

מודל תעדוף מרחבי לטיפול בצמחים פולשים ביערות קק"ל

עודד כהן^{1*} | דפנה שלף² | יהל פורת³ | שני גלייטמן⁴ | שקד לוסטגרטן¹
תומר יוסף¹ | ענת אידלמן⁵

- 1 המעבדה לצמחים פולשים, מכון שמיר למחקר, אוניברסיטת חיפה, קצרין
- 2 דפנה שלף, shelefgis.com
- 3 אקולוגיה בשירות הקהילה
- 4 גיא טבע ייעוץ סביבתי
- 5 אגף הייעור, קק"ל
- * odedic@gmail.com

תקציר

ולשיפור של המודל ברמה היישומית, וכעת ניתן לגזור ממנו תוכניות פעולה שנתיות ורב-שנתיות. המודל מהווה תשתית רעיונית מוצקה לקביעת סדרי עדיפויות בטיפול בצמחים פולשים ביערות קק"ל ובשטחים פתוחים בכלל. המשך העבודה יכלול פיתוח פרוטוקול ניטור מוסדר וזמין לכלל היערנים, מהנדסי היער והקהילה, וכן פיתוח פלטפורמת ניהול דינמית שתשלב עדכון אוטומטי של נתוני תצפיות מהשטח עם המודל, ותאפשר מיטוב מתמשך של סדרי הקדימויות לטיפול.

צמחים פולשים מאיימים על המגוון הביולוגי ועל שירותי המערכת האקולוגית ביערות קק"ל, ורמת האיום משתנה בהתאם לתכונותיהם הביולוגיות והאקולוגיות. מטרתנו הייתה לפתח מודל תעדוף מרחבי של צמחים זרים ביערות קק"ל, המבוסס על תכונות המינים הפולשים, על דפוסי הפיזור שלהם במרחב ועל רמת האיום שהם מהווים לשירותי היער על ייעודיו השונים. המודל משקלל תשעה קריטריונים: שלושה משתני ליבה (צפיפות הפרטים, רמת הבידוד וייעודי היער) ושישה משתני התאמה מרחביים (מרחק ממקור הפצה קבוע, רום טופוגרפי, קרבה לשבילים ולדרכים, הזמן שחלף מאז השרפה האחרונה, קרבה לבתי גידול לחים וערכיות משאבי טבע ונוף). המחקר הנוכחי מציג את הרציונל המשמש בסיס למודל, ואת תוצריו על יער מנחמיה כחקר מקרה. תוצרי המודל הוערכו ונבחנו יחד עם יערנים ומהנדסי יער של קק"ל, שהעניקו משוב על התאמת הקריטריונים לשטח ועל ההיתכנות של תרגום התוצר המרחבי לתכנון ממשקי בפועל. משוב זה שימש לכוון

מילות מפתח

ייעור ויערות קק"ל, מגוון ביולוגי, מודל תעדוף מרחבי, צמחים פולשים, שירותי מערכת אקולוגית

רקע

צמחים פולשים ושירותי המערכת האקולוגית

צמחים פולשים מהווים איום משמעותי על המערכות האקולוגיות בשטחים הפתוחים, לרבות יערות טבעיים ויערות נטע אדם. הם עלולים לשנות את ההרכב, המבנה והתפקוד של המערכות האקולוגיות ובכך לפגוע במגוון הביולוגי המקומי, לשבש את תהליכי ההתחדשות של היער, ולפגוע בשירותי המערכת האקולוגית שהיער מספק (Devine and Fei, 2011; Cohen and Ram, 2015; Langmaier and Lapin, 2020; Lázaro-Lobo et al., 2023). אף על פי שהשפעתם הישירה של מינים פולשים בישראל על שירותי המערכת האקולוגית טרם נבחנה לעומק, או שהמידע עליה עדיין מוגבל, הרי שהבעיות עצמן מוכרות היטב. ריבוי צמחים פולשים ביערות עלול, אפוא, להוביל להיווצרותם של שירותי מערכת שליליים ליער (ecosystem disservices) בדרכים שונות. למשל, מינים פולשים אלרגניים עלולים לפגוע בבריאות הציבור. האמברוסיה המכונסת (*Ambrosia confertiflora*), מין צמח רב-שנתי שמוצאו באמריקה, מתפשטת לאורך מסלולי טיול והליכה, כמו טיילת נחל אלכסנדר, ומעוררת תגובות אלרגיות בקרב מבקרים (et al., 2019).

עצים פולשים עלולים גם להגביר את סכנת השרפות. קבוצת מיני השיטה האוסטרליים (Le Maitre et al., 2011), ובה נציגים פולשים בישראל, כמו שיטה כחלחלה (*Acacia saligna*) ושיטת עלי-ערבה (*A. salicina*), ידועה כבעלת פוטנציאל לעידוד שרפות. המינים האלה מייצרים ביומסה יבשה רבה, המגבירה את עומס החומר הדליק ביער, ולאחר שרפה הם אף מסוגלים להשתלט מחדש על השטח ביעילות גבוהה. התופעה מוכרת היטב, למשל, בשפלת ההר באזור שער הגיא, שם נצפתה השתלטות של שיטה כחלחלה בעקבות שרפות.

נוסף על כך, צמחים פולשים עלולים לפגוע בתשתיות. אילנתה בלוטית (*Ailanthus altissima*), עץ שמוצאו במזרח הרחוק ונפוץ מאוד בירושלים ובסביבתה, מתבסס לעיתים לצד מבנים ותשתיות, ושורשיו עלולים לגרום להם נזק (Soler et al., 2024). הבעיה עלולה להסב נזק כבד גם לערכי מורשת מוגנים. ההתבססות המהירה של עצים פולשים באתרי תצפית ובאתרים בעלי ערך נופי עלולה לחסום קווי ראייה, לפגוע בחוויית הביקור ולחייב פעולות תחזוקה שוטפות לשם שמירה על נוף פתוח ועל נגישות למבקרים. האילנתה הבלוטית נמנית על רשימת הצמחים הפולשים של ארגון "בטרם" (בטרם, 2026) כצמח אלרגני שגורם גם לדלקות עור, ומהווה איום משמעותי על בריאות הציבור (Prenzel et al., 2022).

מיני שיחים ועצים פולשים שמתרבים בשטחים עשבוניים עלולים לפגוע באיכות המרעה ובזמינותו. למשל, העץ הפולש פרקינסוניה שיכנית (*Parkinsonia aculeate*), שמוצאו באמריקה, מגביל את צמיחת המרעה באוסטרליה, ומצמצם את גישת הבקר למרעה ולמים (van Klinken et al., 2009). מין זה מאופיין בקוצים חזקים ובנטייה ליצור עומדים צפופים לאורך נחלים, וכך הוא חוסם מעבר אדם, ופוגע גם בשימושי פנאי וטיילות. בישראל מוכרים מוקדי פלישה צפופים של פרקינסוניה שיכנית בעמקי הגליל המזרחי, בעמק כינרות, בעמק המעינות ובעמק חרוד, וכן תועדה התפשטותו בשטחי מרעה באזור יער בית קשת. לא רחוק משם, באזור קרני חיטים, פולשת גם שיטת ויקטוריה (*Acacia victoria*) המתבססת בנופים עשבוניים באקלים הצחיח למחצה של הארץ בגליל המזרחי ובמערב הנגב. באזור מושב רמות דווח כי התפשטותה פוגעת בשטחי מרעה (תלי ראובני, מידע אישי).

לצד עצים ושיחים פולשים, גם צמחים עשבוניים פולשים עשויים להשתלט על תת-היער וליצור כיסוי צפוף ודומיננטי, תוך דחיקת המינים המקומיים. בישראל בולטת נוכחותם של טיונית החולות (*Heterotheca subaxillaris*) בחולות מישור החוף ושל כנפון זהוב (*Verbesina encelioides*) במערב הנגב. הכנפון מכיל את הרעלן *galegine*, ולפיכך נחשב כמסוכן לרעייה של כבשים ובקר (Lopez et al., 1996). אומנם למינים פולשים מסוימים, כמו טיונית החולות, כנפון זהוב או חמצץ נטוי (*Oxalis pes-caprae*), יש מופע פריחה מרשים, אבל השתלטותם על הנוף כרוכה באובדן המגוון של הצומח המקומי. בשנים האחרונות גוברים הדיווחים על השתלטות חמצץ נטוי בתת-היער ביערות מישור החוף, למשל בחורשת הסרג'נטים וביער אילנות (איור 1), והתופעה יוצרת איום למיני צמחים רבים, ובהם מינים מוגנים, נדירים ואנדמיים (אבישר ואח', 2021).

לבסוף, ברשימת הצמחים הפולשים בישראל נכללים גם צמחי מים בתפוצה עולמית ממוצא טרופי, ובהם פיסטיה צפה (*Pistia stratiotes*), אלף עלה מימי (*Myriophyllum aquaticum*) ואיכהורניה עבת-רגל (*Pontederia crassipes*), המוכרת יותר בשמה העממי – יקינתון המים – שמאיימים, בין השאר, גם על מקרקעי קק"ל. בעבר התפשטה הפיסטיה בתעלות המים בעמק החולה, אך פעולות ממשק יעילות, שכללו איסוף מכני של הצמח, הובילו למיגור התופעה (אפי נעים, מידע אישי). נכון לעת הזו מוקדי הפלישה של המין בישראל מוגבלים יחסית. פלישת האיכהורניה הובילה לאחרונה לפעולת ממשק חריגה בהיקפה, שכללה ייבוש מוחלט של אגם הסופרלנד בראשון לציון. ידוע כי מין זה חוסם את חדירת קרינת השמש לגוף המים, גורם להתמוטטות תפקודית של המערכת האקולוגית,



איור 1

השתלטות חמציץ נטוי בתת-היער באילנות

א. מראה הנף החד-גוני; ב. כלנית בודדה בנוף; ג. מראה פריחת החמציץ. חורף 2025. צילום: עודד כהן.

משאבים ניכרת ובמחויבות לתחזוקה רב-שנתית למניעת פלישה חוזרת (כהן ואח', 2020; כהן וקופלר, 2022). לנוכח מגבלות התקציב, ובשל השונות הרבה בין מוקדי הפלישה מבחינת צפיפות הצמחים, נגישות השטח, שיטות הטיפול האפשריות ורמת הסיכון למגוון הביולוגי ולשירותי המערכת האקולוגית, עולה צורך בגיבוש סדרי עדיפויות ברורים לטיפול, כלומר בקביעה מושכלת היכן ראוי להתערב תחילה ובאילו מוקדים יש למקד את המאמץ (Courtois et al., 2022; Potgieter et al., 2018). בהקשר זה, הליך החשיבה האנליטי מוצע ככלי עבודה סדור, שתוצריו מאפשרים למפות באופן שיטתי והיררכי את סדרי העדיפויות לטיפול במוקדי פלישה של צמחים פולשים, ובכך לתמוך בקבלת החלטות ובתכנון תוכניות עבודה רב-שנתיות.

נהוג להבחין בין תעודף טקסונומי לטיפול בצמחים פולשים (לדוגמה Randall et al., 2008; Ziller et al., 2020), העוסק בשאלה באילו מינים יש לטפל תחילה, לבין תעודף מרחבי, העוסק בקביעת קדימות הטיפול בין שטחים ומוקדי פלישה (Potgieter et al., 2022). סקירת ספרות שפורסמה בשנת 2022, ובה נבחנו 27 תוכניות פעולה המבוססות על קביעת סדרי עדיפויות לממשק, הראתה כי שליש מן המחקרים נערכו בארצות הברית, 22% באפריקה, 7% באוסטרליה, והיתר באזורים אחרים בעולם (Forner et al., 2022). עוד עלה מן הסקירה, כי מרבית הפרויקטים התבססו על מידע מן הספרות, ורק מיעוטם שילבו גם סקרי שדה. הקריטריון המרכזי בקבלת ההחלטות היה רמת האיום של הצמחים הפולשים, ואילו שיקולי ישימות נכללו לעיתים רחוקות בלבד. מבחינת שלב ההתערבות, למעלה ממחצית הפרסומים עסקו במניעה, 22% באיתור מוקדם ובתגובה מהירה, 22% בפלישות מבוססות, ורק 4% במיגור מלא. באשר לסוג התעודף, 52% מן הפרסומים עסקו בתעודף טקסונומי, ו-48% בתעודף מרחבי. הקריטריונים השכיחים ביותר בניתוחים ההיררכיים היו רמת האיום של המין הפולש ורגישות בית הגידול או רמת האיום עליו, בעוד

פוגע במדגה, ובסופו של דבר עלול להפוך את גוף המים למוקד למכנעי יתושים בסביבתו (Ayanda et al., 2020).

במסמכי מדיניות היער ותורת ניהול היער בישראל (אסם ואח', 2014) מודגש כי כל יחידת יער מתוכננת כך שתתפתח בה תצורת צומח רצויה המתיישבת עם ייעודי היער המרכזיים, למשל יער רב-תכליתי, יער המיועד לנופש או שטחי חיץ. שמירה על שירותי המערכת האקולוגית בייעודי היער השונים לפי מדיניות הייעור מחייבת התייחסות לצמחים פולשים כאחד האיומים המרכזיים בשנים הבאות (Jones and Grenz, 2023). לנוכח האיומים על המגוון הביולוגי ועל תפקוד שירותי המערכת האקולוגית, קק"ל פועלת לצמצום התופעה והנזקים הנלווים לה.

ברשימת הצמחים הפולשים בנכסי קק"ל בולט חלקם של המינים המעוצים, כמו שיטה כחלחלה, שיטת עלי-ערבה, שיטת ויקטוריה, פרקינסוניה שיכנית, צחר כחלחל (*Leucaena leucocephala*), פלפלון דמוי-אלה (*Schinus terebinthifolia*) ואילנתה בלוטית. מרבית השיחים והעצים הפולשים הם פליטי תרבות, ובכללם גם עצי יער שהתגברו על מכשולי הריבוי, ההפצה וההישרדות של הזרעים בסביבתם החדשה, והם מתרבים ומתפשטים בצפיפות רבה ובהיקפים גדולים. מבין עצי היער שהפכו פולשים עם השנים בולט חלקם של מיני השיטה האוסטרליים (שיטת ויקטוריה, שיטת עלי-ערבה, שיטה כחלחלה).

לשימורן של חברות הצומח המקומיות בישראל יש חשיבות ערכית בפני עצמה, אך מעבר לכך, התפשטותם של צמחים פולשים אינה רק שינוי בצומח ובצמחייה הטבעיים, אלא תהליך בעל השלכות סביבתיות מובהקות, שעלול לפגוע בתפקוד היער ובשירותי המערכת האקולוגית שהוא מספק.

מדיניות וסדרי עדיפות לטיפול בצמחים פולשים

טיפול במוקדי פלישה של צמחים פולשים כרוך בהשקעת

לדרג את מוקדי הפלישה על פני רצף עדיפויות, לזהות את האתרים שהתשואה האקולוגית והניהולית בהם מהשקעת המשאבים היא הגבוהה ביותר, ולקבוע את סדר העדיפויות לממשק בהתאם. באופן זה, תוכנית הפעולה המתקבלת צפויה להיות גם ישימה וגם משתלמת.

שיטות

הגישה הממשקית, מבנה המודל וסולמות הניקוד

השימוש ברמות סדר חצי כמותיות, כגון ארבע דרגות לחשיבות על שמירה על משאבי טבע ונוף, מקובל בספרות העוסקת בקביעת סדר העדיפויות לטיפול במינים פולשים ובניתוח מרובה קריטריונים, ואין טווח ערכים מספרי אחיד ומוסכם לכלל הקריטריונים (Darin et al., 2011; EPP0, 2012). בהתאם לכך, המודל המוצע מבוסס על תשעה קריטריונים המחולקים לשתי קבוצות: שלושה משתני ליבה: צפיפות הפרטים במוקד, רמת הבידוד של המוקד וייעודי היער, ושישה מקדמי התאמה: מרחק ממקור הפצה קבוע, רום טופוגרפי, קרבה לשבילים, הזמן שחלף מאז השרפה האחרונה, קרבה לבתי גידול לחים וערכיות משאבי הטבע והנוף (נוסחה 1). משתני הליבה מחושבים כמכפלה, ותוצאתם מוכפלת בסכום מקדמי ההתאמה. מבנה זה מעניק למשתני הליבה עדיפות מבנית במודל, שכן כל שינוי בערכו של אחד מהם משפיע על הציון הסופי באמצעות הכפלת כלל רכיבי ההתאמה, בעוד שכל אחד ממקדמי ההתאמה משפיע כרכיב יחיד בתוך סכום של שישה משתנים. לכל אחד ממשתני הליבה הוקצה סולם סדר צר יחסית, 1, 1.3, 1.6 ו-1.9, ולכן טווח המכפלה המצטברת שלהם נע בין 1 ל-6.86.

ששיקולים של ישימות ועלות כלכלית נבחנו לעיתים נדירות בלבד. מהממצאים האלה עולה שלמרות הידע המצטבר בדבר השפעותיהם של צמחים פולשים על סביבתם, עדיין חסרה מסגרת סדורה ואינטגרטיבית לקביעת סדרי עדיפויות לממשק.

מתוך צורך זה פותחה בשלוש בשנים האחרונות גישה יישומית לקביעת סדרי עדיפויות לטיפול במוקדי פלישה ביערות קק"ל, המשלבת בין שיקולי ישימות ממשקית לבין התועלת הצפויה לשמירה על שירותי היער על ייעודיו השונים (פורת וגלייטמן, 2024). מטרת עבודה זו היא לפתח מודל לקביעת סדר עדיפויות לטיפול במוקדי פלישה של מספר מינים במקביל, ולא במין אחד ספציפי. הגישה המעשית לטיפול בצמחים פולשים בעבודה זו מניחה כי התערבות יזומה במוקדי פלישה צריכה להיות ישימה וגם משתלמת (כהן ואח', 2020; כהן וקופלר, 2022). הישימות מתייחסת ליכולת ליישם את הממשק בפועל, כלומר במסגרת תקציבית מוגבלת, במאפייני השטח והנגישות, בזמינותם ובהתאמתם של כלים הנדסיים ואמצעי הטיפול, וכן ביכולת לקיים תחזוקה רב-שנתית שתמנע פלישה חוזרת. הכדאיות נקבעת ביחס שבין עלות המאמץ הניהולי לבין תרומתו למיצוי התועלת של היער בהתאם לייעודי השטח. מאחר שכל מין פולש משפיע באופן שונה על ייעודי היער המגוונים, נדרש תהליך שיטתי המבוסס על שקלול בין גורמים ביולוגיים, אקולוגיים ויישומיים. הליך החשיבה האנליטי מבוסס על הגדרה מראש של קריטריונים מגוונים הקשורים לישימות הממשקית ולתועלת הצפויה לצמצום עתידי של הפלישה ולשימור התכלית של ייעודי היער. איחוד הקריטריונים למדד משוקלל אחד מאפשר

$$P = (A \times I \times G) \times (D + E + T + F + W + H)$$

נוסחה 1

חישוב רמת העדיפות לטיפול

הנוסחה מחשבת את רמת העדיפות לטיפול (P) ככפל של שלושת משתני הליבה (צפיפות הפרטים במוקד, רמת הבידוד וייעודי היער) בסכום ששת משתני ההתאמה (מרחק ממקור הפצה קבוע, רום טופוגרפי, קרבה לשבילים, הזמן מאז השרפה האחרונה, קרבה לבתי גידול לחים וערכיות משאבי הטבע והנוף), כך שהמשתנים הראשונים קובעים את חומרת מוקד הפלישה, והמשתנים האחרים מכוונים את ציון העדיפות הכולל.

1. צפיפות הפרטים במוקד (A): מספר פרטים לדונם למינים מעוצים, או כיסוי יחסי למינים עשבוניים
2. רמת בידוד (I): מיקום המוקד ביחס לצפיפות מוקדי פלישה נוספים באזור
3. איום על ייעודי היער (G): רמת האיום הספציפית של המין הפולש על ייעודים שונים של שטחי היער
4. מרחק ממקור הפצה קבוע (D): מיקום המוקד ביחס למקור הפצה שאינו בשליטת קק"ל
5. רום טופוגרפי (E): רמת איום הפצה ספציפית למינים שונים בגבהים טופוגרפיים שונים
6. קרבה לשבילים (T): רמת הזיקה הספציפית של מינים שונים ובמרחקים שונים מדרכים ראשיות ומדרכי עפר
7. זמן ממועד השרפה האחרונה (F): ערך הניתן למוקד הפלישה על פי הזמן שעבר ממועד השרפה האחרונה
8. קרבה לבתי גידול לחים (W): רמת הזיקה הספציפית של מינים שונים ובמרחקים שונים מגופי מים, ממעינות ומערוצי נחלים
9. ערכיות משאבי טבע ונוף (H): ניקוד כשטח בעל ערכיות נוף משולבת גבוהה לפי סקרי דש"א או מוקדה (hotspot) לפי סקרי קק"ל.

מקדם מרחבי (מטרים)				רמה		מקדם טקסונומי
30 – 0	100 – 30	300 – 100	>300			
9	6	3	1	1	נמוכה	
11.7	7.8	3.9	1.3	1.3	בינונית	
14.4	9.6	4.8	1.6	1.6	גבוהה	
17.1	11.4	5.7	1.9	1.9	גבוהה מאוד	

טבלה 1

מטריצת ניקוד לקביעת קדימות טיפול לפי מקדם טקסונומי ומקדם מרחבי

המקדם הטקסונומי מתייחס לרמת הסיכון של הצמח הפולש על ייעוד השטח לפי מדרג 1-1.9, ואילו המקדם המרחבי מתייחס לגורמי האיתור של המוקד, במקרה זה המרחק במטרים מרצועת החיץ. עבור כל מקדם נקבעו ארבע רמות. בדרך זו טווח הערכים המתקבל נע בין 1 ל-17.1. סולם סדר זה שימש לייחוס כל הקריטריונים במודל.

יבש וצפוף. לא מדובר רק בפגם אסתטי, אלא גם בהתגברות סכנת השרפות שעלולה להקשות על ביצוע טיפולי המשך למניעת פלישה חוזרת. נוסף על כך, במוקדי פלישה צפופים ונרחבים פוטנציאל ההתחדשות מבנק הזרעים לרוב גבוה יותר, ולכן נדרש ממשק רב-שנתי מתמשך, לעיתים קרובות בשילוב אמצעים כימיים, שעלול גם לעכב את התאוששותה של הצמחייה המקומית. משום כך, צפיפות הפרטים מהווה גורם מהותי בקביעת היתכנות הטיפול, עלותו והשלכותיו האקולוגיות. הערך הניתן לצפיפות הפרטים חושב על סולם סדר מ-1 עד 1.9, בערכים 1, 1.3, 1.6 ו-1.9, בהתאם להתפלגות צפיפות הפרטים בכלל המוקדים. הערכים האלה יוחסו לרבעוני הצפיפות, מן הרבעון הצפוף ביותר ועד לרבעון הדליל ביותר, כך שמוקדים ברבעון הצפוף ביותר קיבלו את הערך 1, ואילו מוקדים ברבעון הדליל ביותר קיבלו את הערך 1.9.

רמת הבידוד של מוקד הפלישה הוא קריטריון המבטא את המיקום של מוקד הפלישה ביחס לצפיפות מוקדי הפלישה האחרים בסביבתו. ככל שצפיפות מוקדי הפלישה במעגלים הקרובים למוקד הספציפי קטנה יותר, כך רמת הבידוד גבוהה יותר. מבחינת עלות-תועלת, טיפול במוקדי פלישה מבודדים מניב לרוב תועלת שולית גבוהה יותר לכל יחידת משאב בהשוואה לטיפול במוקדים המצויים בתוך רצף של מוקדי פלישה (Moody and Mack, 1988; Eppinga et al., 2021; Lampert and Liebhold, 2023). כאשר מוקד מבודד מצוי בשטח שעדיין נותר נקי יחסית, כל משאב המושקע בו מסייע לצמצם מראש את פוטנציאל ההתפשטות לאזורים סמוכים שטרם נפגעו. במובן זה, השקעה במוקד מבודד עשויה לשמש בלם יעיל בפני התקדמות הפלישה. כלומר, אף אם העלות לטיפול בפרט בודד דומה, התועלת היחסית במונחים של מניעת התפשטות עתידית – גבוהה יותר. לעומת זאת, התרומה השלילית של מוקד המצוי בתוך רצף

לעומת זאת, כל אחד ממקדמי ההתאמה מחושב כמכפלה של מקדם טקסונומי ייחודי למין, בערכים 1, 1.3, 1.6 ו-1.9, ושל מקדם מרחבי ניהול, בערכים 1, 3, 6 ו-9, הניתן לגורם האיתור של מוקד הפלישה ביחס לקריטריון הנבחן (טבלה 1). בהתאם לכך, טווח הערכים של כל מקדם התאמה נע בין 1 ל-17.1, וסכום ששת המקדמים נע בין 6 ל-102.6, כך שטווח הציונים התאורטי של המודל כולו נע בין 6 ל-703.73. טווחי הערכים במודל נקבעו באופן יישומי, מתוך רצון ליצור הבחנה היררכית ברורה בין שתי קבוצות הקריטריונים. לצורך בחינת יציבות המודל נבחנו תרחישים חלופיים של ערכי סקאלה, והדירוגים שהתקבלו הושוו לדירוג המקורי.

פירוט הקריטריונים במודל

שלושת משתני הליבה

צפיפות הפרטים, קריטריון המבטא את מספר הפרטים ליחידת שטח עבור מינים מעוצים או כיסוי יחסי של עשבונים על פני השטח. קריטריון זה הוא אחד הגורמים המרכזיים המשפיעים על ישימות הממשק, שכן ככל שהצמח הפולש מצוי בצפיפות גבוהה יותר, כך הטיפול נעשה מורכב, יקר וממושך יותר, וסיכויי הצלחתו פוחתים (Le Maitre et al., 2011; Kerr et al., 2016; Schiffler and Essl, 2016). כאשר הפרטים מפוזרים בדלילות במרחב, ניתן לעיתים להסתפק בטיפול נקודתי, כמו חריטה בעזרת גרזן והזלפת חומרי הדברה לגזע, תוך השארת העצים במקומם. במצבים האלה העלות נמוכה יחסית, הפגיעה האסתטית מוגבלת, הסיכון להיווצרות שרפות קטן, והטיפול ניתן ליישום בעלות נמוכה בשטחים נרחבים. לעומת זאת, כאשר הצמחים הפולשים יוצרים עומדים צפופים, נדרש בדרך כלל טיפול אינטנסיבי יותר, הכולל פינוי ביומסה באמצעות כלים מכניים כבדים ולעיתים גם גריסה, כדי למנוע הצטברות של סבך

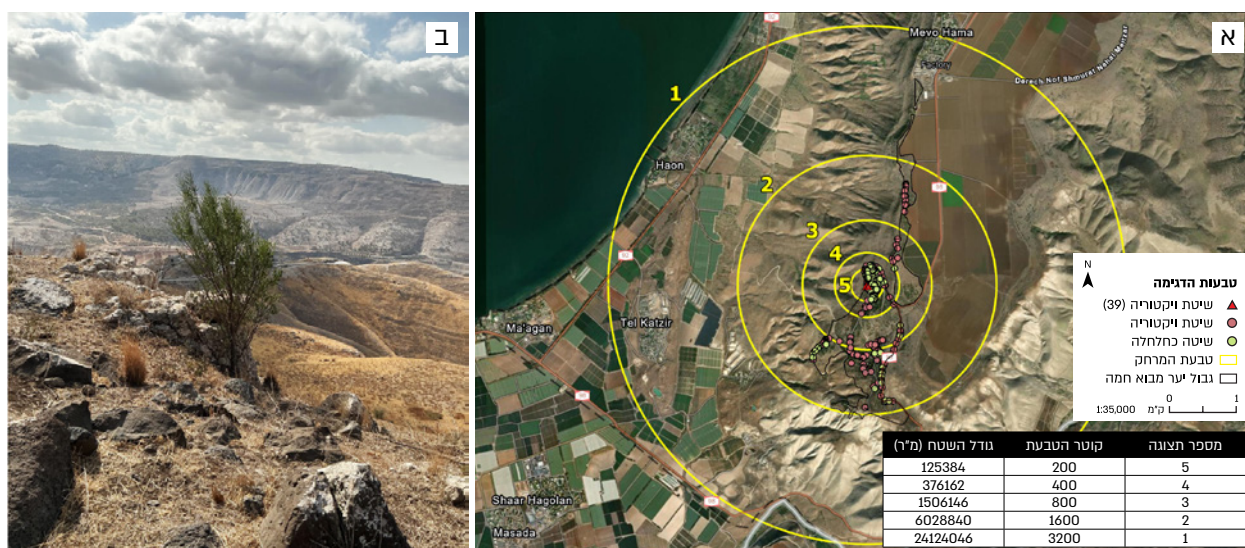
הדגמה, נניח שייעוד השטח האמור הוא שמירה על שטחי חיץ: קיים הבדל מהותי אם הצמח הפולש לשטח הוא אמברוסיה מכונסת או שיטה כחלחלה. שני המינים נוטים להתבסס ולהתפשט בשטחים מופרעים, אולם האיום של שיטה כחלחלה על תפקוד שטחי החיץ גבוה יותר, משום שהיא גבוהה יותר, מייצרת כמות גדולה יותר של ביומסה יבשה, דליקה יותר, ומעמידה בנק זרעים צפוף המתחדש לאחר שרפה. לכן, בהיתן שני מוקדי פלישה סביב יישוב כמו בית זית בהרי ירושלים, האחד של אמברוסיה מכונסת והשני של שיטה כחלחלה, הקדימות הממשקית תהיה לטפל תחילה במוקד השיטה ורק לאחר מכן במוקד האמברוסיה, גם אם אמברוסיה מכונסת נחשבת לעשב משבש ממדרגה ראשונה.

לצורך מתן ניקוד לרמת האיום של מוקדי הפלישה על ייעודי היער קבענו ערך טקסונומי לרשימת המינים שנמצאו בסקרי שדה. סולם הסדר של הערכים, מן הנמוך לגבוה, הוא 1, 1.3, 1.5, 1.7 ו-1.9. במקרה המתואר, הערך הטקסונומי של אמברוסיה מכונסת הוערך 1, לעומת 1.9 עבור שיטה כחלחלה. המקדם המרחבי של מוקד הפלישה מתייחס למרחק מרצועת החיץ. סולם הסדר מן הנמוך לגבוה הוא 1, 3, 6 ו-9 עבור המרחקים הגדולים מ-300 מטר, 300–100 מטר, 100–30 מטר וכחות מ-30 מטר. בדרך זו טווח הערכים המשולב של המקדם הטקסונומי וגורם האיתור נע

של מוקדי פלישה נוספים להפצה בסביבתו היא שולית, משום שהוא מוקף במקורות זרעים סמוכים. יתרה מכך, לאחר טיפול נרחב השטח נותר חשוף לפלישה חוזרת ממקורות הפצה סמוכים. חישוב רמת הבידוד נעשה באופן הבא: עבור כל מוקד פלישה (צמח פולש בודד או ריכוז של פרטים מאותו המין) נספרו מוקדי פלישה נוספים בתוך טבעות מרחק קונצנטריות כמתואר באיור, בהתאם לקטרים המפורטים בטבלה שבאיור 2. לכל טבעת יוחס ערך אורדינלי בין 1 ל-5, כמתואר בטבלה שבאיור. מספר מוקדי הפלישה בכל טבעת חולק בשטח הטבעת, ורמת הבידוד של מוקד הפלישה הוגדרה גבוהה יותר, ככל שהערך המצטבר היה נמוך יותר.

איום על ייעודי היער המיוחסים למטרות הייעור והניהול של היער בישראל, כפי שהוגדרו במסמך תורת ניהול היער (אסם ואח', 2014). הייעודים כוללים יער רב-תכליתי, נופש וטיילות, מורשת ותצורות נוף ייחודיות, אזורי חיץ לאש, ערכי טבע ובתי גידול ייחודיים, יער קהילתי ומחקר. המדרג היחסי של מוקדי הפלישה עבור קריטריון ייעודי היער נקבע על פי מקדם טקסונומי ייחודי לכל מין פולש, בשילוב עם מקדם מרחבי (טבלה 1).

הערך הטקסונומי נקבע על בסיס הערכה של רמת האיום שהצמח הפולש מציב על ייעודי השטח שפלש אליו. לצורך



איור 2

השפעת רמת הבידוד של מוקד הפלישה על רמת הפגיעה בסביבתו

א. הדגמה של חישוב מדד הבידוד על מוקד פלישה של שיטת ויקטוריה ביער מבוא חמה. עבור כל מוקד ספציפי חושבו מספר מוקדי הפלישה בטבעות מרחק כמתואר בטבלה באיור (קוטר הטבעת). לכל טבעת ניתן ערך אורדינלי בערכים של 1–5 (בצורה). מספר המוקדים בכל טבעת חולק בשטחה (גודל השטח במ"ר). מדד הבידוד התקבל כסכום הערכים המנומלים, כך שערך נמוך יותר מעיד על רמת בידוד גבוהה יותר. ב. עץ בודד של שיטת עלי-ערבה. עץ זה יוצר לחץ הפצה על סביבתו הקרובה שבה אין עוד מוקדי פלישה מלבדו, ומכאן החשיבות הרבה לטיפול במוקד זה.

קרבה לשבילים משפיעה באופן ישיר הן על נגישות השטח לעבודת השטח הן על דפוסי ההפצה של הצמחים הפולשים (von der Lippe and Kowarik, 2007). ככל שהטיפול מתבצע קרוב יותר לשביל, קל יותר לבצע התערבות, שכן כלי הרכב יכולים ללוות את הצוותים, ואין צורך לשאת ציוד ידנית. נוסף על כך, שבילים מהווים בתי גידול מופרעים ומסדרונות הפצה, שצמחים פולשים מתבססים בהם ומפיצים מהם זרעים. כלי רכב ומטיילים המשתמשים בשבילים תורמים לפיזור הזרעים לאורך רשת השבילים. לפיכך, קיימת חשיבות רבה לתת עדיפות לטיפול בסמיכות לשבילים, בייחוד במינים המייצרים כמויות גדולות של זרעים ביחס למינים אחרים.

הזמן שחלף ממועד השרפה קובע את יעילות הממשק במניעת התבססותם של צמחים פולשים, כך שהתערבות ככל הניתן בסמיכות לאירוע השרפה צפויה להיות יעילה יותר (Keeley, 2006). שרפה יוצרת חלון הזדמנות לפלישה: היא מכחישה את התחרות עם הצומח המקומי, מגדילה את זמינות האור והמשאבים, ולעיתים מגבירה את גיוס הצאצאים של הצמחים הפולשים מבנק הזרעים או ממקורות הפצה סמוכים. לכן בשנים הראשונות שלאחר השרפה גדל הסיכון להתבססות ולהתפשטות של מינים פולשים. השקעת משאבים בניטור ובתגובה מהירה בשלבים מוקדמים לאחר השרפה זולה יחסית, ויכולה לעיתים לחסוך עלויות משמעותיות שיידרשו לטיפול בפלישה בשלבים מאוחרים יותר. נכון להיום המודל מתייחס לשכבת השרפות, אך אפשר להרחיב את המשתנה גם להפרעות אקוטיות אחרות בבית הגידול, לדוגמה הזמן ממועד נטיעה, ובייחוד כאשר מדובר בעבודות הנדסיות בשטח ובשימוש בקוטלי עשבים להגנה על הנטיעות.

בתי גידול לחים באקלים הים תיכוני מאופיינים בזמינות מים גבוהה, בלחות יחסית ובדרגת הפרעה אנושית מוגברת לאורך מקווי מים וגדות נחלים, ולכן הם מושכים אליהם ריכוז גבוה של מינים פולשים ומאפשרים את התפשטותם (Arianoutsou et al., 2013). ערוצי הנחלים משמשים גם מסדרונות הפצה יעילים במורד הזרם, ולכן טיפול ממוקד בצמחים פולשים לאורך ערוצי הנחלים עשוי לתרום לבלימת התפשטותם למרחב גדול יותר.

משאבי טבע ונוף במחקר זה נקבעו על בסיס סקרי קק"ל למוקדות (hotspot) במגוון הביולוגי, ובעיקר על סקרי דש"א המספקים מדד משולב למאפייני חברת הצומח ולמשאבי נוף ומורשת. במדד זה ניתן מקדם טקסונומי גבוה במיוחד למינים מהנדסי סביבה (transformers) שהם תת-קבוצה של מינים פולשים, המשנים את אופייה ותפקודה של המערכת האקולוגית ונוטים ליצור כתמים רציפים וצפופים.

בין 1 בהדגמה על אמברוסיה מכונסת במרחק העולה על 300 מטר מרצועת החיץ, לבין 17.1 עבור שיטה כחלחלה הגדלה בתוך רצועת החיץ. באופן דומה לשמירה על שטחי חיץ, השתמשנו במקדם טקסונומי ובמקדם מרחבי להערכת הסיכון של הצמחים הפולשים לכלל היעודים של היערות. הערכת התכונות המאיימות על ייעודי היער הרב-תכליתי כללה התייחסות לדגם הפיזור של הצמחים הפולשים (פזור או קווי), למאפייני צפיפות המוקדים, ליכולת תחרות בשלבי סוקצסיה מאוחרת, לפוטנציאל התחדשות לאחר שרפה וליכולת גיוס צאצאים. עבור ייעודי נופש, תיירות ומורשת נקבעו קריטריונים המתייחסים לנראות (פגם אסתטי), לסכנה לבריאות הציבור (רעילות, אלרגיות), לפגיעה בשטחי פנאי, לפגיעה בנגישות או בתצפית ולזיקה להתבססות בצמידות להפרעות ולתשתיות.

משתני התאמה מרחביים

טווח הערכים של כל אחד מששת מקדמי ההתאמה נע בין 1 ל-17.1, כשילוב של מכפלת המקדם הטקסונומי במקדם המרחבי, כמתואר בטבלה 1.

מרחק ממקור הפצה קבוע מתייחס למרחק של מוקד הפלישה ביחס לשולי יישובים ולתשתיות המשמשים מקורות זרעים מתמשכים, ומשפיעים על לחץ ההפצה של המינים הפולשים אל השטחים הפתוחים. הפחתת לחץ ההפצה על בתי הגידול בשטחים הפתוחים מחייבת שיתוף פעולה בין קק"ל לבין הרשויות המקומיות והגופים המנהלים את השטחים הסמוכים ליער, אולם שיתופי פעולה כאלה אינם מתקיימים תמיד, ולכן לחץ ההפצה נותר בעינו. מטבע הדברים, ככל שמתרחקים ממקור קבוע של אספקת זרעים, לחץ ההפצה קטן, והיעילות ארוכת הטווח של הטיפול עולה. משום כך, עדיף במקרים רבים להפנות את המאמץ הניהולי למוקדי פלישה המרוחקים ממקורות ההפצה הקבועים, ולא דווקא לשטחים הסמוכים להם.

הרום הטופוגרפי משפיע על דפוסי ההפצה של צמחים פולשים, שלרוב מתפשטים מרום גבוה לרום נמוך. השפעה זו חזקה בייחוד אצל מינים המופצים במים וברוח, וחלשה יותר אצל מינים המופצים על ידי בעלי חיים. למשל, אמברוסיה מכונסת מופצת בעיקר באמצעות פירות וזרעים הנסחפים במי נגר ובערוצי נחלים, בעיקר באירועי שיטפון. ההערכה היא כי התפשטות מין זה בעמק חפר ובבקעה התרחשה בעקבות מוקד פלישה שזרעיו נסחפו לאורך ערוצי הנחלים באגן שכס-אלכסנדר מערבה ובאגן נחל תרצה מזרחה. לעומת זאת, שיטה כחלחלה, המופצת בעיקר על ידי נמלים, מושפעת פחות מן הרום הטופוגרפי, ולכן מוקדי פלישה גדולים עשויים להתפשט גם במעלה המדרון, כפי שנצפה במוקד הפלישה במדרונות שער הגיא.

איסוף נתונים ועיבוד שכבות מידע – יער מנחמיה כחקר מקרה

איסוף הנתונים של השפע והפיזור של הצמחים הפולשים נעשה באמצעות סקרי שדה בכלל שטח המחקר ביער מנחמיה. הסקרים כללו נסיעה לאורך שבילי היער, הליכה רגלית באזורים נבחרים, ותיעוד אווירי באמצעות רחפן AVATA לצורך איתור מוקדי פלישה והשלמת מידע מרחבי. תצפיות המינים הפולשים תועדו ביישומון Field Maps ייעודי של ESRI המאפשר רישום גאוגרפי מדויק של כל מוקד פלישה לפי מין (איור 3). לצורך סטנדרטיזציה של עבודת הסוקרים חולק שטח המחקר לרשת אחידה של משבצות בגודל 33×33 מטר (1 דונם), שנבנתה כשכבת פוליגונים המכסה את כלל שטח המחקר. גודל המשבצת נבחר כך שיאפשר לסוקר להעריך באופן עקבי את מצב הצמחייה הפולשת בסביבתו הקרובה ולכמת את הפרטים ביחידת שטח סטנדרטית (צפיפות לדונם). עבור כל משבצת נרשמה הערכה של מספר הפרטים עבור מינים מעוצים או אחוז כיסוי עבור מינים עשבוניים ובנפרד לכל מין. כל הופעה של מין פולש במשבצת הוגדרה כתצפית, וכל תצפית שימשה יחידת הניתוח הבסיסית לחישוב ערכי הקריטריונים במודל.

שכבת התצפיות של המינים הפולשים התבססה על נתוני הסקר שנאספו בשטח. נתוני התצפיות יובאו לסביבת GIS (ממ"ג) כשכבת נקודות, ושויכו למשבצות הרשת, כולל המידע מתמונות הרחפן. לאחר מכן חושבו לכל תצפית ערכי המשתנים ששימשו במודל התעדוף, על בסיס שילוב בין נתוני השדה לבין שכבות מידע מרחביות ממספר מקורות. שכבת ייעודי השטח התבססה על יחידות הממשק האקולוגי של קק"ל, ושימשה לחישוב משתנה ייעודי השטח, וכן של הרכיב המרחבי הרלוונטי לייעוד הנבחן. הליך תכנון והכנת תוכנית או מפת ייעודי שטח ליער עבור יער מנחמיה נעשו כרקע לעבודה זו. שכבת אזורי החיץ

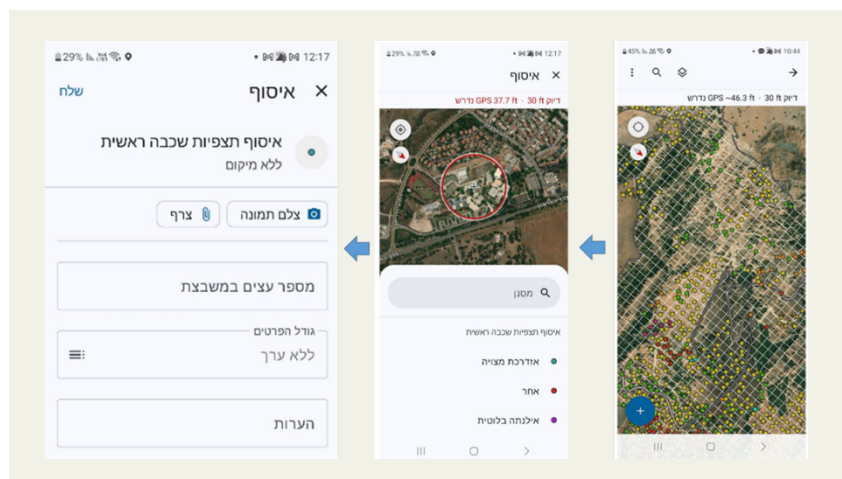
הארציים של קק"ל שימשה להערכת הקרבה לשטחי חיץ במקרים הרלוונטיים. שכבות בתי הגידול הלחים, המעיינות, הנחלים והתעלות התקבלו ממאגרי קק"ל, ושימשו לחישוב הקרבה לבתי גידול לחים. שכבת היישובים והמתקנים, ששימשה להגדרת מקורות הפצה קבועים, התבססה על כרויקט Open Street Map של ישראל. מידע טופוגרפי נגזר משכבת קווי הגובה של קק"ל, ושכבת השרפות עם מועד השרפה האחרון התבססה על נתוני רשות הטבע והגנים. שכבת השבילים והדרכים התקבלה אף היא ממאגרי קק"ל. לצורך הערכת ערכיות אקולוגית שולבו שכבות EcoVal של מכון דש"א המספקות מדד משולב לערכי טבע, לבתי גידול ייחודיים ולמשאבי נוף. כל השכבות והחישובים נעשו ברשת ישראל החדשה: Israel Transverse Mercator והותאמו לגבולות יער מנחמיה.

לאחר בניית בסיס הנתונים המרחבי חושבו עבור כל תצפית תשעת הקריטריונים של המודל. צפיפות הפרטים (A) חושבה מתוך נתוני הסקר, ולאחר מכן הומרה לסולם סדר על פי רבעוני ההתפלגות בכלל המוקדים. רמת הבידוד (I) חושבה באמצעות טבעות מרחק קונצנטריות סביב כל מוקד פלישה, ספירת מוקדי פלישה נוספים בכל טבעת ונרמול מספרם לפי שטח הטבעת כמתואר בתיאור הקריטריונים למודל. ייעודי היער (G) וכן ששת משתני ההתאמה המרחבית חושבו על בסיס שילוב של מקדם טקסונומי ומקדם מרחבי (כמתואר בתיאור הקריטריונים למודל) בהתאם לשכבות המידע הרלוונטיות. המרחק ממקור הפצה קבוע (D) הקרבה לשבילים (T) והקרבה לבתי גידול לחים (W) חושבו כמרחקים בקו אווירי. הרום הטופוגרפי (E) נגזר מן המידע הטופוגרפי. הזמן ממועד השרפה האחרון (F) חושב באמצעות חיתוך מרחבי עם שכבת השרפות. ערכיות משאבי הטבע והנוף (H) נקבעה באמצעות חיתוך מרחבי עם שכבות הערכיות האקולוגיות של דש"א. לבסוף חושב

איור 3

שיטת הניטור בפלטפורמת Field Maps

מימין שכבת המשבצות על גבי תצלום אוויר של יער מנחמיה. הנקודות הצבעוניות מסמנות מינים פולשים שונים. לחיצה על הסמן "+" פותחת רשימה קיימת לזיהוי המין הפולש, וממנה נפתח חלון (באמצע), שבו ניתן לבחור אחד מהמינים הפולשים. בחירת המין בלחיצה פותחת חלון איסוף תצפיות לשכבה ראשית (משמאל), ובו שדות שונים למילוי, כמתואר למעלה.



שיטת ויקטוריה (איור 4). דגם ההתפשטות של הצמחים הפולשים ביער כלל כמה טיפוסים מרחביים בולטים: דגם נקודתי, המתבטא במוקדי פלישה מבודדים יחסית ממוקדים סמוכים נוספים (איור 4א), דגם קווי לאורך שבילים וערוצי נחלים (איור 4ב), וכן דגם פזור בצפיפות נמוכה, בינונית (איור 4ג, 4ד) וגבוהה (איור 4ה, 4ו). הצפיפות הגבוהה ביותר של העצים הפולשים נרשמה במרכז היער (איור 4א), אזור שעומד צפוף של שיטת ויקטוריה בלט בו במיוחד (איור 4ו). מנגד, רמת הבידוד של מוקדי הפלישה (איור 4ב) עלתה ככל שגדל המרחק מליבת היער אל שוליו, בצפון ובדרום, דפוס המצביע על עדיפות יחסית לטיפול במוקדים היקפיים

ציון העדיפות לכל תצפית בהתאם לנוסחה 1, והערכים שהתקבלו הוצגו כמפת עדיפות מרחבית בסיווג צבעים מדורג, לצורך זיהוי האזורים שמצריכים קדימות טיפולית גבוהה.

תוצאות: יער מנחמיה כחקר מקרה

העצים הפולשים הדומיננטיים ביער מנחמיה כללו את המינים שיטה כחלחלה, שיטת עלי-ערבה, שיטת ויקטוריה ופרקינסוניה שיכנית, והמין הדומיננטי ביותר מביניהם הוא



ב



א



ד



ג



ו



ה

איור 4

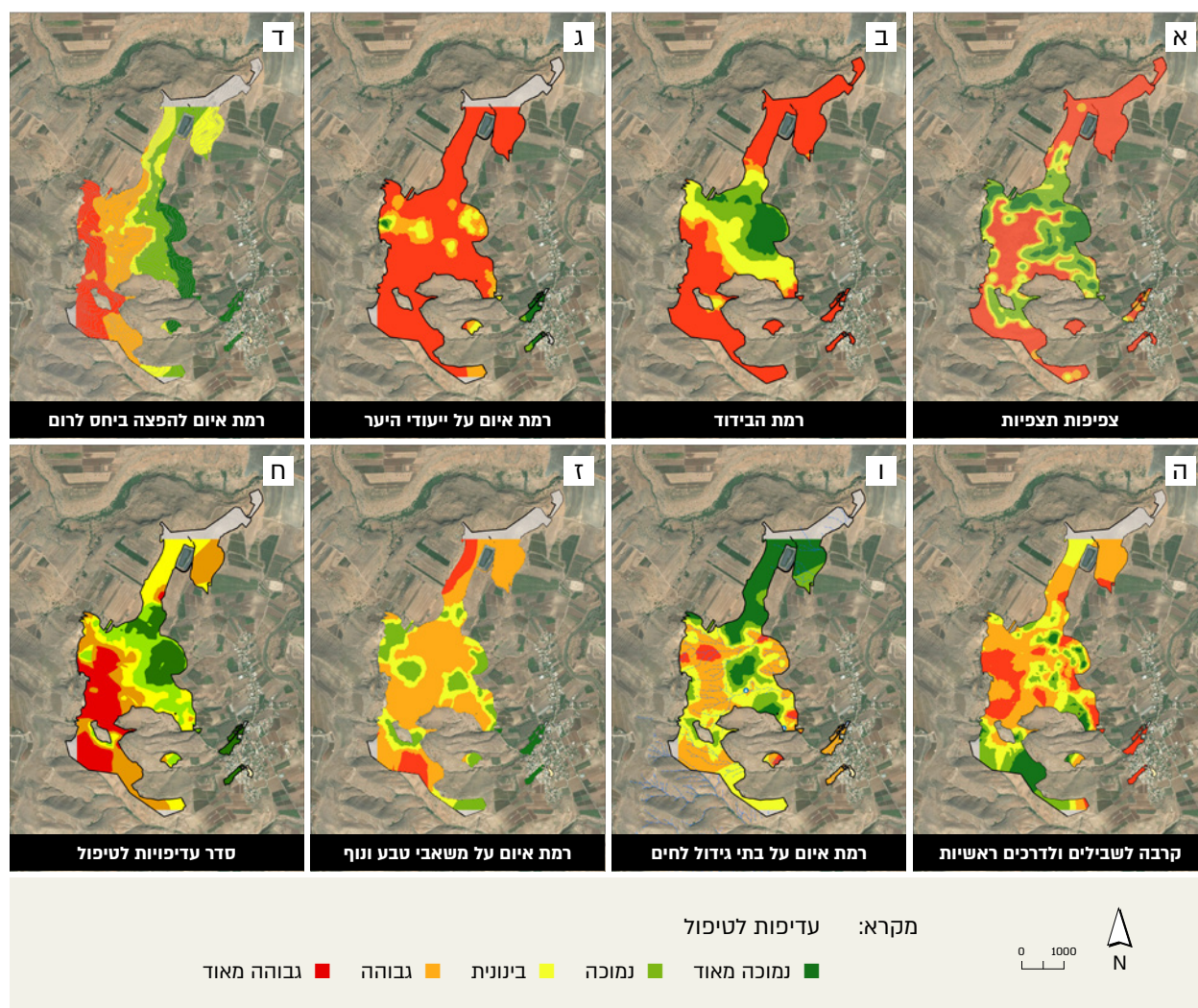
מראה הצמחים הפולשים בנוף ודגמי הפיזור שלהם ביער מנחמיה

א. דגם נקודתי של שיטת ויקטוריה בנוף רכס איילות בחלקות המערבי של היער; ב. דגם התפשטות קווי של פרקינסוניה שיכנית לאורך ערוץ נחל המשתפל ממעלה היער מזרחה לשדות החקלאיים של מנחמיה; ג. ד. דגם פזור של שיטת עלי ערבה בצפיפות בינונית במרכז היער; ה. דגם פזור של שיטת ויקטוריה במדרונות המתפתלים דרומה (לכיוון מצפה נוח) ומזרחה לעמק הירדן; ו. דגם פזור וצפוף של שיטת ויקטוריה במרכז היער. התמונות צולמו בחורף (נוף עשבוני ירוק) ובקיץ (נוף עשבוני זהוב) בשנת 2025, מרחפן AVATA. צילום: עודד כהן.

של חשיבות לטיפול, ובעיקר בשוליים הדרומיים והצפוניים, המאופיינים בנוף ערבות עשבוני (איור 5). לעומת זאת, הקריטריונים של הזמן שחלף מאז השרפה האחרונה והקרבה למקורות הפצה לא נמצאו רלוונטיים במקרה של יער מנחמיה. מממצאי המודל המשוקלל, המוצגים באיור 5, עולה שהחשיבות הגבוהה ביותר לטיפול התקבלה בשוליו המערביים של היער, לאורך הגבול עם שמורת איילות.

תוצרי המודל (איור 5) הועברו לבחינה ולקבלת משוב באגף הייעור של קק"ל. היערכים ומהנדסי היער בחנו את תוצרי המודל הלכה למעשה בשטח ואת הפוטנציאל לתרגם את

לעומת מוקדים המצויים בליבת היער. השילוב בין תפוצת המינים הפולשים לבין ייעודי היער הצביע על חשיבות גבוהה מאוד לטיפול ברוב שטחי היער (איור 5). בהתאם למבנה הטופוגרפי של יער מנחמיה, המשתפל מזרחה, נצפתה ירידה ברמת האיום להפצה עם הירידה במפל הרום (איור 5). הקרבה לשבילים ולדרכים ראשיות תרמה להעלאת ערכי העדיפות בליבת היער, המאופיינת ברשת שבילים צפופה יותר (איור 5). בהקשר של שמירה על בתי גידול לחים, ערכי עדיפות גבוהים לטיפול זהו בסביבת עין אלות ובערוצי הנחל הסמוכים לו (איור 5). באשר למשאבי טבע ונוף, מרבית שטח היער סווג ברמה גבוהה או גבוהה מאוד



איור 5

מיפוי הקריטריונים לקביעת סדר העדיפויות (א-ז) לטיפול בצמחים פולשים ביער מנחמיה והתוצר המשוקלל הסופי (ח)

א. רמת ישימות ביחס לצפיפות תצפיות לדונם; ב. רמת בידוד ביחס למוקדי פלישה נוספים; ג. רמת האיום על ייעודי היער; ד. רמת האיום להפצה ביחס לרום הטופוגרפי; ה. קרבה לשבילים ולדרכים ראשיות; ו. רמת האיום על בתי גידול לחים; ז. רמת האיום על משאבי טבע ונוף; ח. סדר העדיפויות לטיפול בצמחים פולשים ביער מנחמיה – תוצאות המודל המשוקלל. רמת החשיבות לטיפול עולה עם המדרג היחסי לכלל הקריטריונים. הקריטריונים של ייעודי היער, קרבה לשבילים, בתי גידול לחים ומשאבי טבע ונוף נקבעו על בסיס שילוב תכונות המינים הפולשים ותכונות בתי הגידול. מפות: דפנה שלף.

המחקר העתידי מתמקד בפיתוח פלטפורמת ניהול דינמית בזמן אמת, שתשלב בין עדכון שוטף של נתוני תצפיות מהשטח לבין המודל שפותח. פלטפורמה זו תאפשר דיווח שדה מיידי באמצעות מערכות קיימות, תוך סנכרון אוטומטי עם מפת סדרי הקדימויות לטיפול. המערכת המוצעת צפויה לשמש כלי אינטגרטיבי לניהול הצמחים הפולשים, ותכלול שני רכיבים מרכזיים: האחד, מנגנון איסוף ועדכון נתונים בזמן אמת, המבוסס על דיווחים של אנשי מקצוע והציבור, שיאפשר יצירת תמונת מצב עדכנית של מוקדי הפלישה; השני, מנגנון מיטוב מבוסס אלגוריתמים, שינתח את הנתונים תוך התחשבות בפרוטנציאל ההתפשטות, ברגישות האקולוגית, בעלויות הטיפול וביעדי היער, ויתרגם אותם לסדר עדיפויות דינמי של פעולות ניהול. גישה זו צפויה להרחיב את יכולות המודל ממערכת סטטית יחסית לכלי אדפטיבי ודינמי, התומך בקבלת החלטות מבוססת נתונים לאורך זמן, ומשפר את היעילות והאפקטיביות של ניהול הצמחים הפולשים ביערות קק"ל.

המודל הנוכחי מגלם בתוכו מדדים סובייקטיביים הקשורים לשימור ייעודי היער; עם זאת, באמצעות התאמה של משקלי המדדים ניתן להסב אותו כך שישפר מטרות שונות, החל בשמירת המגוון הביולוגי בשטחים פתוחים, וכלה בשמירה על היצרנות של מערכות חקלאיות. אף על פי שהספרות מדגישה, ובצדק, את חשיבותו של איתור מוקדם ושל טיפול מהיר בשלבי הפלישה הראשוניים, אין בכך כדי ללמד כי במקרים של פלישה ותיקה ומבוססת אבדה היכולת לפעול באופן יעיל. בפועל, חלק ניכר מן הפלישות שעלינו להתמודד איתן כיום בישראל מקורן בעצים ובשיחים שהובאו לארץ לפני עשרות שנים, ומאז התבססו והתפשטו במרחב. המודל המרחבי המוצג כאן מדגים כי גם במציאות זו ניתן לנסח אסטרטגיית התערבות אפקטיבית, המבוססת על קביעה מושכלת של סדר עדיפויות למוקדי הטיפול, ובכך להציע מענה ניהולי מעשי לא רק לפלישות חדשות, אלא גם לפלישות ותיקות ומבוססות בנופי היער והשטחים הפתוחים בישראל.

תודות

תודה לקק"ל על התמיכה במחקר, בייחוד לאגף הייעור, ובפרט לד"ר שני רוהטין-בליץ על הסיוע הלוגיסטי. תודה ליערנים ולמהנדסי היער איתמר כץ, מאור רפאל, מיכאל ספרינצין, חן קראו ודר דרור על המשובים המקצועיים ועל התמיכה בסקרים בשטח. מחקר זה הוא פרי תהליך חשיבה משותף של אגף הייעור, אנשי השטח והאקדמיה גם יחד, וללא שיתוף פעולה זה לא היה יוצא אל הפועל.

התוצר הסופי לתוכנית עבודה רב-שנתית. בעקבות בחינה זו בוצעו במפה הסופית של סדרי העדיפות לטיפול שינויים קטנים, שביטאו בעיקר צרכים מקומיים הקשורים להגנה על שטחי נטיעה ולמתן העדפה לשטחים שטופלו בשנים קודמות. תוצאה זו עולה בקנה אחד עם מסקנות הדיונים המקצועיים שנערכו בין צוותי העבודה, אגף הייעור, היערנים ומהנדסי היער, שאיששו את ההיגיון הממשקי שעמד בבסיס תהליך השקלול, ומשקפת איזון בין שיקולי ישימות, בלימת התפשטות ושימור תפקודי היער. התוצר הסופי של המודל שימש בבסיס לגיבוש תוכניות עבודה שנתיות ורב-שנתיות לטיפול בצמחים הפולשים ביער מנחמיה.

דיון והמשך מחקר

בעוד שמודלים רבים שפותחו בעולם לקביעת סדר עדיפויות לטיפול בצמחים פולשים התמקדו בעיקר ברמת האיום של המין הפולש וברגישות בית הגידול (Forner et al., 2022), הגישה שפותחה כאן מדגישה גם שלושה רכיבים מרכזיים נוספים: ישימות ממשקית, פוטנציאל לבלימת ההתפשטות ושמירה על תפקודי היער ועל ייעודיו. על בסיס תפיסה זו פותחה מסגרת אנליטית המשלבת בין מאפייני המינים הפולשים לבין ההקשר המרחבי והניהולי שהם פועלים בו. שילוב זה מאפשר לעבור מהערכה כללית של סיכון ביולוגי לתעודף מרחבי ממוקד, המדגיש לא רק היכן מצויה הפלישה, אלא היכן ההתערבות צפויה להיות היעילה והמשתלמת ביותר מבחינה ניהולית. מרכיב חשוב בפיתוח המודל היה הליווי הרציף של אגף היער, היערנים ומהנדסי היער, שתרמו לגיבוש הקריטריונים, לבחינת הרציונל העומד בבסיסם ולתיקופם אל מול צורכי הממשק בשטח. מעורבות זו חיזקה את הזיקה בין ההליך האנליטי לבין צורכי קבלת ההחלטות בפועל, וסייעה לעצב כלי שאינו רק תקף מבחינה רעיונית, אלא גם רלוונטי, ישים ומכוון לשימוש מעשי במסגרת תכנון העבודה השנתית והרב-שנתית. בכך מציע המודל תשתית מעשית לגיבוש סדרי עדיפויות לטיפול בצמחים פולשים ביערות, תוך הכוונת המשאבים אל מוקדים שהתועלת צפויה להיות בהם מרבית מבחינת דיכוי הפלישה, בלימת התפשטותה ושמירה על שירותי היער וערכיו.

תהליך המחקר הדגיש את החשיבות הרבה של מתודולוגיית ניטור שיטתית, הכוללת איסוף מידע כמותי, עדכני ואחיד, והפעלת המודל על בסיס נתונים המתעדכנים באופן רציף. ברור כי ניטור היערות אינו מסתיים במסגרת מחקר זה, וכי לצורך יישום יעיל ומתמשך נדרש פיתוח פרוטוקול ניטור מוסדר, שיהיה זמין ואחיד לכלל היערנים, מהנדסי היער ואף לגורמים נוספים המעורבים בניהול השטח. בהמשך לכך, כיוון

מקורות

- Lampert A and Liebhold AM. 2023. Optimizing the use of suppression zones for containment of invasive species. *Ecological Applications*, 33(2), e2797.
- Langmaier M and Lapin K. 2020. A systematic review of the impact of invasive alien plants on forest regeneration in European temperate forests. *Frontiers in Plant Science*, 11, 524969.
- Lázaro-Lobo A, Alonso Á, Fernández RD, Granda E, Romero-Blanco A, Saldaña-López A, et al. 2023. Impacts of plant invasions on ecosystem functionality: A perspective for ecosystem health and ecosystem services. In: Tripathi S, Bhadouria R, Srivastava P, Singh R, and Batish DR (Eds). *Plant Invasions and Global Climate Change*. Springer. pp. 31–56.
- Le Maitre DC, Gaertner M, Marchante E, Ens EJ, Holmes PM, et al. 2011. Impacts of invasive Australian acacias: Implications for management and restoration. *Diversity and Distributions*, 17(5), 1015–1029.
- Lopez TA, Campero CM, Chayer R, Cosentino B, and Caracino M. 1996. Experimental toxicity of *Verbesina encelioides* in sheep and isolation of galegine. *Veterinary and Human Toxicology*, 38(6), 417–419.
- Moody ME and Mack RN. 1988. Controlling the spread of plant invasions: The importance of nascent foci. *Journal of Applied Ecology*, 25, 1009–1021.
- Potgieter LJ, Gaertner M, Kueffer C, and Richardson DM. 2022. Prioritizing terrestrial invasive alien plant species for management in urban ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 59(3), 2823–2835.
- Prenzel F, Treudler R, Lipek T, Vom Hove M, Kage P, Kuhs S, et al. 2022. Invasive growth of *Ailanthus altissima* trees is associated with a high rate of sensitization in atopic patients. *Journal of Asthma and Allergy*, 15, 1217–1226.
- Randall JM, Morse LE, Benton N, Hiebert R, Lu S, and Killeffer T. 2008. The invasive species assessment protocol: A tool for creating regional and national lists of invasive nonnative plants that negatively impact biodiversity. *Invasive Plant Science and Management*, 1(1), 36–49.
- Schiffleithner V and Essl F. 2016. Is it worth the effort? Spread and management success of invasive alien plant species in a Central European National Park. *NeoBiota*, 31, 43–61.
- Soler J and Izquierdo J. 2024. The invasive *Ailanthus altissima*: A biology, ecology, and control review. *Plants*, 13(7), 931.
- van Klinken RD, Campbell SD, Heard TA, McKenzie J, and March N. 2009. The biology of Australian weeds: 54. 'Parkinsonia aculeata' L. *Plant Protection Quarterly*, 24(3), 100–117.
- von der Lippe M and Kowarik I. 2007. Long-distance dispersal of plants by vehicles as a driver of plant invasions. *Conservation Biology*, 21(4), 986–996.
- Yair Y, Sibony M, Goldberg A, Confino-Cohen R, Rubin B, and Shahar E. 2019. Ragweed species (*Ambrosia* spp.) in Israel: Distribution and allergenicity. *Aerobiologia*, 35(1), 85–95.
- Ziller SR, de Sá Dechoum M, Silveira RAD, da Rosa HM, Motta MS, de Silva MS, et al. 2020. A priority-setting scheme for the management of invasive non-native species in protected areas. *NeoBiota*, 62, 591–606.
- אבישר א, מרכוס ת ולבנני ט. 2021. ביעור חמציץ נטוי – מין פולש בשטחים טבעיים וטבעיים למחצה: ממצאים ראשוניים מהשרון. **אקולוגיה וסביבה**, 12(4).
- אסם י, ברנד ד, טאובר י, פרבולוצקי א וצורף ח. 2014. **תורת ניהול היער בישראל: מדיניות והנחיות לתכנון ולמשק היער (מהדורה ראשונה)**. קרן קימת לישראל.
- בטרם. 2026. **צמחים רעילים**. נצפה בתאריך 3 במאי, 2026. <https://beterem.org/רעילים/צמחים-רעילים/>
- פורת י וגלייטמן ש. 2024. **עקרונות לבלימת התפשטות צמחים פולשים במקרקעי הייעור ע"פ תפיסת תורת ניהול היער**. אגף הייעור, קק"ל.
- כהן ע וקופלר ע. 2022. **קביעת סדר קדימויות לממשק אזורי של צמחים פולשים באגן הניקוז של הירדן הדרומי** (עריכה: קמחי-אנגרט ע). רשות ניקוז ונחלים ירדן דרומי ורשות הטבע והגנים.
- כהן ע, קופלר ע, פורת י, גלייטמן ש, פריד מ, שיפמן א ואח'. 2020. **בלימת התפשטות הצמח הפולש שיטה כחלחלה בגן לאומי הרי יהודה**. יער, 19–6, 21.
- Arianoutsou M, Delipetrou P, Vila M, Dimitrakopoulos PG, Celesti-Grapowet, Wardell-Johnson L, et al. 2013. Comparative patterns of plant invasions in the Mediterranean biome. *PLoS One*, 8(11), e79174.
- Ayanda OI, Ajayi T, and Asuwaju FP. 2020. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms: Uses, challenges, threats, and prospects. *The Scientific World Journal*, 2020, 3452172.
- Cohen O and Ram Y. 2015. Tourism is not only the vector of biological invasion but also the victim: Evidence from Israel. *Tourism Recreation Research*, 40(3), 407–410.
- Courtois P, Figuieres C, Mulier C, and Weill J. 2018. A cost–benefit approach for prioritizing invasive species. *Ecological Economics*, 146, 607–620.
- Darin GMS, Schoenig S, Barney JN, Panetta FD, and DiTomaso JM. 2011. WHIPPET: A novel tool for prioritizing invasive plant populations for regional eradication. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 131–139.
- Devine K and Fei S. 2011. A review of impacts by invasive exotic plants on forest ecosystem services. In: Fei S, Lhotka JM, Stringer JW, Gottschalk KW, and Miller GW (Eds). *Proceedings of the 17th Central Hardwood Forest Conference* (Gen. Tech. Rep. NRS-P-78, pp. 425–435). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.
- Eppinga MB, Baudena M, Haber EA, Rietkerk M, Wassen MJ, and Santos MJ. 2021. Spatially explicit removal strategies increase the efficiency of invasive plant species control. *Ecological Applications*, 31(3), e02257.
- EPPO/OEPP. 2012. EPPO prioritization process for invasive alien plants. *OEPP/EPPO Bulletin*, 42, 463–474.
- Forner WG, Zalba SM, and Guadagnin DL. 2011. Methods for prioritizing invasive plants in protected areas: A systematic review. *Natural Areas Journal*, 42, 69–78.
- Jones VL and Grenz J. 2023. A review of the impacts and management of invasive plants in forestry. *CABI Reviews*, 2023, 0034.
- Keeley JE. 2006. Fire management impacts on invasive plants in the western United States. *Conservation Biology*, 20(2), 375–384.
- Kerr NZ, Baxter PW, Salguero-Gómez R, Wardle GM, and Buckley YM. 2016. Prioritizing management actions for invasive populations using cost, efficacy, demography and expert opinion for 14 plant species world-wide. *Journal of Applied Ecology*, 53(2), 305–316.