



פוטוליה של נמלת האש הקטנה אוכלת פירורי שווייה שחונחו לזן כפיתיון על-ידי חוקרים מבואנס איירס | צילום: Alex Wild Photography, www.alexanderwild.com

חזית המחקר

השקיה כגורם חשוב בחיזוי תפוצה של מינים פולשים - התבססות נמלת האש הקטנה בישראל כמקרה מבחן

רועי פדרמן* ויוחאי כרמל

הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
royfederman@gmail.com *

הקציר

מינים פולשים פוגעים בבתי גידול טבעיים, בחקלאות, בבריאות האדם ובמגוון המינים. חיזוי פוטנציאל ההתבססות של מינים פולשים תורם לגילוי מוקדם ולהכחדה של מינים אלה. מודלים של בית גידול המשתמשים במשתני אקלים, נפוצים בשימוש לחיזוי התבססות פוטנציאלית של מינים פולשים. מודלים של בתי גידול המשתמשים במשתני אקלים אינם מבטאים השפעות של השקיה על מיקרו־אקלים. בישראל משנה גורם ההשקיה באופן ניכר את תנאי המיקרו־אקלים, והוא גורם מרחבי משמעותי המשפיע על תפוצת אורגניזמים. במחקר זה הוספנו על נתוני המשקעים גם נתוני השקיה, כדי לשפר את יכולת החיזוי של מודל בית הגידול. כמקרה מבחן השתמשנו במודל לפוטנציאל ההתבססות של נמלת האש הקטנה בישראל. נמלת האש הקטנה היא מין פולש שמקורו בדרום אמריקה ובמרכזה, ובמאה השנים האחרונות פלשה לאזורים טרופיים ותת־טרופיים אחרים בעולם וכן לישראל. במחקר זה השתמשנו במודל מסוג Maxent לחיזוי פוטנציאל ההתבססות של נמלת האש הקטנה בישראל. המודל נבנה על בסיס משתני אקלים ואתרי תצפיות בתחום התפוצה הטבעי של הנמלה. תוצאות המודל יושמו לשטח מדינת ישראל לצורך חיזוי פוטנציאל התבססותה בשטח זה. 103 תצפיות של מין זה בישראל שימשו להערכת טיב חיזוי המודל. המודל הראשוני התבסס על משתני אקלים באופן דומה לשימוש הנפוץ והמוכר מהספרות המדעית. חיזוי מודל זה נמצא שגוי באזורים רבים. העלינו את ההשערה שבשטחים מושקים כמות המשקעים במודל אינה מייצגת נכונה את לחות הקרקע. על כן, בנינו מודל מתוקן שבו באזורים מושקים נכללה גם ההשקיה נוסף על משתני המשקעים. המודל שכולל תיקון בשטחים מושקים הראה תוצאות חיזוי טובות יותר מהמודל ללא תיקון. תיקון המודל כפי שנעשה במחקר זה עשוי להיות חיוני לחיזוי תפוצה של מינים פולשים נוספים שהתבססו או שטרם התבססו בישראל.

מילות מפתח: לחות קרקע · מודל של בית גידול · *Wasmannia auropunctata* · Maxent

מבוא

מין פולש הוא מין שהובל על־ידי אדם בכוונה תחילה או במקרה לאזור חדש, התיישב בו, והתפשט לשטחים חדשים הרחק משטח התפוצה הטבעי שלו^[6]. מינים פולשים הם בעיה עולמית הפוגעת במגוון המינים, בבתי גידול טבעיים, בחקלאות ובבריאות האדם^[22]. מודלים של בית גידול הם כלי חשוב לחיזוי תפוצה פוטנציאלית של מינים פולשים, ותוצאותיהם יכולות לתרום לגילוי מוקדם של מינים אלה, למניעת התפשטותם, ולטיפול יעיל בהם^[19]. מודל של בית גידול משתמש בקשרים סטטיסטיים בין אתרים שהמין נצפה בהם לבין משתנים סביבתיים במרחב, כדי לחזות את התפוצה הפוטנציאלית של מינים. תוצאות המודל מבוטאת במפה שמראה את פוטנציאל התבססות המין באזור הנחקר^[11]. במודלים למינים פולשים, מפת התאמת בית גידול מספקת מידע על האזורים הדורשים ניטור, על גודל השטח הצפוי להיות נגוע, על המחיר הצפוי של פעולות הדברה ועל סיכויי ההצלחה של תכניות הדברה. במודלים של בית גידול משתמשים לעתים מזומנות במשתני

אקלים^[26,8], אך ישנו שימוש גם במשתנים אחרים, כגון טופוגרפיה, קרקע וכיסוי צמחייה^[8]. משתנים אנתרופוגניים משמשים כחות במודלים של בית גידול^[17]. למרות השימוש במשתני אקלים ובמשתנים אנתרופוגניים במודלים של בית גידול, ההשפעה האנושית על המיקרו־אקלים לא נלקחת בחשבון ברוב המכריע של מחקרים אלה. דוגמה נפוצה להשפעה זו היא לחות הקרקע באזורים שהם חקלאיים ומיושבים מושקים. השקיה היא גורם שמשפיע ומשנה תפוצה של מינים הקיימים באזורים חקלאיים ועירוניים^[2, 9, 18]. מחקרים מבוססי מודלים של בית גידול מתעלמים לרוב ממשתני השקיה (אך יש יוצאים מן הכלל^[2]), ובכך עלולים לגרום לטעות מובנית בחיזוי התפוצה של המין הנחקר. בישראל שורר באזורים ים תיכוניים מושקים מיקרו־אקלים בעל מאפיינים טרופיים או תת־טרופיים, והוא שונה מסביבתו באופן ניכר^[4]. מודל שאינו מתייחס לנתוני השקיה עלול להגדיר אזורים מושקים בישראל כיבשים מדי עבור מינים פולשים ממוצא טרופי

היא שהוספה של השפעת ההשקיה על המיקרו־אקלים באזורים חקלאיים ועירוניים תפחית טעויות מהותיות בחיזוי תפוצה של מינים פולשים.

נמלת האש הקטנה (*Wasmannia auropunctata*) היא מין פולש שמקורו בדרום אמריקה ובמרכזה. במאה השנים האחרונות פלש מין זה לאזורים טרופיים ותת־טרופיים אחרים בעולם [29] (איור 1). למרות חוסר הידע על ההעדפות האקלימיות של מין זה, ממצאים רבים מצביעים על כך שנמלת האש הקטנה מוגבלת לאזורים בעלי טמפרטורות גבוהות. הנמלה אינה בררנית בבחירת מיקום הקן, וקנים נמצאו במגוון של בתי גידול, החל ביישובים ובשדות חקלאיים ועד ליערות טבעיים [12]. נמלה זו נמצאת ברשימה העולמית של המינים הפולשים הגרועים ביותר של ה־IUCN (International Union for Conservation of Nature) [28]. הנזקים העיקריים של נמלה זו למערכות האקולוגיות שהיא פולשת אליהן הם פגיעה במגוון המינים, בנוכחות של נמלים וחסרי חוליות אחרים ובפעילות של זוחלים [15, 16, 29]. הימצאות הנמלה באזורים מיושבים וחקלאיים היא מטרד לתושבים ולעובדים חקלאיים בשל עקיצתה הכואבת [23].

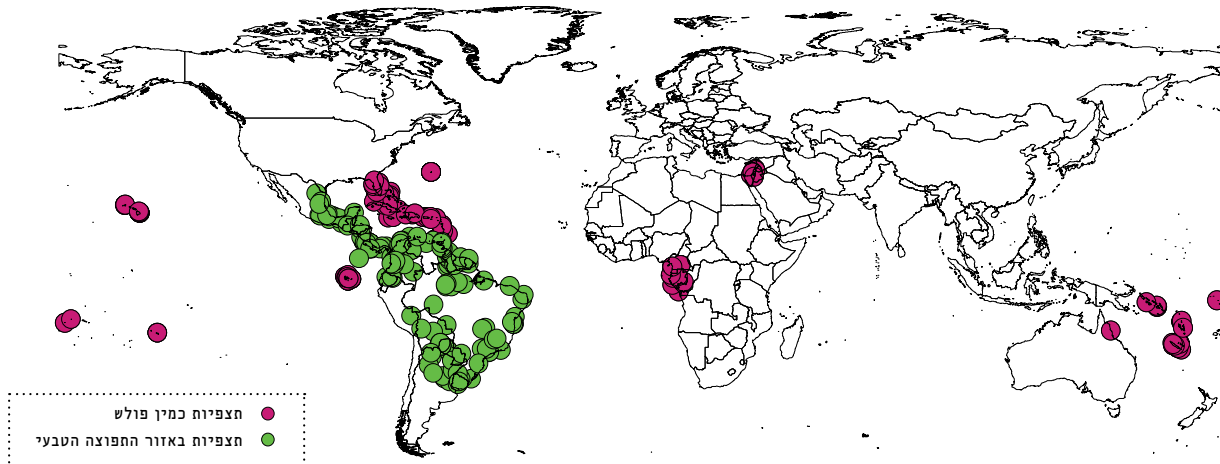
נמלת האש הקטנה זוהתה לראשונה בישראל בסוף שנת 2005 באזור עמק הירדן. מאז גילויה ועד היום (2011) אותרה הנמלה בשמורת טבע אחת (מורדות הירדן), במשתלות רבות וב־102 יישובים (נספח 1, באתר כתב העת). בעקבות ההבדלים בכמויות המשקעים בין ישראל לאזור התפוצה הטבעי של הנמלה הועלתה ההשערה כי השקיה היא גורם שמשפיע על היכולת של מין זה להתבסס בישראל [25]. לאור השערה זאת, כאשר יוצרים מודל תפוצה לנמלת האש הקטנה או למינים אחרים בישראל, יש להשתמש במשתנים המבטאים השקיה, וזאת נוסף על משתנים

ותת־טרופי, בעוד שבפועל אותם אזורים מקבלים כמות מים מספקת להתבססות מינים פולשים ממוצא זה. לטעות מסוג זה ישנה השפעה גדולה בישראל, שבה שטחים מושקים רבים. במקרה של מינים פולשים, הגדרת בית גידול מושקה כלא־מתאים להתבססות המין בעוד בפועל המין יכול להתבסס בו, עלולה לגרום לגילוי מאוחר של המין, דבר שמעלה את עלויות הטיפול ומקטין את הסיכוי להכחדתו [19]. השערת המחקר של עבודה זו

על קצה המזלג

- * המאמר עוסק בשיפור השימוש במודלים של בית גידול לחיזוי תפוצה של מינים פולשים; נמלת האש הקטנה נבחרה כמקרה מבחן.
- * המודל מתבסס על נתוני תפוצת הנמלה בדרום אמריקה ובמרכזה, על נתוני אקלים מישראל ועל נתוני מיקום שטחים מושקים (חקלאות שלחין וגינות).
- * הוספת נתוני ההשקיה שיפרה באופן משמעותי את המהימנות של האפשרות לחיזוי התפשטות הנמלה בישראל.
- * למחקר פוטנציאל להשפיע על קביעת מדיניות להתמודדות עם מינים פולשים - זיהוי מוקדם של אזורים פוטנציאליים להתפשטות ולהתבססות והיערכות למזעור נזקי הפלישה.

איור 1. אתרים שנמלת האש הקטנה נצפתה בהם באזור התפוצה הטבעי שלה (ירוק) ובאזורים שהיא פלשה אליהם במאה השנים האחרונות (ורוד כהה)



שניות (arcsecond, 1/120 מעלה, 0.93×0.93 בקו המשווה) למעט המשתנה "כמות משקעים שנתית פחות ערך אידידיות שנתית" שלו רזולוציה מרחבית של 10 דקות ($1/6$, arcminute, מעלה, 18.6×18.6 ק"מ בקו המשווה). נתונים לגבי כל המשתנים הללו הופקו מתוך מאגרי נתונים מקוונים [14,13].

כדי למנוע מצב שהמודל עושה בו שימוש במשתנים מסבירים בעלי מתאם גבוה עם זה, בדקנו את מקדם המתאם של פירסון בין כל זוג משתנים בקבוצת המשתנים שתוארה לעיל ($N=10$). כאשר מצאנו מתאם גבוה ($r > 0.8$, $p < 0.05$) השמטנו את אחד המשתנים מקבוצת המשתנים שתשמש במודל (טבלה 1). לצורך בחינת ערכי המתאם בין המשתנים השתמשנו בערכים מאתרים שהמין נצפה בהם בשטח התפוצה הטבעי שלו, ומאתרים ששימשו לבניית המודל. לצורך החלטה על המשתנה שיושמט במקרה של מתאם גבוה בין משתנים, בחנו את ההבדל בין טווח המשתנה באתרי התצפיות בשטח התפוצה הטבעי (נישה טבעית) לטווח המשתנה בכל שטח ישראל. משתנה שחלק גדול מהטווח שלו בישראל נמצא מחוץ לנישה הטבעית, עשוי להגביל את התפוצה בישראל ולכן לא הוצא מהמודל. על בסיס בדיקה זו השמטנו את המשתנים הבאים: ממוצע משקעים שנתי, טמפרטורה שנתית ממוצעת וטווח טמפרטורה שנתי. שבעת המשתנים הנוותרים שימשו להצגת המודל.

תיקון עבור בתי גידול מושקים

נתוני משקעים במאגרי מידע מייצגים משקעים הנמדדים בתחנות מטאורולוגיות [13]. כמות המים הזמינים באזורים מושקים שונה משמעותית מזו הזמינה ממשקעים בלבד. כדי לתקן פער זה, שונו משתני המשקעים באזורים מושקים כך שיהיה אפשר להעריך באמצעותם את כמויות המים המגיעות בפועל לשטחים מושקים. הגדרנו שטחים כמושקים גם בשטחי חקלאות שלחין וגם בגינות מושקות ביישובים. כיוון שגינות מושקות יכולות להיות ממוקמות בכל מקום במרחב המיושב, התייחסנו לכל שטח מיושב כשטח מושקה. נוסף על כך, נתוני נוכחות מאזור התפוצה הטבעי שנמצאו בשטחים מושקים לא שימשו לבניית המודל, כדי למנוע הטיה של תוצאות המודל על-ידי הערכה מוטעית של אופי ההשקיה בדרום אמריקה ובמרכזה. לצורך הגדרת השקיה או אי-השקיה באתרים שהמין נצפה בהם, השתמשנו בתיאור בית הגידול (אם היה זמין), בבחינה של תמונות לוויין מתוך תכנת Google Earth ובשכבת שימושי קרקע בסקלה גלובלית [24]. לצורך יצירת מפה של השטחים המושקים בישראל איחדנו מידע מתוך מפת שטחים מיושבים בישראל (המשרד להגנת הסביבה) ומשכבת מטעים (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה). שטחים שאינם מושקים כל השנה לא יוצגו כשטחים מושקים במחקר זה. כמות המים הניתנת בהשקיה תלויה במשתנים רבים, אך

המבטאים משקעים טבעיים. אנו משערים כי הכללה של גורם ההשקיה בתוך משתנים המביעים משקעים טבעיים תשפר את יכולת החיזוי של התפוצה הפוטנציאלית של נמלת האש הקטנה בתוך שטחים מושקים בישראל.

שיטות וחומרים

הליך הרצת המודל

כדי לחזות את התפוצה הפוטנציאלית של נמלת האש הקטנה בישראל, השתמשנו במודל בית גידול מסוג Maxent (גרסה 3.3.1) [20,21]. מודל זה, המבוסס על למידה חישובית, מעריך את התפוצה הפוטנציאלית של מין בהתבסס על נתוני נוכחות של המין ועל קבוצה של משתנים סביבתיים בשטח המחקר. המודל כויל על בסיס נתוני נוכחות של נמלת האש הקטנה מאתרים לא מושקים בטווח התפוצה הטבעי שלה (דרום אמריקה ומרכזה) ועל קבוצה של משתני אקלים מאזור גאוגרפי זה. הפעלנו את המודל על שטח התפוצה הטבעי של המין, ובשלב שני הפעלנו אותו על שטח ישראל. חיזוי המודל בשטח ישראל התבסס על תוצאות החיזוי בדרום אמריקה ובמרכזה ועל רמת הדמיון בין קבוצת משתני האקלים ששימשו לבניית המודל באזור זה לבין אותם המשתנים בשטח ישראל.

נתוני נוכחות

נתוני נוכחות של נמלת האש הקטנה הופקו מתוך שני מאגרי מידע מקוונים [10,27], המספקים מידע על אתרים שהמין נצפה בהם בסקלה גלובלית. כל תצפית מכילה מידע לגבי נקודת ציון, תיאור האתר ומקור המידע. תצפיות בישראל נלקחו מתוך אתר האינטרנט של המשרד להגנת הסביבה ומידע פרטי. בישראל, כאשר אתרי התצפיות נמצאו בתוך יישוב, הוגדרה תצפית יחידה במרכז היישוב. קבוצת הנתונים הורכבה מ-183 תצפיות באזור התפוצה הטבעי של הנמלה ששימשו לבניית המודל (נספח 2, באתר כתב העת) ומ-103 תצפיות מישראל ששימשו לבדיקת טיב המודל (נספח 1, באתר כתב העת).

משתנים סביבתיים

בחרנו עשרה משתנים שהערכנו כי ישפיעו על התפוצה של נמלת האש הקטנה: טמפרטורת מקסימום בחודש החם, טמפרטורת מינימום בחודש הקר, טמפרטורה שנתית ממוצעת, טווח טמפרטורה שנתי, כמות משקעים בחודש היבש, כמות משקעים בחודש הגשום, ממוצע כמות משקעים שנתית, מקדם שונות המשקעים הבין-חודשית, ערך אידידיות שנתי (מדד לאיבוד מים דרך הקרקע והעלים) וכמות משקעים שנתית פחות ערך אידידיות שנתי. ערכי משקעים פחות ערכי אידידיות יכולים לייצג לחות קרקע [27]. הרזולוציה המרחבית של כל המשתנים היא 30



טבלה 1. ערכי המתאם בין המשתנים באחרי התצפית, שהמודל התבסס עליהם, בדרום אמריקה ובמרכז מספרים מודגשים מסמלים מתאם גבוה מ-0.8. ערך זה הוביל להוצאת אחד מהמשתנים (באפור). *מציין מתאם מובהק ברמה של 0.05 (דו-זנבי); **מציין מתאם מובהק ברמה של 0.01 (דו-זנבי).

אידי-דיות	משקעים פחות אידי-דיות	מקדם שונות המשקעים	משקעים בחודש היבש	משקעים בחודש הלח	ממוצע משקעים שנתי	טווח טמפ' טמפ' שנת	ממוצע טמפ' שנת	טמפ' מקסימום בחודש החם	טמפ' מינימום בחודש הקר		
	0.045	-0.116	0.305**	0.439**	0.416**	-0.837**	0.808**	0.132		טמפ' מינימום בחודש הקר	
	0.437**	0.335**	-0.288**	-0.282**	-0.357**	0.423**	0.639**		0.132	טמפ' מקסימום בחודש החם	
	0.303**	-0.028	0.068	0.141	0.092	-0.388**		0.639**	0.808**	ממוצע טמפ' שנתי	
	0.200*	0.247**	-0.434**	-0.560**	-0.582**		-0.388**	0.423**	-0.837**	טווח טמפ'	
	-0.520**	0.314**	0.821**	0.906**		-0.582**	0.092	-0.357**	0.416**	ממוצע משקעים שנתי	
	-0.441**	0.182*	-0.204*	0.550**	0.906**	-0.560**	0.141	-0.282**	0.439**	משקעים בחודש הלח	
	-0.489**	0.391**	-0.755**	0.550**	0.821**	-0.434**	0.068	-0.288**	0.305**	משקעים בחודש היבש	
	0.435**	-0.276**	-0.755**	-0.204*	-0.515**	0.282**	0.141	0.335**	-0.116	מקדם שונות המשקעים	
	0.270**		-0.276**	0.391**	0.182*	-0.247**	-0.028	-0.234**	0.136	משקעים פחות אידי-דיות	
		0.270**	0.435**	-0.489**	-0.441**	-0.520**	0.200*	0.303**	0.437**	0.045	אידי-דיות

זה מתבסס על נתוני נוכחות בלבד, במקום בנתוני היעדרות השתמשו ב-10,000 נקודות אקראיות כפי שמתארים Phillips ו-Dudík^[21]. טווח הערכים של המדד להערכת טיב המודל נע בין 0 ל-1, כאשר 1 מייצג הצלחה מלאה בחיזוי ו-0.5 מייצג חיזוי אקראי. נוסף על האימות בשטח ישראל ביצענו שני אימותים נוספים למודל באזור התפוצה הטבעי. האחד התבסס על תצפיות באתרים שמתבצעת בהם השקיה בשטח התפוצה הטבעי (שלא שימשו לבניית המודל) והשני התבסס על מודל שהורץ על בסיס 70% מהתצפיות ועל בדיקת ערכי החיזוי ב-30% מהתצפיות הנותרות. שלוש השיטות להערכת טיב המודל בוצעו ללא תיקון להשקיה ועם תיקון להשקיה. חישובים בוצעו בעזרת תכנת ROC_AUC.

תוצאות

השוואה בין שתי מפות התוצר של המודל, ללא תיקון ועם תיקון לשטחים מושקים, הראתה דמיון מרחבי באזורים מסוימים לצד הבדלים באזורים אחרים. שני המודלים הגדירו באופן דומה אזורים עיקריים של פוטנציאל התבססות גבוה לנמלת האש הקטנה בעמק הירדן ובשפלה הדרומית (אזור קרית גת) ואזורים נרחבים בעלי פוטנציאל התבססות נמוך למין זה בנגב, בבקעת הירדן, ברמת הגולן ובחרמון. מאידך גיסא, המודל ללא תיקון השקיה הגדיר את מישור החוף, השפלה, הרי שומרון, הגליל ועמק החולה כאזורים בעלי פוטנציאל נמוך להתבססות הנמלה, בעוד המודל עם תיקון לשטחים מושקים הגדיר שטחים מושקים באזורים אלה כבעלי פוטנציאל גבוה להתבססות נמלת האש הקטנה (איור 2).

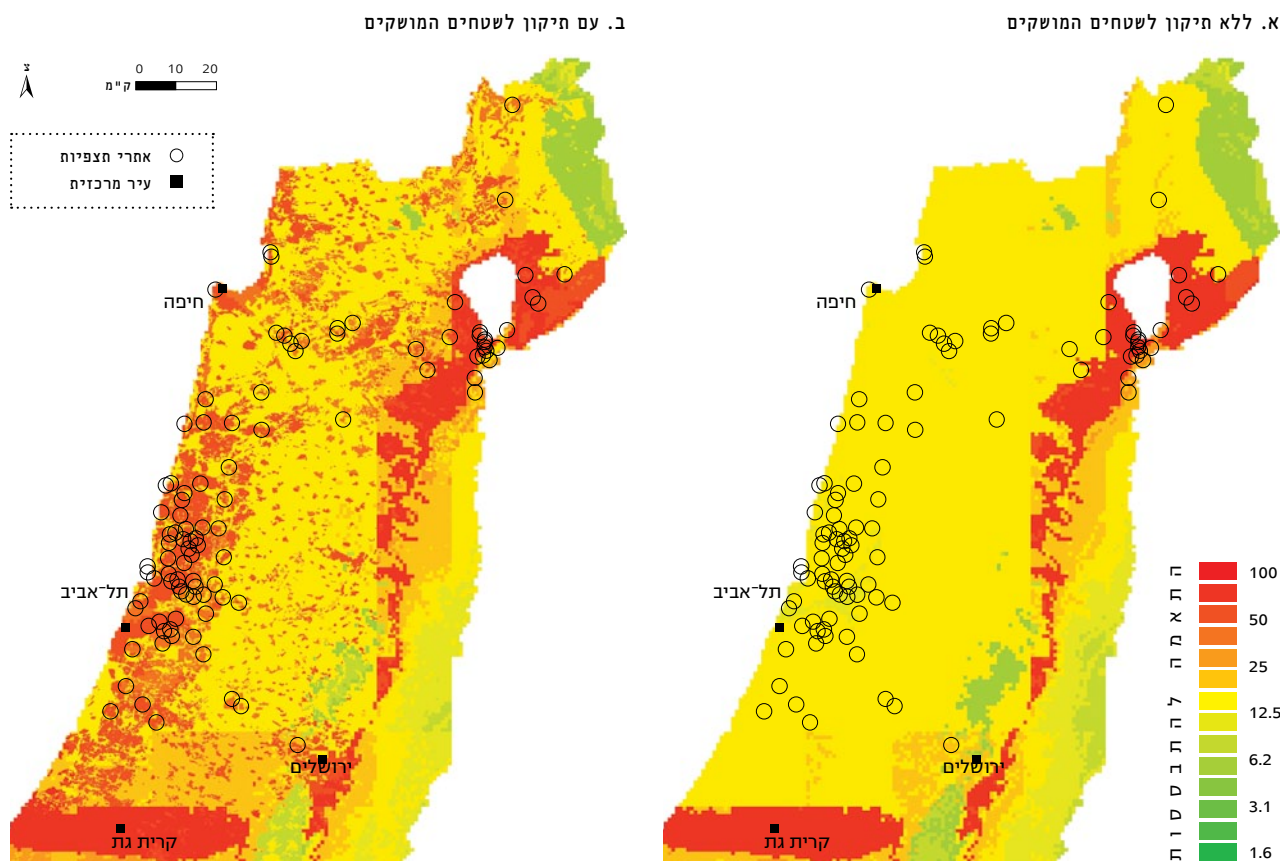
כהכללה ניתן להגיד כי כמות מים זו באה לפצות על איבוד המים דרך אידי-דיות^[3]. עיקרון זה היה בסיס לתיקון שערכנו כדי לייצג את כמויות המים המגיעות לשטחים מושקים ממשקעים ומהשקיה. תיקנו שלושה משתני משקעים בשטחים מושקים: 1. כהערכה לכמות ההשקיה השנתית השתמשנו בהפרש בין הכמויות השנתיות של המשקעים לאלה של האידי-דיות. ערך זה הוסף למשתנה "כמות משקעים שנתית פחות ערך אידי-דיות שנתי", תיקון שגרם למשתנה לקבל ערך אפס בשטחים מושקים. 2. כאומדן לכמות המים הניתנת בהשקיה בחודש היבש השתמשנו בממוצע ערך המשתנה "כמות המשקעים השנתית" המתוקן להשקיה. 3. כאומדן להשפעת ההשקיה על מקדם שונות המשקעים הבין-חודשית שינינו ערכי משתנה זה לאפס בשטחים מושקים. שינוי זה נעשה על בסיס ההערכה כי כמויות המים המסופקות בעונה היבשה על-ידי השקיה דומות לכמויות המים המגיעות לשטח בעונת החורף.

אימות ובחינת טיב המודל

בחינת טיב תוצאות המודל חושבה על בסיס ערכי החיזוי באתרים שהמין נצפה בהם בישראל. השיטה ששימשה לבחינה זו היא השטח המצוי מתחת לעקומת ה-ROC (Receiver Operating Characteristic). עקומת ה-ROC מתארת את מערכת היחסים שבין פרופורציית החיזוי הנכון של נוכחות המין לבין פרופורציית השגיאה בחיזוי היעדרות המין, כשערכים אלה מחושבים לאורך טווח רחב של ערכי סף להגדרת נוכחות או היעדרות. כיוון שמחקר

איור 2. תוצאות חיזוי המודל בחלק הצפוני של ישראל, בסקלת צבעים לוגריתמית

הערך בכל תא במפה מבטא את ההתאמה להתבססות נמלת האש הקטנה יחסית לערך ההתאמה בשאר החאים במפה.



פולשים תלויה ברמת דיוק החיזוי של המודל, שנגזרת מייצוג מדויק של תנאי הסביבה על-ידי המשתנים הסביבתיים. מחקר זה מצביע על כך ששימוש במשתני אקלים, הנופצים במודלים של בית גידול, עלול לגרום לחוסר דיוק בחיזוי התבססות מינים פולשים. משתני אקלים מנבאים בצורה טובה את לחות הקרקע בשטחים טבעיים, אך בשטחים חקלאיים ועירוניים מושקים הם אינם מתארים בצורה טובה את זמינות המים ולחות הקרקע. שטחים מושקים יוצרים בישראל מיקרו־אקלים בעל תנאים תת־טרופיים עד טרופיים^[4], בעוד שהאקלים השולט בה הוא ים תיכוני או מדברי. עקב כך, התעלמות מגורם ההשקיה בבנייה של מודל בית גידול צפויה לגרום לחיזוי בחסר של יכולת התבססות של מינים פולשים ממוצא טרופי בישראל. טעות זו של חיזוי בחסר היא משמעותית בישראל, שבה שטחים מושקים נרחבים.

במחקר זה התבסס תיקון ערכי המשקעים בשטחים מושקים על העיקרון שהשקיה מפצה על רמות האידוי־דיות הטבעיות. נתונים מרחביים הכוללים את העוצמה והשונות בזמן של השקיה,

תוצאות מבחן הערכת טיב המודל מצביעות על ערך חיזוי טוב יותר של המודל לשטח ישראל עם תיקון השקיה לעומת הערך שהתקבל במודל ללא תיקון השקיה (0.831 לעומת 0.636 בהתאמה). בחינת טיב המודל באזור התפוצה הטבעי של המין על בסיס תצפיות באתרים מושקים מצביעה על תפקוד טוב יותר של המודל עם תיקון השקיה בהשוואה למודל ללא תיקון (0.730 לעומת 0.674 בהתאמה). בהערכת טיב המודל לאזור התפוצה הטבעי על פי הוצאה אקראית של חלק מהתצפיות נמצא יתרון קטן למודל המתוקן (0.883 לעומת 0.871 בהתאמה).

דיון

מודלים של בית גידול משמשים כלי לגילוי מוקדם של מינים פולשים^[12] ובכך יכולים להוביל להתערבות מהירה, שהיא חיונית להכחדה מלאה של מינים אלה. כלי זה משמש בתכניות ממשק כנגד מינים פולשים ברחבי העולם^[5, 12], אך בישראל לא נעשה בו שימוש עד כה. יעילות המודלים ככלי לגילוי מוקדם של מינים

חיזוי המחקר

הטבעי שלו ולתנאים באזור הפלישה. במקרה של התבססות נמלת האש בישראל, בחינה מוקדמת של מודל בית גידול המכיל תיקון להשקיה לפני פלישתה לישראל, הייתה יכולה להוביל לגילוי מוקדם של הנמלה ולטיפול מהיר ויעיל יותר ובכך להגדיל את הסיכוי להכחדתה. בחינת פוטנציאל ההתבססות של מינים פולשים שעוד לא הגיעו לישראל באופן שמחקר זה מתאר, עשויה למנוע התבססות מינים פולשים מזיקים בישראל בעתיד.

תודות

אנו מודים למרב וונשק על השיתוף בנתונים, על לימוד זיהוי המין בשטח ועל ייעוץ בשלבים הראשונים של המחקר ולרפי קנט על התמיכה בנושאי סטטיסטיקה ומודלים.

מקורות

- [1] המשרד להגנת הסביבה. 2011. רשימת יישובים נגועים בנמלת האש הקטנה. [old.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/Articals/yeshuvim_neguim_nemalat-esh_1.pdf](http://old.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/Articals/old.sviva.gov.il/Enviroment/Static/Binaries/Articals/yeshuvim_neguim_nemalat-esh_1.pdf). נצפה ב־1 ביוני 2011.
- [2] Brotons L, Mañosa S, and Estrada J. 2004. Modelling the effects of irrigation schemes on the distribution of steppe birds in Mediterranean farmland. *Biodiversity and Conservation* 13(5): 1039–1058.
- [3] Brouwer C and Heibloem M. 1986. Irrigation water management: Irrigation water needs. Training manual no.3 Italy. Rome, Italy: FAO publications.
- [4] Bytinski-Salz H. 1966. An annotated list of insects and mites introduced into Israel. *Israel Journal of Entomology* 1: 15–48.
- [5] Clout MN and Williams PA. 2009. Invasive species management detection and early warning of invasive species. In: Holcombe T and Stohlgren TJ (Eds). Oxford: Oxford university press.
- [6] Di Castri F, Hansen AJ, and Debussche M. 1990. Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- [7] Dirmeyer PA, Schlosser CA, and Brubaker KL. 2009. Precipitation, recycling and landmemory: An integrated analysis. *Journal of Hydrometeorology* 10: 278–288.
- [8] Elith J, Graham CH, Anderson RP, et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2): 129–151.
- [9] Federman R and Werner Y. 2007. Man made environmental changes affect the boundary between two taxa of *Laudakia*. *Journal of Zoology* 273(3): 281–288.
- [10] GBIF (Global Invasive Species Database). www.issg.org/database. Viewed 1 Aug 2011.
- [11] Guisan A and Zimmermann NE. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147–186.

אינם זמינים לכל שטחה של ישראל, כיוון שהשקיה משתנה כתלות בסוג הגידול, באופי הקרקע, באקלים ובשימוש הקרקע. בהיעדר נתוני השקיה מדויקים, השימוש בעיקרון כללי לצורך הערכת מאפייני ההשקיה הוכיח את עצמו כיעיל לשיפור טיב החיזוי במחקר זה. במחקרים העוסקים בשטחים מצומצמים יותר, נתונים על העוצמה והשונויות בזמן של ההשקיה עשויים להיות זמינים, ושימוש בהם עתיד להגביר את רמת הדיוק של חיזוי המודל.

היבט נוסף של הכללת גורם ההשקיה במודלים של בית גידול למינים פולשים הוא תצפיות על המין בשטחים מושקים באזור התפוצה הטבעי. שימוש בנתונים אלה לבניית מודל יכול ליצור הטיה של תוצאות החיזוי בעקבות ייצוג מוטעה של תנאי המיקרו־אקלים באתרי התצפיות. למרות הטיה זו, לא נמצאו בספרות המדעית מחקרים שהשמיטו תצפיות מאזורים מושקים לצורך בניית מודל של בית גידול. במחקר זה הגדרנו שטח כמושקה או לא-מושקה בשטח התפוצה הטבעי על בסיס נתונים על בית הגידול במאגר התצפיות (במקרים שבהם הוגדרו), לפי שכבת שימושי קרקע בסקלה גלובלית^[24] ועל סמך בחינה של תצלומי לוויין. כלים אלה זמינים, פשוטים לשימוש ומומלצים למחקרים עתידיים.

פתרון חלופי להשמטת תצפיות שנמצאות בשטחים מושקים בשטח התפוצה הטבעי של המין, הוא הכללת תצפיות אלה עם ערכים מתוקנים של משתני משקעים המביעים גם את השפעת ההשקיה. גישה זו עשויה לשפר את תוצאות החיזוי של המודל רק אם קיים מידע מהימן לגבי אופי ההשקיה בשטח התפוצה הטבעי. הכללת תצפיות עם משתני סביבה שאינם מייצגים את אופי ההשקיה בפועל, עלולה ליצור הטיה משמעותית של תוצאות המודל.

במחקר זה הוביל תיקון ערכי משתני המשקעים, כך שייצגו גם את ההשקיה, לשיפור ניכר ביכולת החיזוי של התבססות נמלת האש הקטנה בישראל. תיקון ההשקיה אף שיפר את יכולת החיזוי במודל הראשוני שנבנה באזור התפוצה הטבעי של המין בדרום אמריקה ובמרכז. במחקר אחר הראינו כי תיקון באזורים מושקים שיפר את יכולת החיזוי של התבססות נמלת האש הקטנה גם באזורים אחרים בעולם שהיא מופיעה בהם כמין פולש^[9]. תוצאות אלה הן דוגמה לחשיבות תיקון לאזורים מושקים במודל לנמלת האש הקטנה. תיקון זה עתיד לשפר גם את החיזוי ליכולת ההתבססות בישראל של מינים פולשים אחרים ממוצא טרופי. מינים אלה כוללים חסרי חוליות, זוחלים, דו־חיים, ציפורים, יונקים קטנים וצמחים. תיקון משתנים במודלים של בית גידול אינו מוגבל רק להשקיה ולבחינת התבססות מינים ממוצא טרופי באזורים שאינם טרופיים. פעילות אנושית משפיעה על משתנים סביבתיים רבים, כגון כיסוי קרקע, טמפרטורה ורוחות, ולכן ניתן לכלול תיקונים בהתאם למין הנבדק, לתנאים בשטח התפוצה

[26] Ward DF. 2007. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biological Invasions* 9(6): 723–735.

[27] Ward DF, Rees J, Harris RJ, and Stanley MC. 2009. New Zealand ant distribution database. v2.0. World Wide Web electronic publication. www.landcareresearch.co.nz/research/biocons/invertebrates/ants/distribution. Viewed 1 Aug 2011.

[28] Wetterer JK and College H. 2007. Global invasive species database, of The Invasive Species Specialist Group (ISSG). <http://www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss&fr=1&str=&lang=EN>. Viewed 1 Aug 2011.

[29] Wetterer JK and Porter SD. 2003. The little fire ant, *Wasmannia auropunctata*: Distribution, impact and control. *Sociobiology* 42: 1–41.



השקיה יוצרת מיקרו־מקלים נוח לנמלת האש הקטנה | צילום: © uBookworm

[12] Harris R, Abbott K, and Lester P. 2005. Invasive ant risk assessment. BioSecurity New Zealand. www.biosecurity.govt.nz/files/pests/invasive-ants/little-fire-ants/little-fire-ant-risk-assessment.pdf. Viewed 1 Apr 2012.

[13] Hijmans RJ, Cameron S, and Parra J. 2005. WorldClim, version 1.3. www.worldclim.org. Viewed 1 Aug 2011.

[14] Hoogeveen J. 2004. Global map of monthly reference evapotranspiration - 10 arc minutes. FAO GeoNetwork. www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=7416. Viewed 1 Aug 2011.

[15] Jourdan H, Sadlier RA, and Bauer AM. 2001. Little fire ant invasion (*Wasmannia auropunctata*) as a threat to New Caledonian lizards: Evidences from a Sclerophyll forest (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 38(3): 283–302.

[16] Le Breton J, Chazeau J, and Jourdan H. 2003. Immediate impacts of invasion by *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae) on native litter ant fauna in a New Caledonian rainforest. *Austral Ecology* 28(2): 204–209.

[17] Lippitt CD, Rogan J, Toledano J, et al. 2008. Incorporating anthropogenic variables into a species distribution model to map gypsy moth risk. *Ecological Modelling* 210(3): 339–350.

[18] Mendelssohn H, Golani I, and Marder U. 1971. Agricultural development and the distribution of venomous snakes and snake bite in Israel. In: Vries AD and Kochva E (Eds). *Toxins of animal and plant origin*. London: Gordon and Breach.

[19] Peterson AT. 2003. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *Quarterly Review of Biology* 78: 419–433.

[20] Phillips SJ, Anderson RP, and Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231–259.

[21] Phillips SJ and Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161–175.

[22] Pimentel D. 2002. *Biological invasions: Economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species*. Boca Raton, FL: CRC Press.

[23] Smith MR. 1965. House-infesting ants of the eastern United States. Their recognition, biology, and economic importance. U.S. Department of Agriculture. *Technical Bulletin* 1326: 1–105.

[24] Velthuizen HV, Huddleston B, Fischer G, et al. 2007. *Mapping biophysical factors that influence agricultural production and rural vulnerability*. Rome, Italy: FAO Publications.

[25] Vonshak M, Dayan T, Lonescu-Hirsh A, et al. 2010. The little fire ant *Wasmannia auropunctata*: A new invasive species in the Middle East and its impact on the local arthropod fauna. *Biological Invasions* 12: 1825–1837.