התפשטות אורן ירושלים מיערות נטועים לשטחים פתוחים – תהליכים אקולוגיים והשלכות נופיות

יוני וייץ [1, 2]*, אבי פרבולוצקי [2] ויפית כהן [3]

[1] החוג לאיכות סביבה ומשאבי טבע בחקלאות, הפקולטה לחקלאות המזון ואיכות הסביבה,
האוניברסיטה העברית בירושלים
[2] המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח,
מִנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
[3] הנדסת מערכות חישה, מידע ומיכון, המכון להנדסה חקלאית,
מִנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
* yonyonw@gmail.com

יער שחריה והאזור שעצי אורן ירושלים מתפשטים אליו | צילום: יוני וייץ

תקציר

התפשטות אורן ירושלים מיערות נטועים לשטחים פתוחים היא תהליך שעשוי להביא, תוך מספר עשורים, לשינוי משמעותי בנוף הצומח – מעבר משטח ריק מאורנים לכיסוי בדרגות שונות על־ידי אורנים. באתר המחקר – יער שחריה בשפלת יהודה – זוהה תהליך של התפשטות האורנים מתוך יער נטוע לבתה של סירה קוצנית. מאמר זה בוחן את אופי התהליך באזור ים תיכוני וצחיח למחצה בשנים 2010–2012, באמצעות כלי ממ"ג וחישה מרחוק.

מניתוח נתוני אוכלוסיית האורן המתפשטת במרחב נמצא קשר בין צפיפות האורנים ליחידת שטח לבין גורמים סביבתיים (מרחק מקו היער וסוג תכסית הקרקע). לא נמצא קשר בין המרחק מהיער הנטוע לגיל האורנים במדגם הגילים.

בניתוח משווה בין אתרי ההתבססות של אורנים ובמיון תצלומי אוויר דיגיטליים באמצעות כלי חישה מרחוק נמצא כי ישנה העדפה להתבססות בשיחים נמוכים ובקרבת סלעים על פני התבססות בקרקע חשופה או בקרקע בעלת כיסוי עשבוני.

הנתונים שנאספו במחקר שימשו לבניית הדמיה מרחבית בסביבת ממ"ג המבוססת על האוכלוסייה באתר. נמצא כי לאחר 60 שנים מתחילת ההדמיה, בין השנים 2010–2070, יתקבל נוף יער פארק של אורנים משולבים בבתה.

מחקר זה מספק כלי חיזוי לתופעות ביולוגיות שיכתיבו את אופיו של הנוף העתידי בחלקים ניכרים של השטחים הפתוחים הים תיכוניים בישראל. העוסקים בשטחים הפתוחים יכולים להיעזר בחיזוי המוצג כאן כדי לקבל החלטות מושכלות על טיפולים מקדימים בשטח, שיעודדו או ימנעו את המעבר מנוף בתה או גריגה ליער מלא.

מילות מפתח: אורן ירושלים · התפשטות · חישה מרחוק · ממ"ג · נישות · שטחים פתוחים

חדית המחקר

מבוא

אורן ירושלים (*Pinus halepensis* Mill). הוא מרכיב עתיק בפלורה בישראל [3], אך הדעות חלוקות בשאלה אם בעבר תפס מקום מרכזי בפלורה של אזורנו ואף היה רכיב דומיננטי בחברה טבעית כפי שהציג זאת זוהרי [2]. מצד שני, יש הטוענים שהאורן היה תמיד מין נלווה ומשני לחברה שבשליטת האלון המצוי, והופיע בפיזור דליל של עצים במרחב החורש [3, 8].

התפשטות אורן ירושלים מיערות נטועים לשטחים פתוחים זוהתה במקומות רבים בעולם [11], ובהם ישראל [7, 10].

יכולת ההתפשטות הגבוהה של אורן ירושלים נובעת מהיותו מין חלוץ, המאופיין בהפצת זרעים נרחבת ובהתפתחות מהירה של השלבים הצעירים של העץ עד להגעה לשלב הבוגר [5]. נוסף על כך, הרוח היא גורם ההפצה העיקרי של זרעי האורן, ושיטת ההפצה מותאמת לתנאים המקומיים – הפצה מוגברת בעקבות רוחות שרב ולאחר שרֶפות [9]. תהליך זה עשוי לשנות את נוף הצומח, שיכול להפוך משטח ריק מאורנים ליער בדרגות שונות של כיסוי אורנים.

את האוכלוסייה החדשה של האורנים ניתן לתאר באמצעות שלשה מאפיינים בלתי תלויים:

א. צפיפות הפרטים (מספר אורנים ליחידת שטח).

ב. התפלגות הגילים.

ג. פיזיוגנומיה (צמיחה, מבנה הנוף) של האורנים.

במחקרים העוסקים באפיון אוכלוסיות האורן שמתפשטות בבתי גידול שונים בארץ, טרם נבחנו התפתחות האוכלוסייה לפי מאפייני האוכלוסייה הללו או הקשר בין המאפיינים לגורמים סביבתיים ועִתיים שונים.

מטרת המחקר היא להגדיר ולכמת את הדינמיקה של ההתפשטות במרחב ובזמן של אורנים (אורן ירושלים) מהיער הנטוע לסביבה הטבעית בתנאי סביבה שונים (משקעים, תשתית סלע־קרקע, חברת צומח) ואת השפעת התהליכים הללו על תצורות נוף הצומח ה'טבעי' (אחרי אלפי שנות פעולת אדם בשטח).

מטרות משנה:

א. ניתוח מרחבי של מאפייני האוכלוסייה המתפשטת והקשר בין המאפיינים לבין הגורמים הסביבתיים.

ב. אפיון נישות ההתבססות של אורנים בשטחים פתוחים.

ג. חיזוי הקצב והעוצמה של התפשטות אורנים במרחב הטבעי בעתיד.

השערות המחקר הן:

א. מאפייני האוכלוסייה המתפשטת יהיו כדלהלן – צפיפות הפרטים ליחידת שטח תושפע מהמרחק ממקור הזרעים ומהתנאים הביוטיים והאביוטיים המקומיים; התפלגות הגילים במרחב תושפע מהמרחק ממקור הזרעים.

ב. נישות מסוימות יהיו אתרי התבססות מוצלחים יותר מאשר נישות אחרות, מאחר ששוררים בהן תנאים אקולוגיים משופרים (בעיקר משק מים).

ג. תהליכי התפשטות האורנים למרחב הטבעי יְיצרו שכבת צומח גבוהה, שעם הזמן תביא להופעת תצורת יער. היער יחליף את נוף הצומח ששלט במקום לפני תחילת תהליך התפשטות האורנים. את אופי נוף הצומח המתפתח יכתיבו מאפיינים אקולוגיים של המרחב (למשל, פיזור נישות ההתבססות) ושל תהליכי ההתפשטות (למשל, קצב כניסת אורנים חדשים לשטח).

על קצה המזלג

* יערות אורן ירושלים מתפשטים משטחים נטועים לאזורים סמוכים בעלי צמחייה טבעית בתהליך דינמי ומשמעותי, שנצפה בשנים האחרונות באזורים שונים בארץ.
* תהליך ההתפשטות הספונטנית מושפע לא רק מתנאים סביבתיים, אלא גם מפעילות אדם (כגון רעייה, שרֵפה ודילול עצים).
* המחקר בדק את אופי התהליך באזור ים תיכוני צחיח למחצה, ומצא העדפה להתבססות אורנים סמוך לשיחי סירה קוצנית ולסלעים. מוערך כי תוך כ־60 שנה יהפוך שטח הבתה ליער אורנים משולב בבתה.
* חשוב להבין את השפעת התהליך על המבנה ועל התפקוד של המערכת האקולוגית לשם תכנון ממשק התערבות.
* שאלת ההתערבות בתהליך מעלה לדיון את מקומם של עצי אורן ירושלים בנוף ארצנו - מין פולש או מין שהושב לארץ?

המערכת

שיטות

אזור המחקר

מאמר זה מתמקד בממצאים מאתר אחד: אזור יער שחריה בדרום־מערב שפלת יהודה. מדובר באזור ים תיכוני, צחיח למחצה, שנהנה מכמות משקעים ממוצעת של כ־400 מ"מ גשם לשנה [1]. בַּמקום ניטעו עצי אורן ירושלים לראשונה על־ידי קק"ל בשנת 1956. שטח המחקר נמצא מצפון וממזרח ליער, ממוקם על גבעות קירטון נמוכות המכוסות בתצורת צומח אחידה יחסית – בתה של סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*) כמין שליט ואשחר ארץ־ישראלי (*Rhamnus palaestinus*) כמין נלווה. בערוצים בין הגבעות צומחים עשבוניים חד־שנתיים או גידולים חקלאיים. מפה ותצלומי אוויר של השטח ניתן למצוא במחקרו של וייץ [1]. ברוב שטח המחקר, למעט האזורים הדרומיים, ישנה רעיית בקר בלחץ בינוני.

ניתוח האוכלוסייה של אורן ירושלים נעשה בסביבת ממ"ג (מערכת מידע גאוגרפית – GIS) בתכנת ArcGIS 10 (ESRI).

ניתוח מרחבי של מאפייני אוכלוסיית אורן ירושלים המתפשטת

צפיפות האורנים – באמצעות תצלומי אוויר עדכניים וישנים נערך מיפוי מלא של אוכלוסיית האורנים באתר. דיוק הזיהוי של האורנים (מעל גובה 1.3 מטר) עומד על כ־92% (רווח בר־סמך – 10%). ניתוח הצפיפות נערך על פי דגם פיזור האורנים במרחב באזור ההתפשטות, בשטח של כ־640 דונם. פיזור האורנים במרחב נבחן ברגרסיה לינֵארית (OLS - ordinary least square) למציאת הקשר בין הצפיפות – מספר האורנים הממופים בתאי שטח רבועים (50X50 מ"ר) – למשתנים המרחביים: המרחק הממוצע מקו היער של מרכז התא, שיפוע ממוצע, מפנה, תכסית קרקע (שיחים, מסלע וקרקע או עשבוניים). גודל התאים שנבחר מאפשר ניתוח מיטבי של תצלום האוויר ושל צפיפות האורנים.

המשתנים המרחביים כומתו באמצעות מיון על פי שני מדדים ספקטריים (ירקוּת – greenness ובהירות – brightness) שחושבו משכבות הצבע של תצלום אוויר דיגיטלי משנת 2010 (ברזולוציה של 0.25X0.25 מטר לפיקסל). המיון, שאומת באופן חזותי מתצלומי האוויר, נמצא ברמת דיוק של 94%.

נמצא שהקשר בין המרחק מקו היער לצפיפות יורד באופן לוגריתמי, והוא תוקן לפי log לשם הניתוח הסטטיסטי.

התפלגות גילים – התפלגות גיל האורנים באוכלוסייה נקבעה באמצעות שני מדגמים נפרדים – מדגם בוגרים ומדגם צעירים. גילם של הבוגרים – פרטים מעל גובה 1.3 מטר, שנבחרו באקראי מתוך האורנים שמופו מתצלום האוויר, נאמד באמצעות ספירת טבעות גידול שנתיות. מדגם הצעירים – פרטים הנמוכים מ־1.3 מטר, מגיל 2 שנים ומעלה, שנספרו בתאי שטח מצומצמים

וגילם נאמד באמצעות ספירת דורים (whorl) המתפתחים אחת לשנה בעונה הלחה. מדגם הבוגרים שימש לבחינת הקשר בין גיל האורנים למרחק מקו היער (מקור הזרעים) באמצעות רגרסיה ליניארית ובחינת מקדם המתאם (R^2) של הקשר בין המרחק לגיל.

אפיון נישות ההתבססות של אורנים בשטחים פתוחים

נערכה השוואה בין אחוזי הנביטה של אורנים בנישות שונות לחלוקה המרחבית (אחוז הכיסוי) של השטח בין נישות אלה (הוגדרו ארבע נישות מרכזיות: קרקע חשופה או צומח עשבוני; שיח נמוך; עץ; סלע). אחוזי הנביטה בין הנישות כומתו באמצעות סקר האוכלוסייה המתבססת. חלוקת השטח בין הנישות נעשתה מתוך הניתוח הספקטרי של תצלומי האוויר הדיגיטליים לפי קטגוריות תכסית הקרקע.

הנחות היסוד לניתוח המרחבי הן:

א. נוכחות אורנים בגילאי הסקר (2–8 שנים) היא ביטוי להתבססות מוצלחת.

ב. ניתן לחלק את השטח לסוגי הנישות שלעיל באופן מובחן.

ג. לאורך זמן, אין מגבלות על ההפצה. כלומר, ישנה הסתברות דומה לזרע להגיע לכל מקום בשטח.

נישת ההתבססות של האורנים נקבעה מתוך מדגם אקראי של 78 פרטים צעירים שעברו לפחות עונה יבשה אחת, שגילם 2 עד 8 שנים ושגובהם נמוך מ־1.8 מטר. ההערכה היא שהנישה שהפרטים הללו התבססו בה, לא השתנתה באופן מהותי מעונת ההתבססות ועד לעונת המדגם בקיץ 2011. מדגם זה אינו תלוי במדגם של התפלגות הגילים באוכלוסייה הבוגרת.

צפיפות הפרטים במדגם בנישות השונות הושוותה לגודל היחסי של כל אחת מקטגוריות הנישות על ידי המבחן הא־פרמטרי כִי בריבוע (χ^2 test).

הדמיה של תהליך מילוי השטח על־ידי האורנים לאורך זמן

הדמיה מרחבית בסביבת ממ"ג בחנה את המשך תהליך מילוי השטח על־ידי אורנים. ההדמיה נבנתה לפי הנתונים שנאספו במחקר ועל בסיס התמונה העכשווית של האתר. המשתנים העיקריים שהרכיבו את ההדמיה היו: קצב הכניסה של אורנים לשטח בהפצה ארוכת טווח מהיער הנטוע; סיכויי ההתבססות בנישות שונות; קצב גדילת היטל־העל של האורנים. קצב הכניסה של הזרעים על־ידי הפצה נקבע לפי יחידות זמן שוות לשטח, שחולק לרשת של תאים בגודל 4 מ"ר. כניסת הזרעים לשטח נקבעה באמצעות הגרלה אקראית ובשילוב שיקולים מרחביים (תגובה למרחק מקו היער) במחזורים של 3 שנים למשך 60 שנים (20 מחזורים), החל בתמונת המצב בשנת 2010 שהיא נקודת האפס של ההדמיה. הצלחת ההתבססות בכל מחזור נקבעה באופן אקראי בשילוב עם ערך הסתברותי, התלוי בסוג תכסית הקרקע בתא השטח (נישות טובות או גרועות). אופן השפעת הנישות השונות נקבע לפי התוצאות שהתקבלו מסקר האוכלוסייה המתבססת, כמפורט בתת־הפרק הקודם. גדילת האורנים (לפי היטל־העל) נקבעה על פי משוואת גידול סיגמואידית, שחושבה לפי קצב הגידול של האורנים בשטח המחקר.

תיאור מפורט יותר של השיטות ניתן למצוא במחקרו של וייץ[1].

תוצאות

ניתוח מרחבי של מאפייני אוכלוסיית אורן ירושלים המתפשטת

צפיפות האורנים – הרגרסיה מרובת המשתנים שנמצאה בעלת מקדם המתאם הגבוה ביותר (R^2=0.378, Adjusted R^2=0.371) הראתה כי למשתנים הבאים: מרחק מקו היער (ה־log של המרחק), כיסוי קרקע (%) וכיסוי סלע (%) – השפעה מובהקת על צפיפות האורנים לפי המשתנה המתוקן (איור 1).

התפלגות גילים – באיור 2 מוצגת התפלגות הגילים של האורנים המתפשטים באזור שחריה. ההתפשטות החלה בשנת 1990, כ־33 שנים לאחר מועד הנטיעה. בתחילה נראתה עלייה הדרגתית בקצב התפשטות האורנים שארכה 5–10 שנים, ולאחריה התקבל קצב התפשטות אחיד יחסית.

איור 3 מתאר את הקשר בין גיל האורנים למרחקם מהנקודה הקרובה ביותר מקו היער הנטוע. ברגרסיה ליניארית נמצא שאין קשר מובהק בין גיל האורנים למרחקם מקו היער (Sig=0.75).

אפיון נישות ההתבססות של אורנים בשטחים פתוחים

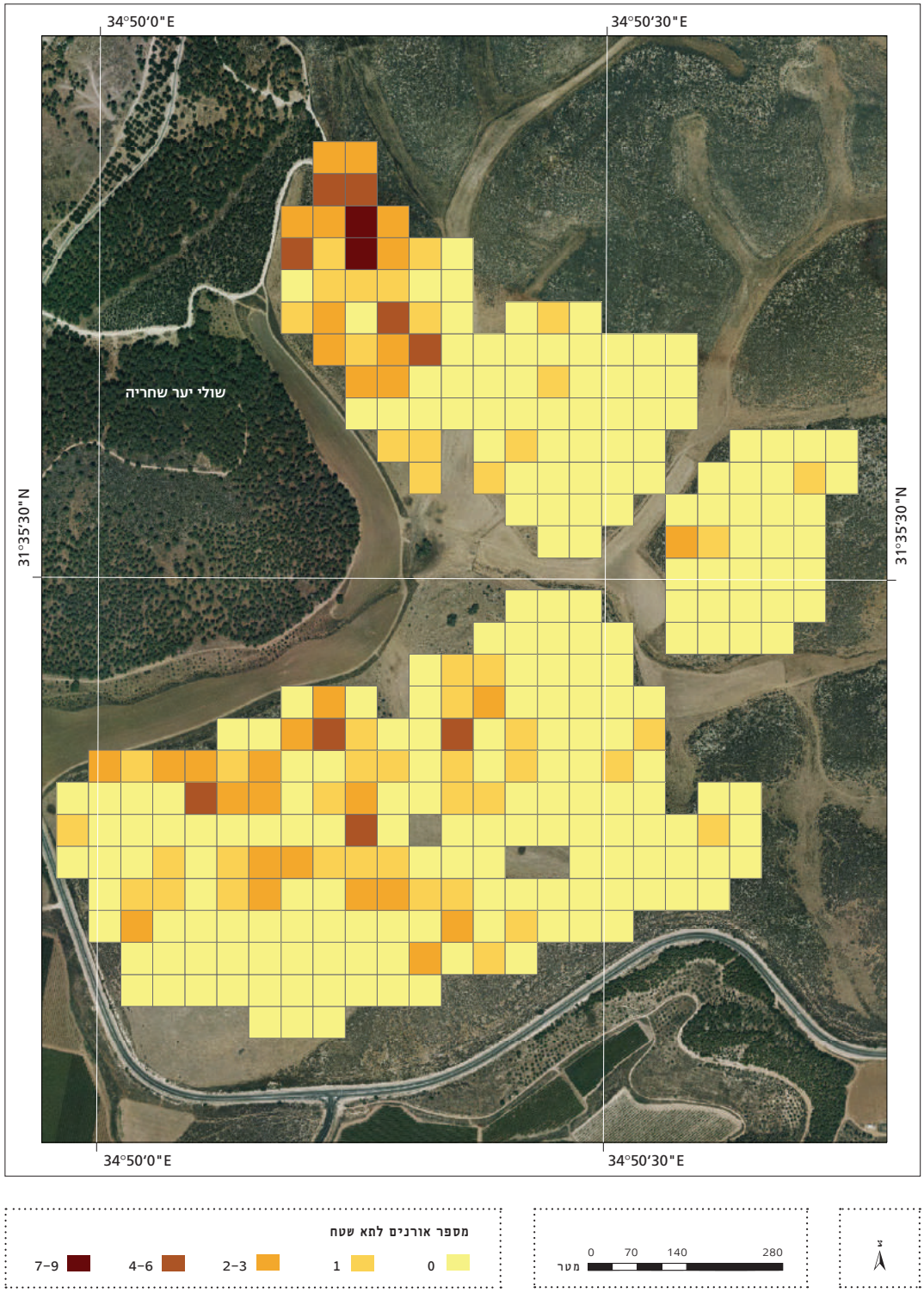
באיור 4 מוצגת השוואת החלק היחסי שתופסת כל קטגוריה של תכסית הקרקע לפיזור האורנים בין הנישות, כפי שהתקבלה מסקר ההתבססות בשדה. ניתן לראות כי ישנה העדפה להתבססות בקטגוריות בני שיח וסלעים (סלע קשה, נארי). התבססות בתוך שיח על גבי סלע נמצאה מועדפת במיוחד. ההתבססות מתחת לעצים ולשיחים גבוהים נמצאה נמוכה, אך פרופורציונית לכמות הנמוכה של השיחים והעצים (מהמין אשחר ארץ־ישראלי) שישנה בשטח. במבחן כִי בריבוע שבחן את החלוקה של המדגם בין הנישות, נמצא כי החלוקה הפנימית של הפרטים בין הנישות איננה אקראית באופן מובהק (Chi=67.25, n=78, df=6, p<0.001).

הדמיה של תהליך מילוי השטח על־ידי האורנים לאורך זמן

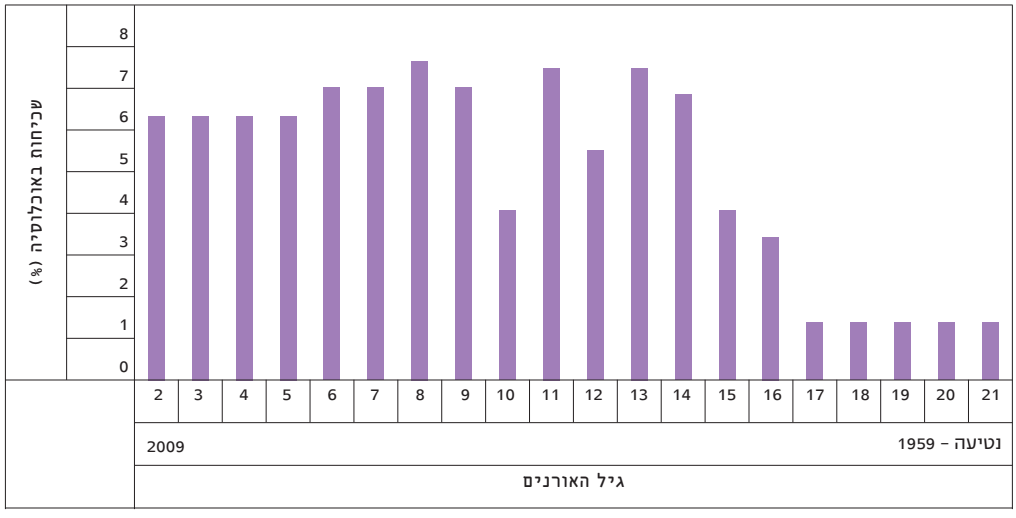
באיור 5 ניתן לראות את תמונת המצב הסופית של צמיחת האורנים, בחלוקה לאורנים ממופים בתצלום אוויר ולאורנים בהדמיה. לכל אורך ההדמיה לא נמצאה מגמה עקבית בכמות הזריעים הנכנסים לאוכלוסייה, והיא עומדת על 33 פרטים למחזור בממוצע. כיסוי האורנים הסופי הוא כ־11% מהשטח, לעומת הכיסוי ההתחלתי שעמד על פחות מ־1%.

איור 1. תאי השטח באזור המחקר בשחריה – צפיפות האורנים

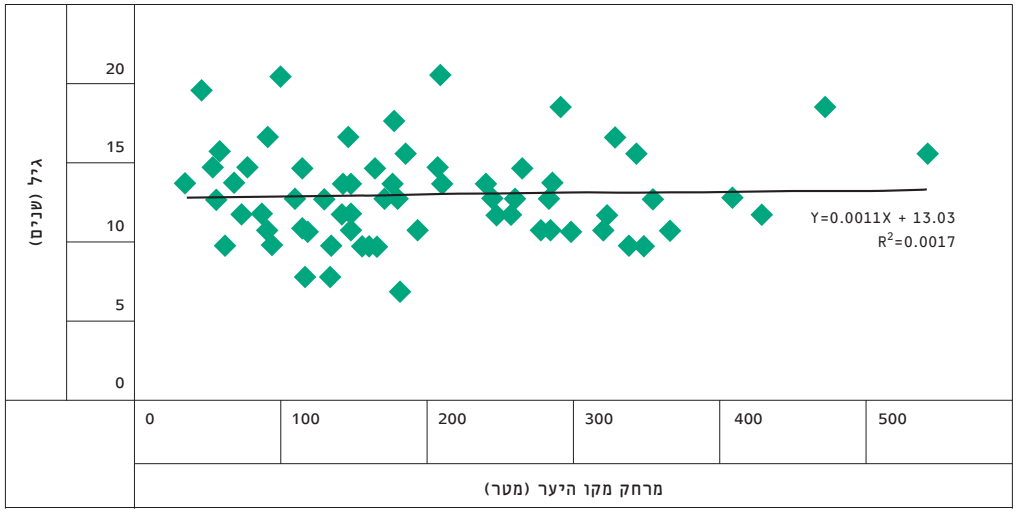
גודל התאים במודל – 2,500 מ"ר



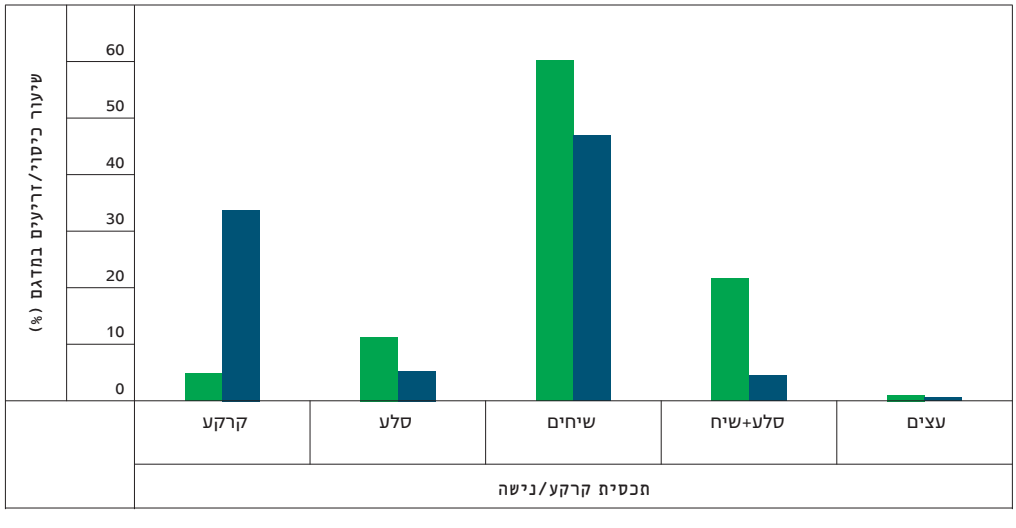
חזית המחקר



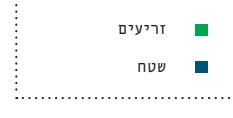
איור 2. התפלגות הגילים, איחוד שני מדגמים, בוגרים וצעירים



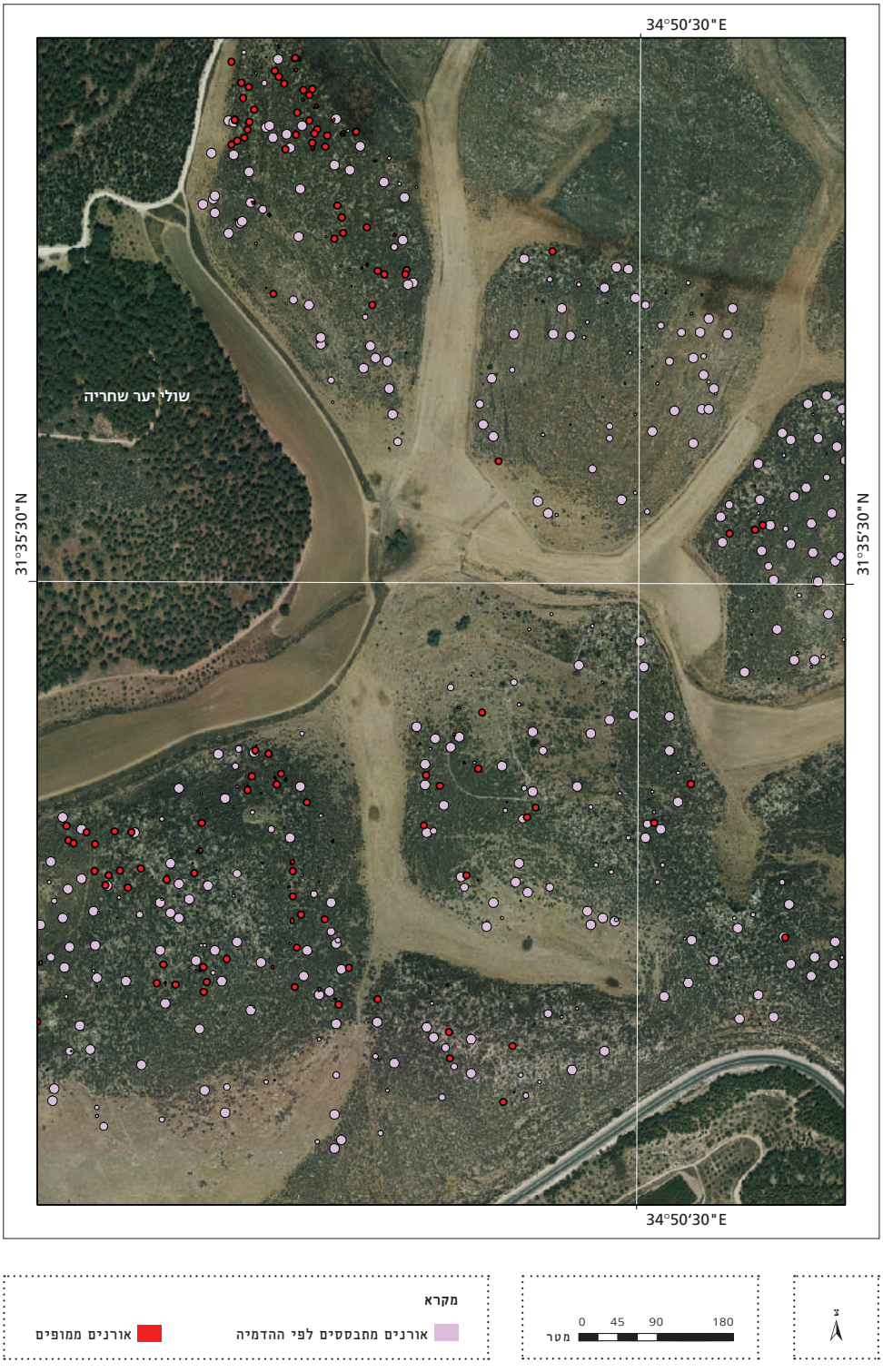
איור 3. הקשר בין גיל האורנים למרחקם מהיער הנטוע בשחריה



איור 4. השוואה בין פיזור הזריעים בנישות וחלוקת השטח בין קטגוריות תכסית הקרקע (n=78 ,df=6 ,p<0.001)



איור 5. תחזית התבססות אורנים בשנת 2070 בשטח הפתוח הסמוך ליער שחריה
התחזית התקבלה לאחר תהליך הדמיה לאורך 60 שנים.



דיון

אוכלוסיית האורנים המתפשטת על הגבעות מזרחית ליער שחריה היא צעירה, והאורנים הבוגרים הם בני 20 שנים ויותר. ההערכה היא שמקור האורנים המתפשטים הוא היער הסמוך, המפיץ זרעים ברוחות המערביות השכיחות. צפיפות האורנים נמוכה (0.4 אורנים לדונם). לאקלים, המתבטא בכמות המשקעים הנמוכה וביובש, השפעה משמעותית על צפיפות האורנים.

הגורמים המרכזיים שנמצאו משמעותיים בעיצוב מבנה האוכלוסייה הם הקִרבה ליער הנטוע – שהשפעתה על הצפיפות ניכרת, ומאפיינים סביבתיים שמספקים עדות עקיפה להשפעת המיקרו־אקלים על הצפיפות ועל הצמיחה.

התוצאות שהתקבלו מניתוח צפיפות האורנים תואמות את הידוע ממחקרים קודמים [7, 9, 10] – הגורם המרחבי המשמעותי ביותר בקביעת צפיפות האורנים ליחידת שטח הוא המרחק ממקור ההפצה (קו היער), כפי שמתואר בהשערת המחקר הראשונה. מחקרים קודמים מצאו כי בסמוך לגבול היער צפיפות הזריעים גבוהה ביותר [7] בעקבות הפצה קצרת טווח. אופי השטח בשחריה – תאי יער נטוע וגבעות מכוסות בתה ששטחי חקלאות מעובדים חוצצים ביניהם – מביא לידי כך שאופי התופעה אינו רציף ומלא. בנוף זה מתאפשרת בעיקר הפצה ארוכת טווח של אורנים. השפעת הגורמים הסביבתיים נמצאה זהה בניתוח מרחבי של צפיפות האורנים ובאפיון נישות ההתבססות של זריעים, כפי שתואר בהשערות המחקר הראשונה והשנייה.

מצאנו כי גודל שטח הקרקע החשופה או המכוסה עונתית בצומח העשבוני, הוא המשתנה הסביבתי בעל התרומה המשמעותית ביותר למובהקות מודל הרגרסיה. השפעת בית גידול זה (עירוב של קרקע והצומח העשבוני המתפתח עליה) היא שלילית. תנאי היובש הקשים בשחריה הם גורם מגביל להתבססות בשטח חשוף. קרוב לוודאי שהתחרות עם צומח עשבוני על מים מפחיתה משמעותית את ההתבססות בתאי שטח מסוג זה [10].

המסלע הקשה והחשוף (שכבת נארי) הוא גם גורם מגביל להתבססות בניתוח המרחבי. מאידך גיסא, נמצאה השפעה חיובית של המסלע הקשה על התבססות הזריעים. בשלב ההתבססות [6] נוצרות גומחות קטנות בעלות תנאים משופרים של צל ולחות. אף על פי כן, ניתן להעריך כי ההתבססות בתוך הסלע מגבילה את התפתחות מערכת השורשים, וכי מדובר בגומחת התבססות קצרת טווח.

בניתוח המרחבי ובסקר ההתבססות נמצא כי לצומח המעוצה, ובעיקר לסירה קוצנית נמוכה, השפעה חיובית על התנחלות אורנים. נראה שצמחים אלה הם גורם מעודד (facilitator) להתבססות. במילים אחרות, הם מתפקדים כצמחי מחסה (nurse plants). במחקרים קודמים נמצא כי לצומח המעוצה השפעה חיובית בצפיפות בינונית, שהופכת להשפעה שלילית כאשר צפיפות הצומח המעוצה גבוהה [12]. הצומח המעוצה בשחריה איננו מגיע לרמות צפיפות כאלה, ולכן סוג ההשפעה שמצאנו הוא חיובי בלבד.

השפעת צומח מעוצה נמוך כגורם המעודד התבססות נמצאה באופן ניסויי במחקרים מקבילים המתקיימים בשחריה (יותם ציפר־ברגר, מידע בע"פ, נובמבר 2012; ניסויים של G mez-Aparicio ואחרים [4]) שבחנו את ההבדלים בהתבססות זריעי אורן ממינים שונים בתוך שיחים נמוכים ולצדם, על קרקע חשופה. השיחים, שהם קרוב ל־50% מתכסית הקרקע בשחריה, נמצאו כנישה היחידה שניתן לאפיינה כבעלת השפעה חיובית על נביטת זריעים ועל התבססותם, ולכן ניתן לראותם כגורם המשפיע על תהליכי הסוקצסיה ומעודד את התפתחות אוכלוסיית האורנים במרחב. מקור ההשפעה החיובית עשוי להיות ההקלה בתנאי משק המים המקומיים (הגנה מקרינה ומייבוש על־ידי יצירת מיקרו־אקלים נוח יותר) ובהגנה מפני טריפה. ממצאים דומים לגבי התפקיד שממלאים השיחים הנמוכים בהתבססות אורנים נמצאו גם בהרי ירושלים (נחל החמישה) [1].

התפלגות הגילים של הזריעים נמצאה תואמת את המודל הסיגמואידי. הנתונים של כל שנות ההתבססות (גילים 2–21) מתארים עלייה בקצב הכניסה השנתי של פרטים לאוכלוסייה עד להגעה לקצב האחיד בקירוב. בדומה לתוצאות של Lavi ואחרים [7], נמצא כי תהליך ההתפשטות החל כ־30–35 שנים לאחר נטיעת היער הקרוב (בסביבות 1990). ניתן להעריך כי מקור המבנה הסיגמואידי המתקבל הוא בהתפתחות הדרגתית של מקור ההפצה – היער הנטוע, עד להגעה לקצב ההפצה המיטבי בעקבות התבגרות היער הנטוע.

מצאנו כי מבחינת התפלגות הגילים בשחריה ישנו פיזור אחיד בשטח המחקר. אורנים מעל גיל 7 נמצאו בכל שטח המחקר, עד למרחק של יותר מ־500 מטר מקו היער. משמעות תוצאה זו היא שבשטח זה האוכלוסייה מתפתחת באופן אחיד ועל־ידי מנגנון משותף – הפצה ארוכת טווח מקו היער.

נמצא כי לשיפוע ולמפנה, שחשיבותם בניתוח הצפיפות הייתה משנית בהשוואה לגורמים אחרים, הייתה השפעה מובהקת על אופי צמיחת האורנים בשטח [1].

השטח שמכוסה על־ידי אורנים בסוף ההדמיה (אחרי 60 שנים) הוא כ־11% מכלל השטח לעומת 1% כיום. ההפצה ארוכת הטווח מהיער, כפי שנותחה על פי נתונים אמפיריים, יוצרת נוף "יער פארק" פתוח בבתה של סירה קוצנית, כפי שתואר בהשערת המחקר השלישית. כלומר, בפרק הזמן של ההדמיה עדיין לא הגיע השטח לרוויה של התנחלות אורנים. לעומת זאת, בהדמיה שנערכה בנחל החמישה [1], נמצא שבפרק זמן דומה מתקבל כיסוי אורנים של 65–70% לעומת 7% שיש כיום. במילים אחרות, תוך חמישים שנה יתפתח במקום יער מלא וצפוף. בבתי גידול משופרים כמו

מחשופי החוואר בהר איתן, ישנו כבר כיום כיסוי מלא של זריעי אורנים שהתפשטו בהפצה ארוכת טווח (איור 6) [1].

מחקר זה ואחרים [12] יכולים לשמש בסיס לקביעת תכניות ממשק בידי מנהלי שטחים פתוחים בישראל. התפרוסת הנרחבת של יערות נטועים בארץ חושפת את מרבית השטחים הפתוחים לתהליכים דומים לאלה שהוצגו לעיל. בתי גידול שיש בהם שיחים העוזרים לתהליכי התפשטות האורנים – בעיקר בתות וגריגות – עשויים לשנות את אופיים במסגרת הזמן שהוגדרה כאן, ולהפוך ליערות אורן בדרגות שונות של כיסוי וצפיפות. האופי העתידי של בתי גידול אלה ייקבע על־ידי גורמים סביבתיים ואורך הזמן שיחלוף. הידע שנאסף במחקר זה יכול לתמוך בתכנון ממשק המנסה להתערב בתהליכים אלה.

תודות

המחקר מומן בעזרת תקציב 514/10 של הקרן הלאומית למדע. יוני וייץ מודה לקרן רנה קרשון ולקרן אפלבי קנדה על המלגות שהוענקו לו בזמן הלימודים. לולא הסיוע של גיל סיאקי, מויש צורן וחנוך צורף מקק"ל, וארנון קופר ועזרא בן משה ממִנהל המחקר החקלאי בעבודת השדה, היה קשה מאוד להשלים מחקר זה.

מקורות

[1] וייץ י. 2013. דינאמיקת התפשטות אורנים מהיער הנטוע לשטחים פתוחים והשלכות על נוף הצומח בישראל (עבודת גמר לתואר מוסמך). רחובות: האוניברסיטה העברית בירושלים.

[2] זוהרי מ. 1959. גאובוטניקה. מרחביה: ספריית הפועלים.

[3] Baruch U. 1990. Palynological evidence of human impact on the vegetation as recorded in late Holocene lake sediments in Israel. In: Bottema S, Entjes- Nieborg G, and Van Zeist W (Eds). Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean landscape. Balkema: Rotterdam.

[4] G mez-Aparicio L, G mez JM, Zamora R, and Boettinger JL. 2005. Canopy vs. soil effects of shrubs facilitating tree seedlings in Mediterranean montane ecosystems. *Journal of Vegetation Science* **16**: 191–198.

[5] Higgins SI and Richardson DM. 1998. Pine invasions in the southern hemisphere: Modelling interactions between organism, environment and disturbance. *Plant Ecology* **135**: 79–93.

[6] Jones DP and Graham RC. 1993. Water-holding characteristics of weathered granitic rock in chaparral and forest ecosystems. *Soil Science Society of America Journal* **57**: 256–261.

[7] Lavi A, Perevolotsky A, Kigel J, and Noy-Meir I. 2005. Invasion of *Pinus halepensis* from plantations into adjacent natural habitats. *Applied Vegetation Science* **8**: 85–92.

[8] Liphschitz N and Biger G. 2001. Past distribution of Aleppo pine (Pinus halepensis) in the mountains of Israel (Palestine). *Holocene* **11**: 427–437.

[9] Nathan R, Safriel UN, Noy-Meir I, and Schiller G. 2000. Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees. *Ecology* **81**: 2156–2169.

[10] Osem Y, Lavi A and Rosenfeld A. 2010. Colonization of *Pinus halepensis* in Mediterranean habitats: Consequences of afforestation, grazing and fire. *Biological Invasions* **13**: 485–498.

[11] Richardson DM. 1998. Forestry trees as invasive aliens. *Conservation Biology* **12**: 18–26.

[12] Sheffer E. 2012. Reciprocal colonization and transformation of Mediterranean ecosystems by *Pinus halepensis* and *Quercus calliprinos* (PhD dissertation). Jerusalem: The Hebrew University of Jerusalem.

איור 6. יער צפוף שהתפתח בהר איתן כתוצאה מהתפשטות עצי אורן ירושלים מיער נטוע (2012). תוך כ־50 שנה עשוי שטח המחקר להיראות דומה לתמונה המצולמת | צילום: יוני וייץ