

חומר תומך

חיזוי התחזשות צומח אחרי שרפה ביערות אורן נתועים

גיל ספיר ז"ל ויוחאי כרמל ⁽¹⁾*

⁽¹⁾ היחידה להנדסת סביבה, מים וחקלאות, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
yohay@techion.ac.il*

תקציר

קק"ל משקיעה מושבים רבים בשיקום שטחי יער מוחטני שנשרפו. עם זאת, יערות רבים מתפתחים לכיוונים שונים מהמצווי. היכולת לחזות נכונה את התפתחות הצומח לאחר שרפת יער מוחטני נטווע אמורה לשפר את קבלת החלטות לכיווני משק מטאימים. עבודה זו בוחנת את הגורמים הקובעים את כיוון התפתחות הצומח אחרי שרפה ובודקת את האפשרות לחזות מהי תצורת הצומח שמתפתח בשטח במהלך 15–20 שנה לאחר שרפה בהיעדר המערבות. כדי למשם שתי מטרות אלה בינו מודל סטטיסטי שבו המשנה המנובא הוא תצורת הצומח 20 שנה לאחר שרפה, והמשנים המסבירים הם תכונות העיר וסביבתו בעת שרפה. הנמנונים למודל נאשפו ב-11 יערות שמצאו בהם מגוון טיפוסי צומח, שונים מאוד בהרכבה ובגובה. יער אורנים החדש רק ב-5 מטר 11 היערות שנדגמו, יערות שבהם החדש יער האורן התופיע בקרקע רנדזינה בהירה, על פני דרוםיים ומדרניים, ובמדרניות מטוניות. חורש אלון מצוי החדש אף הוא ב-5 יערות. שוחים שבם החורש החליף יער אורניים בעקבות שרפה התופיעו באדמות טרה רוסה ובמנינים צפוניים. המחדשות שיחים היבנה נפוצה יותר והם נמצאו ב-8 יערות שונים. גורמים נוספים שהופיעו על המחדשות אורן, חורש או שיחים היו עונת השרפה וההרחק מיערות אורנים שלא נשרפו. התוצאות הראו שכבר בעת שרפה ניתן לקבוע אם בעוד שני עותרים סביר שיתחייב שטח יער אורנים ללא המערבות קק"ל (המודל חזה היבט את הצומח ב-94% מיחידות הדגימה). ניתן לעשות שימוש מעשי בכלி זה: אם בשטחים שהמודל חוצה בהם המחדשותطبعית של האורן, וגם בשטחים בהם צפוייה המחדשות של חורש ים תיכוני – ניתן לחסוך נטיעות יקרות.

מילות מפתח: יער מוחטני · אורן ירושלים · שרפה · דינמיקה של צומח · המחדשות יער

מבוא

משק מטאימים. בשטחים בהם צפוייה המחדשות עצמית של העיר ניתן יהיה להימנע מפעולות שיקום ולהחות בכך מושבים רבים. לשם כך יש צורך במידע כמהותם הגורמים המשפיעים על המחדשות הצומח אחרי שרפה בישראל. כו"ם לעירוני קק"ל יש ידע איקוטי בלבד. למשל, ידוע שיערות אורן ירושלים על קרקעות רנדזינה בהירה נוטים להתחדש מעצמן אחרי שרפה, בעוד שעל קרקעות טרה רוסה במרקם רבים האורן אינו מתחדש. במקרים אלה הצומח הדומיננטי לאחר שרפה הופך להיות חורש של עצים וחבי עליים, שמקורם מתחת העיר שלפני שרפה. לעומת זאת, במקרים אחרים מתחדים רק מיני שיחים ובנייש, וגם שנים רבות אחרי שרפה אין כמעט עצים בשטח. בישראל עסקו שנים מהמצווי, כאשר גם המינים הדומיננטיים וגם קוצבי הגידול מפועלה בהתבסס על ניסיון מצטבר. לאור תוכנות שיקום הייעור לאחר שרפה בעשרות השנים האחרונות מסתבר שגם יערות שעבורו שיקום פעיל וגם אלה שנעזו לאחר שרפה התפתחו לכיוונים שונים מהמצווי, בעוד גם המינים הדומיננטיים וגם קוצבי הגידול שונים מהמותוכן. לדוגמה, במקרים מהשיטה שנשרף בשער הגיא ביולי 1995 גם הטיפול בצמחייה הקיימת וגם נטיעות עצים לא הביאו לשיקום המותוכן.^[3] בעת תכנון השיקום של העיר השורף בשער הגיא התברר כי לא קיימת שיטה לחיזוי המחדשות העתידית של הצומח.^[4]

אזור אגן הים התיכון הוא אחד האזורים המורכבים למחקר אקוּלובי^[17], ויש קשיים מיוחדים בפיתוח מודלים לחיזוי

שרות רובות פורצות מדי קי"ץ ביערות הנטוועים בישראל, מרביתן שירותות קלות שנגרם בהן נזק מועט לצומח המעוצה. עם זאת, מדי שנה נשרפים כ-8,400 דונם במוצע של שטחי יער מוחטני נטווע וחורש טבעי, שלפי מדיניות קק"ל יש צורך לבצע בהם שיקום צמחי ונופי.^[14] קק"ל משקיע מושבים רבים במקומות שטחים אלה לאחר שרפות בעלות כוללת של כ-24 מיליון ש"ח בשנה.^[2] מנהלי השטח מחייבים אם לבצע שיקום פעיל או להימנע מפעולו בהתבסס על ניסיון מצטבר. לאור תוכנות שיקום הייעור לאחר שרפה בעשרות השנים האחרונות מסתבר שגם שרפה שעבורו שיקום פעיל וגם אלה שנעזו לאחר שרפה התפתחו לכיוונים שונים מהמצווי, בעוד גם המינים הדומיננטיים וגם קוצבי הגידול שונים מהמותוכן. לדוגמה, במקרים מהשיטה שנשרף בשער הגיא ביולי 1995 גם הטיפול בצמחייה הקיימת וגם נטיעות עצים לא הביאו לשיקום המותוכן.^[3] בעת תכנון השיקום של העיר השורף בשער הגיא התברר כי לא קיימת שיטה לחיזוי המחדשות העתידית של הצומח.^[4] היכולת לחזות נכונה את התפתחות הצומח לאחר שרפת יער מוחטני נטווע אמורה לשפר את קבלת החלטות לכיווני

וכסף. כדי למשם שתי מטרות אלה בינוי מודל סטטיסטי שבו המשטנה המnobא הוא תצורת הצומח 20 שנה לאחר השרפה, והמשתנים המסבירים הם תכונות העיר וסביבתו בזמן השרפה.

שיטות

כללי

בשנים 2007–2008 נלקחו יערות מתחנים שנרפו 15–20 שנה קודם לכן. בכל אתר תיעדו באופן מפורט משתנים אקולוגיים שנייתן היה לטעות כבר בעת השרפה (סוג הקרקע, הטופוגרפיה, מרכיבי מיערות שכנים וכו') וכן מידע מפורט על מצב הצומח כיוון. הנזונים שאספנו שימושו לבניית מודלים סטטיסטיים שבהם המשטנה המnobא הוא מצב הצומח כיוון, והמשתנים המסבירים הם תנאי השטח לפני השרפה.

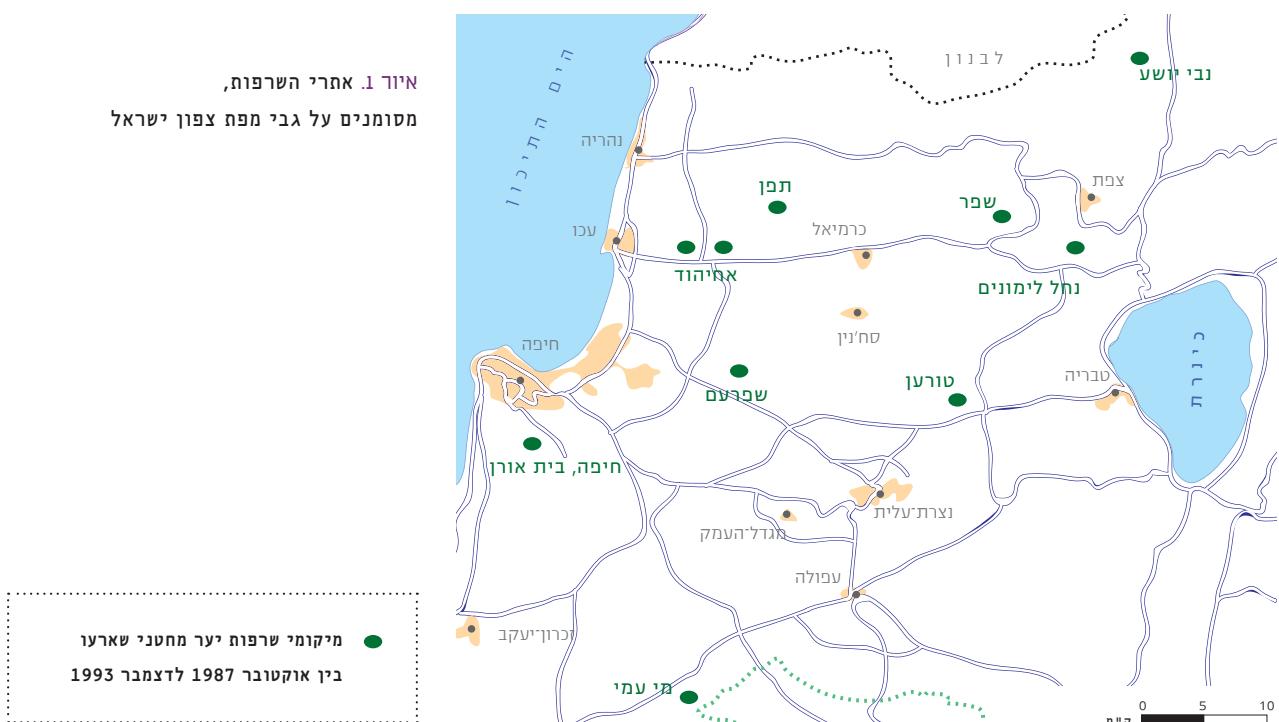
איסוף נתונים השרות

בחורנו 11 יערות שנרפו בתקופה שבין אוקטובר 1987 לדצמבר 1993 (איור 1). כל השירותים היו של יערות מתחנים ובוצמה חזקה (שרות צמורות), שטח השרפה היה גדול מ-10 דונם, ובכולם העיר לא ניטע מחדש לאחר השרפה (טבלה 1). באזורי שנרפו איתרנו 28 תאי שטח שונים זה מזה בסוג הקרקע, בכיוון המפנה ובאופן המדרון. בכל תא שטח דגמוני ייחידות מעגליות שטוחן 30 מ' ר' מסווגים על אופן שיוקם העיר תוך חישוכן ניכר במשמעותם

התנוגות המערכת האקולוגית בו [25]. מחקר שנערך בספרד קובע שעדיין אין מודלים כמותיים טובים המתאים לאזורים ים תיכוניים [32]. הקשיים הרבים שמעמיד הצומח הים תיכוני כוללים מורכבות פיזיוגנטית, מורכבות התהליכיים האקולוגיים המתרחשים בו וחוסר נתונים כמוותיים [32]. בעשור האחרון התפרסמו מספר מחקרים העוסקים בחיזוי דינמיקה של צומח ים תיכוני [6, 26, 27]. מחקרים אלה לא עוסקו בהרכבי מינים או חבורות צמחים, אלא בתוצאות הצומח (בתה עשבונית, בתת נוי, גירגה [שיחים], חורש ויער מתחני) או בקבוצות תפקודיות (functional groups). בעבודה זו בחרנו להשתמש בצלות החיים לצורך יצירת מודל של התוצאות צומח אחורי שרפיה. המודלים של התפתחות צומח ים תיכוני לאחר שרפה עוסקים בטוחי זמן של 3–5 שנים, ואנו מפתחים כאן מודל החוצה 15–20 שנה.

מטרות מחקר זה הן: (1) לבחון מה הגורמים הקובעים את כיוון התפתחות הצומח אחורי שרפיה, ומה השיבובים היחסית. (2) לבנות מודל שיכול לחזות את תצורת הצומח שתפתח בשיטה במהלך 15–20 שנה לאחר השרפה (יער אורן, חורש, גירגה-בתה או עשבוניים) לפי נתונים הקיימים בידי הייער כבר בעת השרפה. הרצינו לניבוי זה הואCDC: אם יתברר שניתן לחזות מיד לאחר שרפיה ובמידה רבה של מילוי המינות את תצורת הצומח שתפתח בשיטה בהיעדר התערבות, הרוי שניתן לקבל החלטות מושכלות על אופן שיוקם העיר תוך חישוכן ניכר במשמעותם

איור 1. אתרים השרות
מסומנים על גבי מפה צפון ישראל



טבלה 1. יערות האורן הנטוועים שנשרפו ושימשו לאיסוף הנתונים

| שם יער | שנת שרפה | עונת שרפה | שנת נטיעת העונה | שנה שרוף (דונם) | מספר אי שטח | מספר ייחודה הדגימה |
|-------------|----------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|--------------------|
| אהיהוד א' | 1989 | סתיו | 1971 | 17 | 1 | 5 |
| אהיהוד ב' | 1991 | אביב | 1952 | 10 | 1 | 5 |
| ביריה | 1990 | קיץ | 1975 | 20 | 2 | 9 |
| טורען | 1990 | סתיו | 1969 | 65 | 2 | 11 |
| מי עמי | 1992 | סתיו | 1972 | 10 | 2 | 7 |
| בני יושע | 1989 | סתיו | 1958 | 20 | 2 | 13 |
| נחל לימוןים | 1990 | אביב | 1967 | 20 | 2 | 10 |
| פארק הכרמל | 1989 | טבעי | | 5,300 | 4 | 22 |
| ספר | 1993 | קיץ | 1950 | 500 | 8 | 39 |
| שפרעם | 1990 | סתיו | 1988 | 12 | 3 | 11 |
| תפן | 1990 | סתיו | 1977 | 10 | 1 | 5 |

בנינו ארבעה מודלים של גרגסיה לוגיסטיבית, לחיזוי ההסתברות להתחבשות עיר, חורש, גרגה ובתה בהתאם. לא נבנה מודל לצומח שעובני משום שמצאנו רק שני תאי שטח, שניים באותו יער (בני יושע), שבהם התוצרת הדומיננטית 20 שנה לאחר שרפה הייתה צומח שעובני.

השתנים המסבירים
אחד מטרות המודל היא לתמוך בהחלטה על טיפול בשטח מיד לאחר שרפה. כל כנסנו למודל החיזוי רק משתנים מסבירים הניתנים למדידה מיד לאחר שרפה. בחרנו משתנים העשויים להשפיע על הסיכוי להתחבשות כל אחד מטיפוסי הצומח:

1. **סוג הקרקע** – משפיע על הצומח, וצפוי שיופיע על אופן התחדשות הצומח לאחר שרפה. הקרקעות באזורי המחקר סוגgo לשולחה סוגים עיקריים: טרה רוסה, רנדזינה כהה וננדזינה בהירה. סוג הסלע לא הוכנס למודל מאחר שהוא נמצא במתאם חזק עם סוג הקרקע.

2. **טופוגרפיה** – משפיעה על כמות הקרןינה וכן על משק המים של הצומח. בדקנו מפנה (הערכה בעזרת מצלף) וSHIPOT המדרון בתא הדגימה (הערכת עין). המפנה הוא משתנה מעגלי (0° - 360°) ועל כן חישבנו את היטלי המפנה על הציר צפון-דרום ועל הציר מזרח-מערב, כדי ליצור שני משתנים למידת האפסיות (mphna,vir אפונידרום) ולמידת המזרחיות (mphna,vir מזרח-מערב), בהתאם.

(דיסס 3.1 מ'). במקצת, דגמנו חמישה יחידות דגימה בכל תא שטח, ובsek הכלול 138 יחידות דגימה. יחידות הדגימה באוטו תא שטח התאפיינו ברוב המקרים באותו סוג קרקע, אך היו שונות זו מזו במשתני הטופוגרפיה ובכיסוי של תצורות הצומח השונות בעת הדגימה.

בכל יחידת דגימה תיעדנו את מצב השטח: הטופוגרפיה, המסלע, הקרקע והמרקע והマーク ליירות שכנים. מידע נוסף על תנאי השטח, כולל היסטוריית שרפות, גיל העיר בעת שרפה ועונת שרפה, הפקנו מנתוני קק"ל. במקביל, תיעדנו בכל יחידה את מצב הצומח כיום. לשם כך הגדרנו חמישה תצורות צומח: יער עצי אורן, חורש ים תיכוני, גרגה (שייחים), בתה בניישיח, ובתה שעובנית. בכל יחידת דגימה הערכנו את אחוזי הכיסוי של כל אחת מחמש התצורות.

מודלים סטטיסטיים לחיזוי הצומח לאחר שרפה
מטרת המודל היא לחזות את תצורת הצומח שתתשלוט בשטח כ-20 שנה לאחר שרפה על סמך נתוני הידעומים כבר בזמן שרפה עצמה. בחרנו ברגרסיה לוגיסטיבית [11] שהיא מודל סטטיסטי שבו המשתנה התלוי הוא קטגוריאלי. המשתנה התלוי הוא מצב הצומח העכשווי, 15-20 שנה לאחר שרפה. סיוגנו את מצב הצומח העכשווי בכל תא שטח לפי תצורת הצומח הדומיננטית באותו תא שטח, לאחד מהמשה מצבי צומח: יער מחטני, חורש רחב עליים, גרגה (שייחים), בתה (بنيישיח), ובתה שעובנית.

בهرיכם ובגוביהם (איור 2, טבלה 2). דומיננטיות של גירגה (שיחים) הייתה הנפוצה ביותר (14 תא שטח ב-8 יערות שונים), ואחריה התחדשות אורן (7 תא שטח ב-5 יערות שונים), עצי חורש (5 תא שטח ב-5 יערות שונים), בתה בניישיח (5 תא שטח ב-3 יערות שונים) ובתה עשבונית (שני תא שטח בעיר אחד).

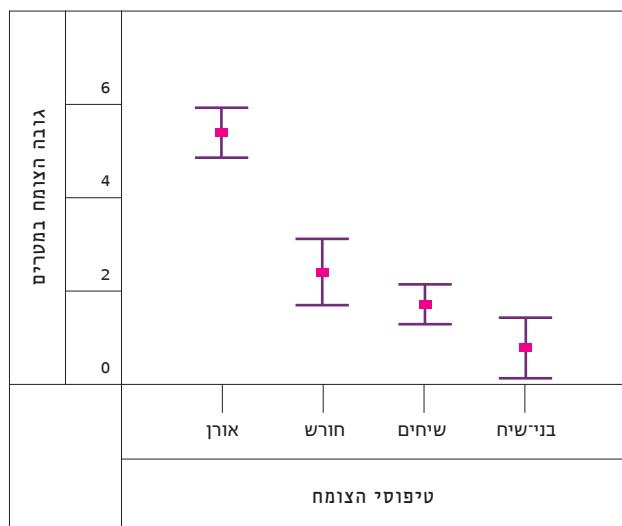
עיר אורנים

אורנים התחדשו רק בכשליש מהיערות שנבדקו, ורק ברבע מתאי השטח שנבדקו. הגובה הממוצע של עצי האורן בעת הדגימה היה 5.5 מ' (איור 2). השטחים שיער האורן התחדש בהם התאפיינו בקרע רנדזינה בהירה, על מפניהם דרוםים ומזרחיים ובמדרוןות מתונות. שרפה בקץ הגדרה את הסיכוי להתחדשות אורנים, בעוד ששרפה באביב הקטינה סיכוי זה (טבלה 3). המודל הסטטיסטי שבחן את התחדשות יער האורן היה הטוב מבין המודלים, וחזה נכונה את התחדשות האורנים ב-34 מתוך 36 יחידות דגימה.

הורש ים תיכוני

הורש החליף את יער האורנים בעקבות שרפה בשטחים שכלו אדמות טרה רוסה על מפניהם צפוניים. הגובה הממוצע של עצי ההורש 15–20 שנה לאחר שרפה היה 2.5 מ' בלבד. הסיכוי להתחדשות ההורש עלה כאשר העיר נשרף בגיל צער ובעונת האביב, והוא מצוי במרקח רב יחסית מיערות אורנים שכנים שלא נשרפו (טבלה 3). המודל חזה היבט את התחדשות ההורש ב-19 מתוך 25 יחידות הדגימה שבחן נמצא ההורש כתצורה דומיננטית.

איור 2. גובה ממוצע (\pm שגיאת התקן SE) של טיפוסי הצומח השונים כ-20 שנה לאחר שרפה



3. עונת הרפיה – משפיעה על מועד ההתחדשות. הגדרנו משתנה קטגוריאלי ובו שלוש קטגוריות: אביב (מרץ–מאי), לאחר פיזור זרעי חידשנותיים ולפני פיזור זרעים של עצי האורן; קיץ (יוני–אוגוסט), לאחר סילוק חלק מזרעי חידשנותיים, ומתוך כדי פיזור זרעי רוב זרעי האורן; סתיו (ספטמבר–אוקטובר), לאחר סילוק חלק מזרעי עצי האורן ובעת פיזור זרעי עצי החורש הטבעי.

4. גיל העיר בעת הרפיה – מש夸ר את פוטנציאל הפצת הזרעים של עצי העיר מיד לאחר שרפה [19, 15].

המודלים והערכתם

לצורך הניתוח השתמשנו ברגסיה לוגיסטיבית בצעדים (stepwise logistic regression), שבה בכל צעד מתוסס למודל משתנה נוספת מבין המשתנים המסבירים נוספיםים [11]. התהlik נפסק כאשר הוספה משתנים מסבירים נוספים אינה משנה את הפרמטרים במודל באופן מובהק. המשתנים הקטגוריאליים תורגם לצורך הרגסיה למשתני דמה (dummy variables) ביןאריים, וכל המשתנים הרציפים עברו התמרת ארקיטינוס שיצבה את השונות בשגיאה [11].

המודבקות הסטטיסטיות של כל מודל נבדקה ב-*Hosmer & Lemeshow goodness of fit* הוא קטגוריאלי, ועל כן אין משמעות לשונות המוסברות. קיימים מדים חלופיים (R^2 -*pseudo-R²*), ומתחום בחרנו במדד Nagelkerke [11], המקבל ערכים בין 0 ל-1.

כדי לבדוק את הדיקוק הכלול של מערכת המודלים, ביצענו הפעלה של המודלים על נתוני המקור, לחיזוי תצורת הצומח בעוד 20 שנה על פי מצב הצומח בעת הרפיה. המודלים הופעלו בסדר קבוע: (1) מודל האורן שמש לחיזוי האתרים שצפוי בהם יער ההורש, (2) מודל ההורש לחיזוי התאים שצפוי בהם דומיננטיות של שיחים, גירגה שמש לחיזוי התאים שצפוי בהם בתה של בניישיח. (4) מודל בתה לחיזוי התאים שיופיעו בשילוט בתה של בניישיח. בהנחה שהיחס מספר קטגוריות קטן יותר יגדיל את הדיקוק, בדקנו גם את הדיקוק הכלול של חיזוי התאים שצפוי בהם מושגים אחרים, גם שלוש קטגוריות בלבד – (1) מחטניים, (2) חורש, (3) גירגה ובתה. לשינוי שיחס מספר קטגוריות קטן יותר יגדיל את הדיקוק, בדקנו את הדיקוק הכלול של חיזוי התאים שצפוי בהם מושגים אחרים, גם את הדיקוק הכלול של חיזוי מצבי הצומח כאשר מושגים אחרים אינם מושגים. ב-11 המודלים הוא סכום ההצלחות בחיזוי תצורת הצומח הרלוונטי.

תוצאות

ב-11 היערות שנדרגו מצאנו מגוון טיפוסי צומח, שונים מאוד

| שם | עיר אורה | ים תיכוני | חרוש | אגירה (שייחים) | במת בנייה-sieh | בתה עשבונית | שם | סך הכל |
|------------------------|----------|-----------|------|-------------------|-------------------|----------------|-----|--------|
| אתיחוד א' | | | | | | | 5 | |
| אתיחוד ב' | | | | | | | 5 | |
| בית אורה | | | | | | | 12 | |
| חיפה | | | | | | | 5 | |
| טורען | | | | | | | 5 | |
| מי עמי | | | | | | | 5 | |
| נבי יושע | | | | | | | 5 | |
| נחל לימון | | | | | | | 5 | |
| שפרעם | | | | | | | 5 | |
| תפן | | | | | | | 5 | |
| סך כל יחידות הדגימה | | | | | | | 36 | |
| סך כל תאי השטח | | | | | | | 7 | |
| סך כל היראות | | | | | | | 4 | |
| | | | | | | | 1 | |
| | | | | | | | 3 | |
| | | | | | | | 8 | |
| | | | | | | | 5 | |
| | | | | | | | 12 | |
| | | | | | | | 138 | |

טבלה 2. שכיחות טיפוסי
הצומח ביערות השונאים
15-20 שנה אחרי שרפה
(מספר יחידות הדגימה שבחנו
נמצאו כל טיפוס צומח)

עונה
לעונת השרפה הייתה השפעה חזקה על כיסוי הצומח ועל גובהו (וויו 3): בשטחים שנשרפו בסתיו הצומח היה באופן מובהק נמוך יותר ודילוי יותר מאשר בשטחים שנשרפו בקיץ ובאביב. כאשר בדקנו כל תצורות צומח בנפרד, תוצאות אלה היו מובהקות לגבי אורנים, חרוש ושיחים, אך לא לגבי בניינית.

גריגה

גריגה כתוצרת דומיננטית נמצאה כמעט בכל היערות שנשרפו. אזורים שבהם היה שלטון של שיחים התאפיינו בהרחקה טרה רוסה או חואר, במדרוןות תלולים ועל פני מדרומים. הסיכון לשילטת שיחים עליה בשיטות קיץ (טבלה 3). המודל זה נכוון כ-70% מהחידות שישים התחדשו בהם.

ביצועי המודלים

המודלים לתצורות הצומח השונות נבדלים זה מזה ביכולת החיזוי שלהם, בין 97% לאורנים לבין 33% לבניינית, אך כל המודלים היו מובהקים ($P < 0.05$). צירוף של ארבעת המודלים בטור אפשר לסוג את הצומח לחמש תצורות: עיר אורה, חרוש, שיחים, בניינית ועשבוניים. צומח עשבוני הוגדר כתצורה הדומיננטית בתא שטח שבו ההסתברות לקבל כל אחת מתצורות הצומח האחרות הייתה קטנה מ-50%. הדיקוק הכלול בחיזוי חמש תצורות הצומח הללו היה 70%, ורבית השגיאות היו בחיזוי שיחים ובניינית. בהמשך קיבבנו את השיחים ובניינית לתצורה אחת בניסיון להגדיל את הדיקוק הכלול של המודל, וזאת על חשבן מידת הפרדה בין טיפוסי צומח שונים. הדיקוק הכלול של מערכת המודלים החזזה

בתה

הצורה שלטת של בתה נמצאה באربעה יערות שונים. לפי המודל הסטטיסטי, תצורה זו התקבלה בדרך כלל ביערות שנשרפו בגל ציר, על אדמות טרה רוסה ובמדרוןות מותניות. המודל היה מובהק אך השונות המוסברת שלו הייתה נמוכה. המודל הסטטיסטי של בניינית היה חלש מהמודלים האחרים, והצליח לחזות רק שליש מיחידות הדגימה שבשליטה בניינית.

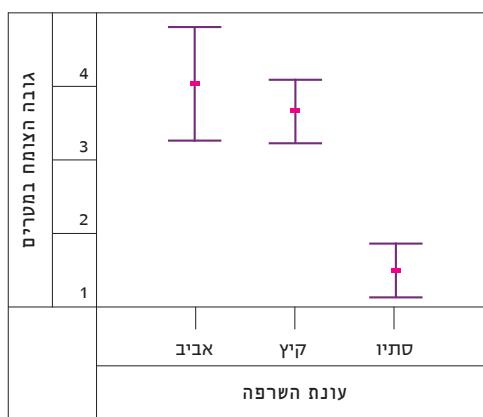
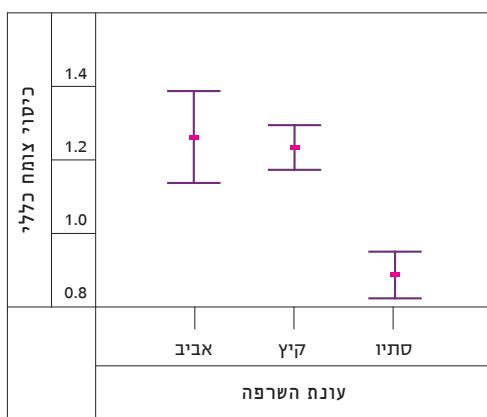
צומח עשבוני

תצורות צומח זו, ללא צומח מעוצה בשטח, נמצאה רק בעיר נבי יושע, בשני תאי שטח בלבד. על כן לא ניתן מודל לקבוצה זו.

טבלה 3. מוצאות המודלים הסטטיסטיים (אוגול מודם בסוגרים)

השפעה על המשתנה החזוי מסומנת ב + / - ומאהרת את אופי ההשפעה של המשתנה על הסיכון לקבל תוצאה צומח מסוימת. לדוגמה,
סימן + ליד המשתנה ימזרון' במודל יעיר מחטני פירושו שככל שהמזרון תלול יותר, ההסתברות לקבל עיר מחטני קטנה יותר.
סימן - ליד המשתנה ימזרון' במודל יעיר מחטני פירושו שככל שהמזרון תלול יותר, הסיכון לעיר מחטני גבוהה יותר.

| המודל ווגול המודם | משנים במודל | השפעה על המשתנה חזוי | מודדים לטיב המודל | פרופורצית ייחודה הdagימה מהקטגוריה הROLוניטית שסוגנו נכון במודל |
|-------------------|--|----------------------|-------------------|--|
| יעיר מחטני (36) | + סוג קרקע (רניזינה בהירה) - מפנה (ציר צפון-דרום) + מפנה (ציר מזרח-מערב) - מזרון - עונת השרפה (אביב) + עונת השרפה (קיץ) | 0.95 0.97 | | Nagelkerke לשונת המושבה |
| חווש (25) | - גיל העיר בשרפפה - מפנה (צפון-דרום) + סוג קרקע (טרה רוסה) + עונת השרפה (אביב) | 0.76 0.77 | | |
| שיכים (53) | + גיל העיר בשרפפה - עונת השרפה (סתיו) + מפנה (צפון-דרום) + מזרון + סוג קרקע (טרה רוסה) - עונת השרפה (אביב) | 0.72 0.60 | | |
| בנייה (12) | - גיל העיר בשרפפה + מפנה (מזרח-מערב) - מזרון | 0.33 0.50 | | |



איור 3. האובה (מיימין) והכיסוי (משמאלי) של הצומח ± שגיאת התקן ES, על פי עונת השרפה. כיסוי אובה אחד עשויה להתקבל מצירוף כיסוי בשכבות צומח שונות



חידת המתהלה

מצאנו במודל הסטטיסטי שהראה שחרוש התפתח בדרך כלל על מפנים צפוניים, ואילו שיחים על מפנים דרומיים. ידוע שההיליך התחדשות החורש מהיר יותר על מפנים צפוניים, אך מתקדים גם על מפנים דרומיים^[5, 12]. דומיננטיות של בניישית נמצאה רק בשלושה תאי שטח, בשלושה יערות שונים. לא מצאנו גורמי שבבה משותפים לשלוות האתרים הללו, מה שהשתתקף גם במודל הסטטיסטי של בניישית, שסביר יכולות חיזוי נמוכה מאד. עם זאת, צירוף של שיחים ובניישית לקבוצה אחת העלה מאד את יכולות החיזוי של מערכת המודלים.

תוצאות המחקר עשוות לשמש בסיס לקבלת החלטות על טיפול וטיפול אחריו שרפה. מערכת המודלים שנבנתה במסגרת המחקר מראה שכבר בעת שרפה ניתן לקבוע ברמת דיוק גבוהה ביותר אם בעוד שני עשרים צפואה התחדשות יער אוריון בטוחה ללא התurbות קק'ל. ניתן לעשות שימוש מעשי בכך: בשיטים שבהם המודול חוזה התחדשות טבעית של האורן ניתן לחסוך נטיעות יקרות.

לגביה אזורים שבהם לא צפואה התחדשות טבעית של אורים לאחר שרפה – ניתן לחזות אם תוך 20 שנה ככלו חורש בשטח, או לחלופין נמצא בו שיחים / בניישית. החלטות על התרבות בתנאים נקיים נמצאים כאלה אין פשوط. בהנחה שצפואה התחדשות חורש באוזר, או לחלופין, בהנחה שהשתוק צפוי להתחדשות במימי שיחים ובניישית לפחות עשרות שנים – נשאלת השאלה האם ברצוננו להתעורר בתהיליך הטבעי, ולהטוט את ההתחדשות לכיוון של יער מחטני בעשרות נטיעות? החלטה כזו צריכה להתקבל על בסיס שיקולים אקלואגים, אך תוך התחשבות גם בשיקולים אחרים. בהקשר זה ראוי לציין שעל פי ניסיון העבר בשיקום שרפת שער הגיא, הטיפול בצמחייה הקיימת ונטיעת עצים לא הביאו לשיקום המתווכן^[3]. גם אזורים שניטעו באורים לא התחדרו מהר יותר מאשרים ללא נטיעות, ולעתים התקשכו בשיחים או בעצי חורש^[3]. המודל פותח על סמך נתונים מהגיל ומהכרמל, אך אנו סבורים שה坦הגות הצומח האחורי שרפה באוזר הרי יהודה אינה שונה מאוד, ועל כן ניתן להשתמש בו גם באוזר זה.

לסיום, מדיניות הייעור מרכיבת שיקולים שאינם מדעיים בלבד. עם זאת, העבודה זו מראה שהתחדשות האורים האחורי שרפה היא דטרמיניסטית וניתנת לחיזוי בעקבות מספר קטן של משתנים, ועל כן ניתן להשתמש בכלים מדעיים כדי לשפר קבלת החלטות מיוחדיות על פעולות שיקום האחורי שרפה.

השתייכות לאחת שלוש תכורות צומח – יער אוריון, חורש, שיחים ובניישית – היה 94%.

דיון

רוב החוקרים על התחדשות צומח האחורי שרפה ביערות אורן ירושלים ואורן ברוטיה עשו ביערות טבעיים, בשנים הראשונות לאחר שרפה, ובדרך כלל עסקו בעיר בודד^[4, 10-7, 23-21, 18]. רק מחקרים בודדים בדקו יערות אורן יותר לאחר שרפה^[20]. המחקר הנוכחי בדק את תוכנת התחדשות הטבעית של הצומח, ללא התurbות, ביערות טבעים של אורן ירושלים 15–20 שנה לאחר שרפה, במספר רב של יערות במקביל. מצאי המחקר מראים שעצי האורן מתחדשים רק בחלק קטן מהיערות שנשרפו. נמצא שההיליך הוא במידה רבה דטרמיניסטי, ככלומר ניתן במהימנות רבה לחזות מראש אם האורים יתחדשו או לא. הגורמים העיקריים הקובעים אם תתרחש התחדשות טבעית של אורים הם הקרקע, הטופוגרפיה ועונת השרפה. הממצא שרפה בקייז מגדילה את הסיכוי להתחדשות אורן בהשוויה לשרפה באביב עשוי להיות מסווג בפרק שזרע האורן מופצים בעקבות בקייז. גם אם התרחשה שרפה מעט לפני הפצת זרעיהם, סביר שהיא גורמה להפצת מסיבית של זרעיהם מיד לאחריה. גם העובדה שאורנים התחדרו בעיקר על קרקע רנדזינה אך לא על קרקע טרה רוסה, בעוד שגורש ים תיכוני התחדר על קרקע טרה רוסה אך לא על רנדזינה, תואמת ידע עירני קודם. הממצא שהתחדשות הצומח לאחר שרפות בסתיו היא מועטה מאד בהשוואה לשרפות באביב ובקייז היה חדש לנו, ואין לנו הסבר ברור לכך. מחקרים קודמים הראו שקייםיחס חיובי בין גיל העיר להתחדשות יערות אורן. במחקר הנוכחי לא מצאו קשר כזה, אולי משום שמעטם כל היערות שנשרפו היו בוגרים (בני 15–80 שנים), וזמן זרעים לא הייתה גורם מגביל.

שני מחקרים על התחדשות יער טבעי של אורן ירושלים לאחר שרפה בקנה מידה מרחביה גדול נערכו בספר^[24] (9–10 שנים לאחר שרפה) וביוון^[31] (8 שנים לאחר שרפה). כמו במחקר הנוכחי, גם שני החוקרים הללו מצאו שונות נבדלה בהתחדשות האורים מאזור לאחר, ובמקרים רבים התחדשות האורן הייתה מועטה במיוחד. בשלוות החוקרים נמצא כי גם כיוון המפנה וגם תלילות המדרון היו בין הגורמים המרכזיים שהשפעו על התחדשות האורן, אולם פרט לשני משתני טופוגרפיה אלה לא נמצא גורמים משותפים נוספים. ביוון לא נבדקו משתנים ממשיים נוספים. בספר, גורמים משפייעים נוספים היו צפיפות העיר וגובהו לבני השרפה, כמוות ענפים בשטח לאחר שרפה, וnochoth טרסות; בישראל גורמים נוספים היו סוג הקרקע ועונת השרפה. סביר להניח שבמשך הזמן צפואה התחדרות של עצי חורש גם ברוב האזורים הנמצאים כוון בשליטת שיחים. אינדיקציה לכך

מקורות

- [1] אהרוןsson. 1997. שיקום העיר השורף בהרי יהודה – טויטה. ירושלים: קרן קיימת לישראל, רשות הטבע והגנים, המשרד לאיכות הסביבה.
- [2] ספיגר. 1999. עלויות נטיעה ועיר צעיר. קריית חיים: קרן קיימת לישראל, אגף הייעור.
- [3] צורף ת. 2003. תוכנית שיקום העיר השורף בהרי יהודה – היבטים תכנוניים ולכחים (עבודות קורס). ירושלים: האוניברסיטה העברית בירושלים.

- [4] Broncano M, Retana J, and Rodrigo A. 2005. Predicting the recovery of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* forests after a large wildfire in northeastern Spain. *Plant Ecology* 180: 47-56.
- [5] Carmel Y and Kadmon R. 1999. Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology* 145: 243-254.
- [6] Carmel Y, Kadmon R, and Nirel R. 2001. Spatiotemporal predictive models of Mediterranean vegetation dynamics. *Ecological Applications* 11: 268-280.
- [7] De las Heras J, Martínez-Sánchez J, González-Ochoa A, Ferrandis P, and Herranz J. 2002. Establishment of *Pinus halepensis* Mill. saplings following fire: effects of competition with shrub species. *Acta Oecologica* 23: 91-97.
- [8] Eshel A, Henig-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.
- [9] Eugenio M and Lloret F. 2004. Fire recurrence effects on the structure and composition of Mediterranean *Pinus halepensis* communities in Catalonia(northeast Iberian Peninsula). *Ecoscience* 11: 455-462.
- [10] Gonzalez-Ochoa A, Lopez-Serrano F, and de las Heras J. 2004. Does post-fire forest management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*? *Forest Ecology and Management* 188: 235-247.
- [11] Hosmer D and Lemeshow S. 2000. Applied logistic regression: Wiley-Interscience.
- [12] Kadmon R and Harari-Kremer R. 1999. Landscape-scale regeneration dynamics of disturbed Mediterranean maquis. *Journal of Vegetation Science* 10: 383-402.
- [13] Kazanis D and Arianoutsou M. 2004. Long-term post-fire vegetation dynamics in *Pinus halepensis* forests of Central Greece: A functional group approach. *Plant Ecology* 171: 101-121.
- [14] KKL. 2005. Forest Fires Database, Keren Kayemet Le'Israel, Forest Information Unit, Forest Department.
- [15] Nathan R, Safriel U, 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.

תודות

תודות לKKL על התמיכה הנדיבה במחקר זה, ועל שהעמידה לנו את מאגר המידע הירושני שלו, ובו נתוני הרפפות. עמית Dolb, עדי נעלם, ישראל טאובר, גידי נאמן, ומברך אונימי העיר העורחות חשובות על גרסה קודמת של מאמר זה.



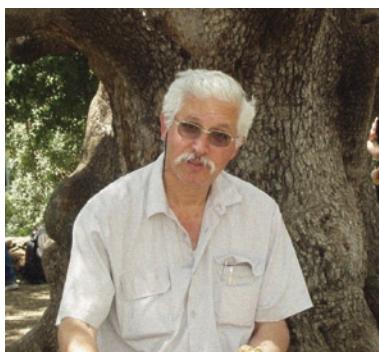
חידת המלחמה

שיקום יער ביריה השורף לאחר מלחמת לבנון השנייה
| צילום: חיים אוזלא. באדיבות ארכיוון הצלומים של KKЛ

of Kassandra Peninsula (North Greece). *Forest Ecology and Management* 92: 199-208.

- [32] Zavala MA and Burkey TV. 1997. Application of ecological models to landscape planning: the case of the Mediterranean basin. *Landscape and Urban Planning* 38: 213-227.

לזכרו של גיל ספир מאת ישראל תאובר, ז"ל



gil spir ז"ל

במשך שנים ארוכות היה גיל ספир מעמודי התווך של הייעור בישראל. הוא הגיע לכאן לאחר סיום התואר השני שבמהלכו עשה עבודה מחקר בתחום החורש הטבעי של בריבים משתמשים בתוצאותיה עד היום שנים רבות לאחר סיומו. הוא שימש במגוון תפקידים בכאן – יערן, מנהל אזור גיל תחתון, מנהל מדור הסקר, מנהל המחלקה למשאבי יער באגף הייעור ומנהל מחלקה יער במרחב צפון, הוא אחראי לכמה מהפרויקטים המשמעותיים ביותר בישראל וביניהם פיתוח מערכת הירנות, מיפוי העיר באמצעות מערכת מידע גאוגרפי, הקמת מערכת הדראה ליערנים, קליטתם ושילובם של יעරנים עולים ממדינות חבר העמים בעבודת הייעור, בניית אוסף הנחיות מקצועיות לעבודות יער וקידום מחקרים בתחום הייעור והסבירה.academy.gil היה משכmmo ומעלה באהבת האדם שבו, באחווה שלו, ביישר האישי כלפי עצמו וככלפי אחרים וברוח הטובה שהשרה על כל הסובבים אותו. לצד הסנדראליים המקצועיים הגבויים שהכתיב כמנהל, היה אהוב וmourך על הכל חבר. לאחר שפרש מעבודתו בכאן החל מחקר דוקטורט בטכניון, אך לפני שנתיים נפטר במחלה קשה. היה זכרו ברוך.

- [16] Naveh Z. 1975. The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Plant Ecology* 29: 199-208.
- [17] Naveh Z. 1990. Fire in the Mediterranean: a landscape ecological perspective. In: Goldammer JG (Ed). *Fire in Ecosystem Dynamics. Mediterranean and Northern Perspectives*. The Hague: SPB Academic Publishing.
- [18] Ne'eman G. 1997. Regeneration of natural pine forest-review of work done after the 1989 fire in Mount Carmel, Israel. *International Journal of Wildland Fire* 7: 295-306.
- [19] Ne'eman G, Goubitz S, and Nathan R. 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire - a critical review. *Plant Ecology* 171: 69-79.
- [20] Ne'eman G and Izhaki I. 1998. Stability of pre-and post-fire spatial structure of pine trees in Aleppo pine forest. *Eccography* 21: 535-542.
- [21] Ne'eman G and Izhaki I. 1999. The effect of stand age and microhabitat on soil seed banks in Mediterranean Aleppo pine forests after fire. *Plant Ecology* 144: 115-125.
- [22] Ne'eman G, Lahav H, and Izhaki I. 1992. Spatial pattern of seedlings 1 year after fire in a Mediterranean pine forest. *Oecologia* 91: 365-370.
- [23] Ne'eman G, Lahav H, and Izhaki I. 1995. Recovery of vegetation in a natural East Mediterranean pine forest on Mount Carmel, Israel as affected by management strategies. *Forest Ecology and Management* 75: 17-26.
- [24] Pausas J, Ribeiro E, and Vallejo R. 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 203: 251-259.
- [25] Pausas JG. 1999. Response of plant functional types to changes in the fire regime in Mediterranean ecosystems. A simulation approach. *Journal of Vegetation Science* 10: 717-723.
- [26] Pausas JG. 2003. The effect of landscape pattern on Mediterranean vegetation dynamics: A modelling approach using functional types. *Journal of Vegetation Science* 14: 365-374.
- [27] Pausas JG and Lavorel S. 2003. A hierarchical deductive approach for functional types in disturbed ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 14: 409-416.
- [28] Schiller G, Ne'eman G, and Korol L. 1997. Post-fire vegetation dynamics in a native *Pinus halepensis* Forest on Mt. Carmel, Israel. *Israel journal of plant sciences* 45: 297-308.
- [29] Spanos I, Daskalakou E, and Thanos C. 2000. Postfire, natural regeneration of *Pinus brutia* forests in Thasos island, Greece. *Acta Oecologica* 21: 13-20.
- [30] Thanos C, Daskalakou E, and Nikolaidou S. 1996. Early post-fire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Mount Parnis, Greece. *Journal of Vegetation Science* 7: 273-280.
- [31] Tsitsoni T. 1997. Conditions determining natural regeneration after wildfires in the *Pinus halepensis* (Miller, 1768) forests