מידה קטן מאוד של ביסוס יערות בתנאים קשים באתרים שונים ברחבי הארץ. יש להמשיך ולקיימן כדי לחדש ולהקים יערות לטובת הציבור והסביבה, בהתאם לייעודי היער (אסם ושות', 2014) והשטחים הפתוחים, תוך התייחסות להשלכות שינוי האקלים באזורנו ולאתגרים הרבים העומדים לפתחנו.

עתיקים באתרים שונים, בהנחה שגילם הגבוה משקף עמידות לתנאי יובש ששררו במהלך השנים. המחקר כלל שני שלבים: 1. בחינת מאזן המים של עצי האם במהלך הקיץ; 2. בחינת התגובה ליובש של שתילים שיוצרו מעצי האם השונים באמצעות מערכת ליזימטרים. בשלב הראשון של המחקר נמצא שהעצים בגבעת חציר הם בעלי עמידות גבוהה ליובש, המתבטאת בהתנהגות שמרנית של ניהול משק המים המרמזת על התנהגות איזוהידרית, כלומר שמירה על פוטנציאל מים קבוע באמצעות סגירת הפיוניות. נוסף על כך, נמצא שהעצים מאותו אתר שונים בדרך כלל גנטית זה מזה. לפיכך, השתילים שנבחנו בעמידות ליובש יוצרו מזרעים שנאספו מעצי אם נפרדים בכל אתר, ולא מכלל האוכלוסייה של האתרים השונים. למרות השונות הגנטית בין העצים באותו אתר ניתן היה לסווג את התגובה ליובש של השתילים שמקורם באתרים השונים לשלושה טיפוסים התנהגות: 1. התנהגות שמרנית, שאובחנה שוב גם בשתילים שמקורם בגבעת חציר; 2. התנהגות לא שמרנית דמוית אנאיזוהידרית, המתבטאת בירידה חדה בפוטנציאל המים שמוליכה להתייבשות מהירה; 3. טיפוס ביניים. השתילים מהמקורות השונים הראו גם כושר צימוח שונה, אולם הוא הושפע גם מהעובדה שהשתילים גודלו במכלים בעלי נפח מוגבל. קבוצת המחקר ציינה שלפני השימוש בטיפוסים אלה לנטיעות יערניות יש לבחון את מקורות הזרעים השונים בחלקת מבחן בשטח כדי ללמוד את התנהגותם בתנאים טבעיים.

**אלה אטלנטית** – בדומה למחקר באלון התבור, נערך מחקר לבחינת העמידות ליובש של אוכלוסיות שונות של אלה אטלנטית הגדלות באתרים שונים לאורך מפל הגשם בארץ (רייזמן-ברמן ובוקן, 2016). למעשה, העמידות ליובש נבחנה בשתי תוכניות מחקר עוקבות, והדו"ח המסכם של תוכנית המחקר השנייה, המצוטט לעיל, כולל גם את הממצאים של תוכנית המחקר הראשונה. בשלב הראשון של המחקר נבחנה העמידות ליובש של שתילים שגודלו בחממה באמצעות הפסקת ההשקיה. בניסוי נמצאו הבדלים משמעותיים בעמידות ליובש בין השתילים שייצגו אתרים שונים: השתילים שמקורם היה מנחל ניצנה ובנחל אלות שבה נגב הראו עמידות גבוהה יותר מזו של השתילים שמקורם היה באתרים באזורי המרכז והצפון. כמו כן, נמצאו הבדלים בקצב הצימוח בין השתילים מהאתרים השונים. בשלב השני של המחקר נערכו ניסויי שטח בשדה בוקר, שכללו שני ניסויים לבחינת ההתבססות וההתפתחות של טיפוסים (גנוטיפים) מאוכלוסיות שונות וניסוי לבחינת משטרי השקיה שונים לאחר הנטיעה. כללית, במעקב שנערך כשנה לאחר הנטיעה נמצא שכמעט כל השתילים מהאוכלוסיות השונות שרדו, אולם נמצאו ביניהם הבדלים בולטים בקצב הצימוח. כמו כן, נמצא שמשטר ההשקיה

## סיכום

המין היא התפתחות איטית של השתילים לאחר הנטיעה, בעיקר במרחב דרום. שנית, בביצוע עבודות ההשבחה יש ליישם את השיטות המקובלות שפורטו (ברירה, הכלאות והנדסה גנטית) בהשבחה של עצי יער. בחלק מעבודות ההשבחה שתוארו לעיל, מקור השתילים של הטיפוסים המצטיינים שנבחנו היה זרעים ולא ריבוי וגטטיבי. ריבוי מזרעים אינו מבטיח את שימור התכונות של עצי האם. לניצול תוצרי ההשבחה לנטיעת יערניות יש להקים תשתית מתאימה לריבוי וגטטיבי של הטיפוסים הנבחרים במשתלות של קק"ל, כגון חממות ריבוי מבוקרות טמפרטורה קייצית, שולחנות ריבוי מחוממים, מערכת התזה ממוחשבת וצוות עובדים מיומן.

## תודות

אנו מעוניינים להביע את תודתנו לפרופ' צביקה מנדל ולפרופ' יוסי ריוב על עזרתם באיסוף המידע הרב והעצות החשובות במהלך כתיבת מאמר זה.

אקלום של מינים לנטיעות יערניות היה שלב חשוב בתהליך של הקמת היערות בארץ, ומינים מאוקלמים הם מרכיב בולט ביערות האלה. כיום קיים בארץ מאגר גדול הן של מינים מאוקלמים הן של מינים מקומיים, המאפשר את הצלחת הנטיעות היערניות. עם זאת, שינוי האקלים והצפי להתחזקותו בעתיד, וכן האפשרות להתרחשות של פגעים נוספים, כמו למשל נגיעות במזיקים, מחייבים עבודות השבחה לפיתוח טיפוסים עמידים ליובש ולפגעים אחרים. עבודות ההשבחה אמורות להתבסס על המאגר הקיים של המינים המשמשים לנטיעות יערניות. אקלום של מינים או טיפוסים מסוימים יעשה רק לצרכים מיוחדים, כמו למשל אקלום של טיפוס זקוף של אורן ברוטיה העמיד לשלג. ביצוע עבודות השבחה מחייב התייחסות למספר נקודות. ראשית, יש להגדיר את המטרה של ההשבחה בהתאם לנדרש להצלחת הנטיעות של המינים השונים בהתבסס על הניסיון שנצבר בארץ. עבודת ההשבחה על אלו התבחר, למשל, התמקדה בעמידות ליובש, בעוד שהבעיה העיקרית של

## מקורות

- אסם י, ברנד ד, טאבור י, פרבלוצקי וצורף ח. 2014. תורת ניהול היער בישראל: מדיניות והנחיות לתכנון ולמשק היער. קרן קימת לישראל.
- בונפיל ה-7. 2015. טיפוסים עמידים ליובש של אלו התבור *Quercus ithaburensis* (Decene.) לנטיעה ביערות קק"ל (עבודת גמר לתואר שני). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.
- ביגר ג וליפשיץ נ. 1994. עצים אוסטרליים בארץ-ישראל. דו"ח מחקר לקרן קימת לישראל.
- גולן ע. 2018. תוצאות סקר אווירי לתיעוד תמותת עצים ביערות קק"ל. דו"ח מוגש לקרן קימת לישראל.
- וינשטיין א. 2002. אקלום עצי יער בבתי גידול שונים בישראל. יער, 2, 47-51.
- מושליון מ וולך ר. 2017. שימוש בייחורי אורן ירושלים מצמחי אם עמידים לתנאי יובש קיצוני, לבחינת שיטות סלקציה פונקציונלית יעילה והקמת חלקות ניסוי ומעקב רב גנוטיפיות. דו"ח מסכם למחקר 10-03-007-15 מוגש לקרן קימת לישראל.
- מנדל צ. 2002. סקירה על התפתחות מחקר היער בישראל במאה העשרים. יער, 1, 6-1.
- קגן ס ואייזנבנד א. 2011. אקלום עצים לנטיעה באזורים יבשים. דו"ח מסכם למחקר 256-0608-11 מוגש לקרן קימת לישראל.
- קגן ס ומשה י. 2012. בחינת האוכלוסיות השונות של השיטים המקומיות לצורך התאמתן לבתי גידול שונים בדרום. דו"ח מסכם למחקר 256-0836-10 מוגש לקרן קימת לישראל.
- ריוב י, מדמני ע, קורול ל, מנדל צ, דוד שורץ רקפת, שקלאר ג, כלב א וסיטבון ר. 2015. סקירה של מכלואים של אורן ברוטיה x אורן ירושלים – תפוצה, הכלאות, זיהוי, ריבוי ועמידות לכנימת המצוקוקוס הא". יער, 15, 48-55.
- ריוב י, קורול ל, שקלאר ג ומשה י. 2015. מכלואים של אורן ברוטיה x אורן ירושלים: מיפוי, מדידה, בחינת הרקע והכנת שתילים לבחינת העמידות ליובש ולכנימת המצוקוקוס הא". דו"ח מסכם למחקר 10-03-007-13 מוגש לקרן קימת לישראל.
- ריוב י, קורול ל, שקלאר ג ומשה י. 2016. ניצול מכלואים טבעיים מוצלחים של הריבוי הווגטטיבי להכנת שתילים. דו"ח מסכם למחקר 10-01-011-15 מוגש לקרן קימת לישראל.
- ריוב י, רגב ה והוברמן מ. 2022. פיתוח טיפוסים עמידים ליובש של ברוש מצוי ושיפור שיטת הריבוי הווגטטיבי באמצעות השרשת ייחורים כדי לאפשר שימוש בטיפוסים הנבחרים לנטיעות יערניות. יער, 22, 38-48.
- רייזמן-ברמן א ובוקן ב. 2016. אלה אטלנטית *Pistacia atlantica*: בירור גנוטיפים ואוכלוסיות להתבססות מוצלחת בשטחי יער בצפון הנגב – המשך מחקר. דו"ח מסכם למחקר 857-0715-14 מוגש לקרן קימת לישראל.
- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, et al. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660-684.
- Hammond WM, Williams AP, Abatzoglou JT, Adams HD, Klein T, López R, et al. 2022. Global field observations of tree die-off reveal hotter – drought fingerprint for Earth's forests. *Nature Communications*, 13, 1761.
- Houminer N, Doron-Faigenboim A, Shklar G, De La Torre AR, Neale D, Korol L, et al. 2021. Transcriptome-based single-nucleotide polymorphism markers between *Pinus brutia* and *Pinus halepensis* and the analysis of their hybrids. *Tree Genetics & Genomes*, 17, 14.
- Houminer n, Riov J, Moshelion M, Osem Y, and David-Schwartz R. 2022. Comparison of morphological and physiological traits between *Pinus brutia*, *Pinus halepensis*, and their vigorous hybrids. *Forests*, 13, 1477.
- Klein T, Di Matteo G, Rotenberg E, Cohen S, and Yakir D. 2013. Differential ecophysiological response of a major Mediterranean pine species across a climatic gradient. *Tree Physiology*, 33, 26-36.
- Klein T, Cahanovitch R, Sprintsin M, Her N, and Schiller G. 2019. A nationwide analysis of tree mortality under climate change: Forest loss and its causes in Israel 1948-2017. *Forest Ecology and Management* 432, 840-849.

Shrestha MK, Golan (Goldhirsh) A, and Ward D, 2002. Population genetic structure and the conservation of isolated populations of *Acacia raddiana* in the Negev Desert. *Biological Conservation*, 108(1), 119–127.

Lebedev VG, Lebedeva TN, Chernodubov AI, and Shestibratov KA. 2020. Genomic Selection for Forest Tree Improvement: Methods, Achievements and Perspectives. *Forests*, 11(11), 1190.

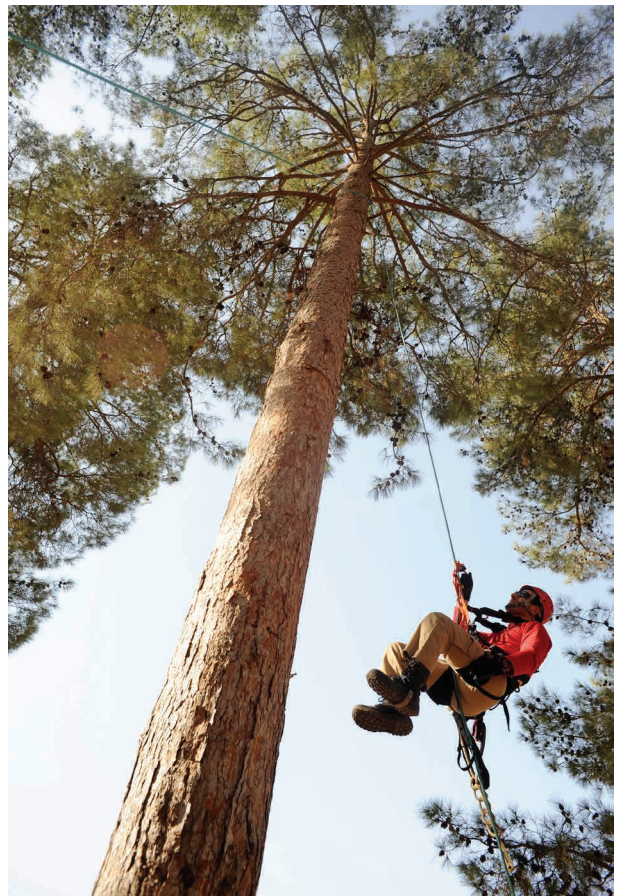
Riov J, Fox H, Attias R, Shklar G, Farkash-Haim L, Sittbon R, et al. 2020. Improved method for vegetative propagation of *Pinus halepensis* and its hybrids by cuttings. *Israel Journal of Plant Sciences*, 67(1–2), 5–15.



איסוף תרמילי שיטת אלטיוור באמצעות מנוף, 2016  
צילום: חגי יבלוביץ'



איסוף אצטרובלים מארז ביער ביריה, 2018  
צילום: חגי יבלוביץ'



טיפוס על אורן ברוטיה לאיסוף אצטרובלים, 2016  
צילום: אמיר הרמס



איסוף פירות של שיזף מצוי באזור להב, 2015  
צילום: חגי יבלוביץ'