

יוני וייץ

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה
ע"ש רוברט ה. סמית', האוניברסיטה
העברית בירושלים

רוני דהרי

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה
ע"ש רוברט ה. סמית', האוניברסיטה
העברית בירושלים

אפרת שפר

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה
ע"ש רוברט ה. סמית', האוניברסיטה
העברית בירושלים

ציטוט מומלץ

וייץ י, דהרי ר ושפר א. 2025.
דעיכת הצומח המעוצה בחבל הים
תיכוני בישראל בתגובה לתקופת
יובש ממושכת. *אקולוגיה וסביבה*
(1)16.



שפלת יהודה – נוף ים תיכוני טיפוסי. המחקר בחן את השפעת שינוי האקלים על הכיסוי וההרכב של הצומח המעוצה, שהוא המרכיב השליט בנוף הצומח הים תיכוני | צילום: רועי אקסלרוד

דעיכת הצומח המעוצה בחבל הים תיכוני בישראל בתגובה לתקופת יובש ממושכת

30 במרץ, 2025

גיליון אביב 2025 / כרך 16(1)

חזית המחקר

על קצה המזלג

- המאמר בוחן את השפעתו של עשור יבש יחסית על הכיסוי וההרכב של הצומח המעוצה בחבל הים תיכוני בישראל.
- לנוכח מגמת ההתייבשות באזורנו, הכוללת ירידה בכמות המשקעים והתקצרות עונת הגשמים, הושושו סקרי שדה שנערכו בהפרש של עשר שנים (2008/9 ו-2018/9) ב-71 אתרים טבעיים.
- ביטויה של ההתייבשות ניכר בירידה בכיסוי הצומח המעוצה ברוב האתרים, והירידה חריפה יותר באזורים היבשים יותר. עם זאת, נמצא כי עושר מינים תרם ליציבות כיסוי הצומח בתקופת היובש. מינים דומיננטיים הגיבו באופן שונה ליובש: אלון מצוי הראה עלייה בכיסוי, בעוד מיני שיחים מסוימים הצביעו על ירידה.
- ממצאי המחקר מדגישים את חשיבותו של עושר המינים ליציבות המערכת האקולוגית הים תיכונית, ומספקים מידע שיכול לסייע למנהלי השטחים הפתוחים בישראל.

מערכת אקולוגיה וסביבה

תקציר

האקלים באזורנו נעשה יובשני יותר עקב עליית הטמפרטורות והתקצרות עונת המשקעים. נוסף על כך, צפויה ירידה בכמות המשקעים בעשורים הבאים. מחקרנו בחן את השפעת שינוי האקלים על הכיסוי וההרכב של הצומח המעוצה, שהוא המרכיב השליט בנוף הצומח הים תיכוני.

השווינו בין שני סקרי שדה שנערכו בהפרש של עשר שנים (2008/9, 2018/9), ב-71 אתרים טבעיים ברחבי החבל

הים תיכוני בישראל, מהגליל העליון ועד שפלת יהודה. אפיינו את העשור שבין שני הסקרים כתקופה יבשה. כמות המשקעים הממוצעת בתקופת המחקר הייתה נמוכה בהשוואה לעשורים הקודמים, בייחוד באזורים היבשניים. מצאנו כי מגמת ההתייבשות, הכוללת ירידה בזמינות המים והתקצרות עונת המשקעים, הייתה חריפה יותר באזורים היבשים יחסית לאורך מפל המשקעים.

מצאנו כי כיסוי הצומח הכולל נמצא בירידה ברוב האזורים: ב-51% מאתרי הסקר מצאנו ירידה של יותר מ-5% בכיסוי, ורק ב-24% מהאתרים מצאנו עלייה בכיסוי המעוצה. מצאנו שהירידה בכיסוי חריפה יותר באזורים היבשים ופוחתת באזורים הלחים. נוסף על כך, מצאנו שעושר המינים תורם ליציבות הכיסוי. מבין 51 מיני הצומח זיהינו שבעה מינים או סוגים של עצים, שיחים ובני-שיח דומיננטיים, ומתוכם רק אצל האלון המצוי מצאנו עלייה בכיסוי. הכיסוי של בר-זית בינוני ואשחר (ארץ-ישראלי ומנוקד) היה יציב יחסית, ובמיני השיחים – אלת המסטיק, קידה שעירה, סירה קוצנית ולוטם (שעיר ומרווני) – מצאנו ירידה ניכרת בכיסוי.

על פי ממצאי המחקר ניתן להעריך שעם המשך מגמת ההתייבשות תגבר הפגיעה בצומח. מנגד, עושר המינים מייצב את כיסוי הצומח המעוצה ויכול לתרום ליציבות נוף הצומח בתקופות יובש. מחקר זה מספק בסיס ידע לממשק השטחים הפתוחים בישראל, ומדגיש את החשיבות שבשמירה על עושר המינים עבור יציבות המערכת האקולוגית.

מבוא

השפעות שינוי האקלים העולמי על מערכות אקולוגיות ורווחת האדם הן רחבות היקף [19]. בחינה עדכנית של מגמות האקלים במזרח אגן הים התיכון מראה מובהקת של עליית הטמפרטורות והתקצרות עונת המשקעים [33,12]. נוסף על כך, מודלים המבוססים על המשך פליטות הפחמן העכשוויות צופים ירידה של עשרות אחוזים בכמות המשקעים [13].

מיני צומח שהתפתחו באקלים הים תיכוני ובאזורים יובשניים אחרים מותאמים לשרוד עונה ארוכה ללא משקעים באמצעות מגוון אסטרטגיות התאמה – סגירת פיוניות, נשירה והחלפה של עלים בקיץ, שקיץ מובהורשים עמוקים המאפשרים לצמח גישה למאגרי מים בעומק הקרקע והסלע ועוד [27,8]. עם זאת, התמעטות המשקעים והתקצרות העונה הגשומה, שמשמען התארכות העונה היבשה, עשויות להקשות על ההתמודדות של הצומח המעוצה עם עונת יובש ממושכת ולגרום לעקה חמורה יותר, לירידה ביצרנות ובגיוס פרטים חדשים באוכלוסייה ולתמותה של פרטים בוגרים [31,10].

לכן, למרות ההתאמות הפיזיולוגיות הקיימות, ההשערה היא ששינוי האקלים צפוי להתבטא בשינויים בנוף הצומח, וזאת על אף התאמות רבות של מיני הצומח לתנאי האקלים המקומיים. מחקרים קודמים על הצומח המעוצה באזורים ים תיכוניים התמקדו בשני סוגי מחקרים. הראשון, מחקרים על השפעת בצורת קיצונית קצרת-טווח (שנים בודדות), ונמצא בהם כי היא גורמת לתמותת עצים [30,20,11]. הסוג השני הוא מחקרים של מגמות הירקות (Greenness) של הצומח על בסיס דימותי לוויין, המוגבלים לרזולוציות נמוכות של עד עשרות מטרים לתא, ולהיטל צילום עילי שאיננו מאפשר בחינה של שכבתיות הצומח. למשל, בדו"ח מצב הטבע של המארג, המציג את ניתוח מגמת הצומח המעוצה באמצעות דימותי לוויין בעונת הקיץ בחבל הים תיכוני, לא נמצאה מגמה של שינוי בירקות הצומח במרבית החבל הים תיכוני לאורך התקופה 1985 עד 2020 (בשטחים שלא הושפעו משרפות או משינוי בשימושי הקרקע) [1].

מחקרים ארוכי-טווח שכללו מניפולציות על כמות המשקעים השנתית באתרים בודדים התמקדו לרוב בסקלות קטנות ובצומח חד-שנתי [25,17,16,6]. מחקרים מסוג זה שבחנו את הצומח המעוצה, מצאו שהפחתה בכמות המשקעים גרמה לשינויים בהרכב הצומח הרב-שנתי לטובת מינים המותאמים יותר ליובש [21]. מודלים שונים אף חזים דעיכה של הצומח המעוצה באזורים שיחוו עקות יובש ארוכות. המודלים חזים שהשפעת היובש בשילוב עלייה בתדירות שרפות תגרום לשינוי דרסטי בנוף הצומח [5]. התחזיות האלה מספקות תמונה עגומה של עתיד נוף הצומח הים תיכוני. עם זאת, חסרים מחקרים בקנה מידה רחב וברזולוציה גבוהה שבוחנים את תגובת הצומח המעוצה בחבל הים תיכוני לתנאי יובש ברמת הצומח הכללי והרכב החברה.

במחקר זה התמקדנו בחברות החורש והשיחיה המורכבות ממיני צמחים מעוצים רב-שנתיים המותאמים לשרוד באקלים יבש עם עונת גשם קצרה ועונה ארוכה ללא גשם. השוונו את כיסוי הצומח הכללי ואת הכיסוי ברמת המין בין שתי נקודות זמן בתחילת עשור המאופיין ביובשנות יחסית לעשורים קודמים ובסופו, ושאלנו: מה השינוי בכיסוי הצומח? איך הוא קשור למאפייני האקלים? ואיך הוא מושפע מתנאי הסביבה ומעושר המינים של חברת הצומח? למיטב ידיעתנו, מחקרנו הוא הראשון בישראל בפרט ובאזורים ים תיכוניים בעולם בכלל, הבוחן את השפעת מגמות ההתייבשות ארוכות-הטווח על הצומח המעוצה בשטח.

שיערנו שבהינתן תקופת יובש כיסוי הצומח המעוצה ידעך, אך עושר המינים והמורכבות הנופית יתרמו להצלחת מיני הצומח להתמודד עם עקת יובש, וימתנו את דעיכת הכיסוי בזכות מנגנוני סיוע (facilitation) או משלימות (complementarity) המאפשרים ניצול מיטבי של משאבים מוגבלים ברמת החברה בהינתן מגוון מינים המתקיימים יחד [26,14]. לעומת זאת, לעושר מינים גדול יכולות להיות גם השלכות שליליות על הצומח בשל הגדלת התחרות. כמו כן, שיערנו שיהיו הבדלים בין המינים במידת הרגישות ליובש, בין מינים שיראו דעיכה חזקה למינים שיראו התמודדות מוצלחת איתו, שיצביעו על הבדלים בהתאמה ליובש בין המינים.



הר חורשן: קידה שעירה בחזית הצילום, אלון מצוי במרכז, ואורן ירושלים מאחור | צילום: אפרת שפר

שיטות

במחקר זה סקרנו את הכיסוי החד-ממדי (לאורך חתכי צומח) של מיני עצים, שיחים ומטפסים מעוצים בשתי נקודות זמן בהפרש של עשר שנים – לאורך שנת 2008/9 ושוב לאורך שנת 2018/9. הסקר בוצע ב-71 אתרים בחבל הים תיכוני בישראל, בכל המרחב שבין האזור הגשום בגליל העליון ועד האזור היובשני במזרח הגליל ובשפלת יהודה (830–350 מ"מ לשנה) שנמצא בו צומח מעוצה, ללא התערבות אנושית מכוונת מלבד רעייה וללא שרפות בעשורים האחרונים [22]. ראשית, אפיינו את תקופת המחקר ואת העשורים שקדמו לה באמצעות שלושה משתנים אקלימיים ברזולוציה שנתי – כמות המשקעים, פיזור המשקעים (מדד עונתיות – SI) [28] ומידת היובשנות היחסית המחושבת לפי היחס בין כמות המשקעים והאינדיקס הפוטנציאלי (מדד פאלמר – PDSI) [4]. באמצעות ניתוח נראות קרבית והשוואת מודלים חלופיים בחנו את השפעת הגורמים האקלימיים, עושר המינים ומאפיינים סביבתיים (גובה מעל פני הים, סוג קרקע וממשק רעייה) על השינוי היחסי בכיסוי הצומח המעוצה הכללי ובאחוז כיסוי מיני העצים והשיחים הדומיננטיים בין שני הסקרים. שיטות המחקר מפורטות בנספח 1.

תוצאות

מגמות התייבשות – התקצרות עונת הגשם וירידה בזמינות המים

בניתוח סדרת הזמן 1980–2018 מצאנו מגמה מובהקת של ירידה בזמינות המים המחושבת (מדד פאלמר) עם הזמן בכלל אתרי הסקר, שהייתה חריפה יותר באזורים היובשניים יחסית מאשר באזורים הלחים. עלייה במדד העונתיות (SI) לאורך זמן הצביעה על התקצרות מובהקת של עונת המשקעים בשני אזורים, הרי יהודה ומזרח הגליל. עם זאת, לא מצאנו מגמה מובהקת של שינוי בכמות המשקעים השנתית עם הזמן, למעט בשני אתרים בשפלת יהודה (נספח 2).

בכל אתרי הסקר ממוצע המשקעים השנתי בתקופת המחקר 2009–2018 היה נמוך בהשוואה לתקופה הקודמת 1980–2008. הירידה הגדולה ביותר בממוצע המשקעים בין שתי התקופות הייתה באזורים עם כמות המשקעים השנתית הנמוכה יחסית, שם נמצאה ירידה של 17% בכמות המשקעים השנתית. לעומת זאת, באזורים הלחים נמצאה ירידה קטנה יחסית של 3% בכמות המשקעים השנתית (איור 1). כלומר, האזורים היבשים יחסית הם אלה שחוו התייבשות חריפה יותר לעומת האזורים הלחים יותר שחוו התייבשות מתונה יותר. ניתוח מגמות האקלים המלא מפורט בנספח 2.

איור 1. השינוי היחסי בכמות המשקעים לאורך מפל המשקעים
בהשוואת התקופה שבין הסקרים (2008/9–2018/9) לתקופה שלפניה (1980–2008), נמצא קשר מובהק בין השינוי היחסי בכמות המשקעים למוצע המשקעים הרב-שנתי עבור כל אחד מהאתרים ($F=32.787$, $p<0.0001$).



איור 1

השינוי היחסי בכמות המשקעים לאורך מפל המשקעים

בהשוואת התקופה שבין הסקרים (2008/9–2018/9) לתקופה שלפניה (1980–2008), נמצא קשר מובהק בין השינוי היחסי בכמות המשקעים למוצע המשקעים הרב-שנתי עבור כל אחד מהאתרים ($p<0.0001$, $F=32.787$).



צומח מעוצה טיפוסי באזור הכרמל: אלון מצוי, בר-זית בינוני וקידה שעירה | צילום: משה אלון

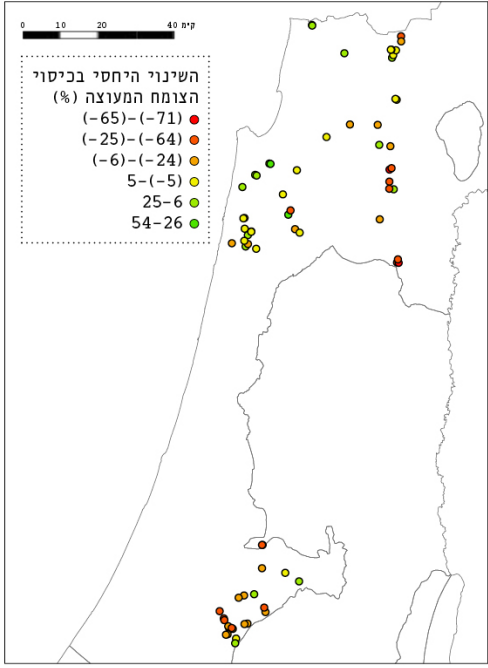
ירידה בכיסוי הצומח הכללי עם עליית היובשנות

בהשוואה בין שני הסקרים מצאנו ירידה יחסית של יותר מ-5% בכיסוי הצומח המעוצה בכמצית מאתרי הסקר (37 אתרים), בעוד שרק ב-17 אתרים (24% מהאתרים) נמצאה עלייה יחסית של יותר מ-5% בכיסוי (איור 2 ואיור 3). ב-17 האתרים הנוספים מצאנו יציבות בכיסוי הצומח, כלומר שינוי יחסי שבין -5% ל-5%. טווח השינוי היחסי בכיסוי הצומח באתרים נע בין הפחתה של 71.2% בכיסוי הצומח לעלייה של 53.5% בכיסוי. ממוצע השינוי בכלל האתרים היה -8.8% וחציון השינוי עמד על -6.1%. עושר המינים בסקר השני עמד על 13 מינים בממוצע בכלל האתרים, ונע בין 4 ל-26 מינים לאתר ו-51 בכלל האתרים יחד. לא מצאנו מתאם בין עושר המינים וכמות המשקעים השנתית הממוצעת ($Pearson\ correlation = 0.2$, $p = 0.09$).

בניתוח הנראות המרבית מצאנו שני מודלים מיטביים שמסבירים את השינוי היחסי בכיסוי הצומח בין שתי נקודות הזמן (איור 3). בשני המודלים נמצאה השפעה של שני משתנים – ממוצע המשקעים של העשור הנבחן ועושר המינים. המודל הראשון ($\Delta AICc=0$, $R^2=0.41$) מראה קשר לינארי חיובי בין ממוצע המשקעים לשינוי היחסי בכיסוי הצומח וקשר לינארי חיובי בין עושר המינים והשינוי היחסי בכיסוי הצומח. המודל השני

כולל קשר לינארי חיובי עם ממוצע המשקעים וקשר לוגריתמי חיובי עם עושר המינים שעוצמתו משתנה בהתאם לנוכחות הרעייה. באתרים ללא רעייה הייתה לעושר המינים השפעה חיובית חזקה יותר על השינוי היחסי בכיסוי הצומח, בעוד שבאתרים עם רעייה ההשפעה של עושר המינים הייתה חלשה יותר. לפי המודל השני, באתרים עם רעייה השינוי היחסי בכיסוי הצומח שלילי יותר בהשוואה לאתרים ללא רעייה. כמו כן, ההפרש בשינוי היחסי בכיסוי הצומח עם ובלי רעייה נע בין 1.9% בעושר מינים נמוך ל-4.6% בעושר מינים גבוה. לא מצאנו השפעה של כיסוי הצומח ההתחלתי (בסקר הראשון), סוג הקרקע או הגובה מעל פני הים על השינוי היחסי בכיסוי הצומח בתקופת המחקר.

איור 2. השינוי היחסי בכיסוי הצומח המעוצה בין הסקרים (2008/9 ו-2018/9) ב-71 אתרי הסקר באזור הים תיכוני בישראל



איור 2

השינוי היחסי בכיסוי הצומח המעוצה בין הסקרים (2008/9 ו-2018/9) ב-71 אתרי הסקר באזור הים תיכוני בישראל

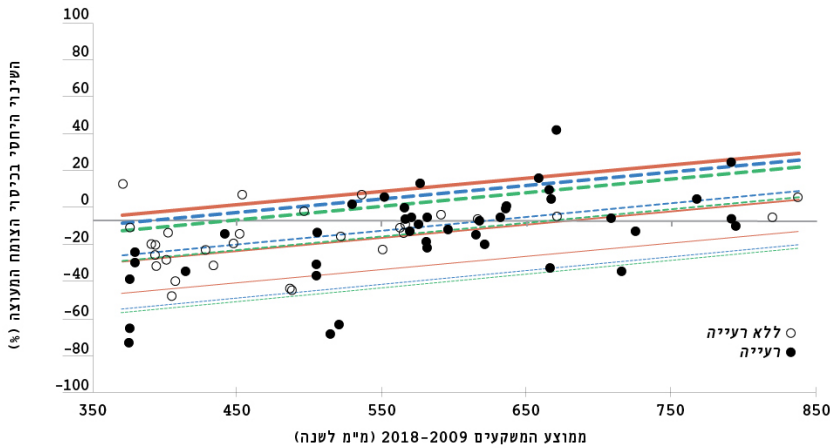
איור 3. השינוי היחסי בכיסוי הצומח המעוצה בין הסקרים כחלות בממוצע המשקעים השנתי בתקופת המחקר

התצפיות מאתרי המחקר מופיעות כנקודות לבנות באחרים ללא רעייה ושחורות באחרים עם רעייה. תחזיות המודלים המיטביים מוצגות בקווים המתארים את הקשר בין השינוי היחסי בכיסוי הצומח וממוצע המשקעים, בהתאם לעושר המינים. קו אדום עבה מציג את התחזית עבור עושר המינים המרבי (26), קו אדום בינוני עבור עושר מינים ממוצע (13) וקו אדום דק עבור עושר המינים המינימלי (4). המודל הראשון מובא במשוואה 1 ומוצג באפור, ללא השפעת הרעייה.

משוואה 1: $Relative\ change = -79.9 + 0.08 \times precipitation + 2.1 \times richness$

המודל השני מובא במשוואה 2 וכולל אינטראקציה בין עושר המינים ונוכחות רעייה ומוצג בקו מקוקו, בכחול עבור אתרים ללא רעייה (ה) ובירוק עבור אתרים עם רעייה (g).

משוואה 2: $Relative\ change = -119 + 0.08 \times precipitation + [26.78n, 25.38g] \times \ln(richness)$



איור 3

השינוי היחסי בכיסוי הצומח המעוצה בין הסקרים כתלות בממוצע המשקעים השנתי בתקופת המחקר

התצפיות מאתרי המחקר מופיעות כנקודות לבנות באתרים ללא רעייה ושחורות באתרים עם רעייה. תחזיות המודלים המיטביים מוצגות בקווים המתארים את הקשר בין השינוי היחסי בכיסוי הצומח וממוצע המשקעים, בהתאם לעושר המינים. קו עבה מציג את התחזית עבור עושר המינים המרבי (26), קו בינוני עבור עושר מינים ממוצע (13) וקו דק עבור עושר המינים המינימלי (4). המודל הראשון מובא במשוואה 1 ומוצג באפור, ללא השפעת הרעייה.

משוואה 1: $Relative\ change = -79.9 + 0.08 \times precipitation + 2.1 \times richness$

המודל השני מובא במשוואה 2 וכולל אינטראקציה בין עושר המינים ונוכחות רעייה ומוצג בקו מקווקו, כחחול עבור אתרים ללא רעייה (ה) וירוק עבור אתרים עם רעייה (g).

משוואה 2: $(Relative\ change = -119 + 0.08 \times precipitation + [26.78n, 25.38g] \times \ln(richness)$



לוטם שעיר (מימין) ולוטם מרווני | צילום: עוזי פז, פיקיוויקי

שינוי בכיסוי מינים דומיננטיים

מבין כ-50 מינים וסוגים שהופיעו בכל אתרי הסקרים מצאנו שבעה מינים וסוגים דומיננטיים המצויים ביותר מ-40% מהאתרים: אלון מצוי (*Quercus coccifera* L.), בר-זית בינוני (*Phillyrea latifolia* L.), אשחר ארץ-ישראלי (*Rhamnus lycioides* L.) ואשחר מנוקד (*Rhamnus punctata* Boiss) (שני המינים אוחדו בסקרים), אלת המסטיק (*Pistacia lentiscus* L.), קידה שעירה (*Calicotome villosa* L.), לוטם שעיר (*Cistus creticus* L.) ולוטם מרווני (*Cistus salvifolius* L.) (שני המינים אוחדו בסקרים) וסירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum* Spach) (טבלה 1).

מבין המינים האלה, רק אלון מצוי, הנוכח ב-76% מאתרי הסקר, הראה עלייה בכיסוי, בשיעור של 7% בממוצע. מצאנו עלייה של יותר מ-5% בכיסוי אלון מצוי ב-59% מהאתרים, לעומת ירידה של יותר מ-5% בכיסוי ב-13% מהאתרים. במיני העצים הנמוכים – בר-זית בינוני (נוכח ב-52% מהאתרים) ואשחר ארץ-ישראלי/מנוקד (נוכחים ב-94% מהאתרים) – מצאנו בממוצע עלייה מתונה של 1.6% ו-2.7% בכיסוי, בהתאמה, ועלייה של יותר מ-5% בכיסוי ב-30% מהאתרים בכל אחד מהמינים.

במיני השיחים – אלת המסטיק (נוכח ב-73% מהאתרים), קידה שעירה (נוכח ב-63% מהאתרים), לוטם (שעיר/מרווני, נוכחים ב-62% מהאתרים) וסירה קוצנית (נוכח ב-79% מהאתרים) – מצאנו ירידה ממוצעת של 6%-3% בכיסוי, וכן ירידה של יותר מ-5% בכיסוי באתרים רבים יותר מאשר אלה שנמצאה בהם עלייה בשיעור זה.

בהשוואה בין המודלים הסטטיסטיים מצאנו בחלק מהמינים – אלון מצוי, אשחר ארץ-ישראלי/מנוקד וסירה קוצנית – קשר בין ההפרש בכיסוי בין שני הסקרים לגורם אקלימי: המשקעים (אלון מצוי) או השינוי היחסי בכמות המשקעים הממוצעת בין התקופות (סירה קוצנית ואשחר ארץ-ישראלי/מנוקד). במינים האחרים לא מצאנו קשר לגורם אקלימי או סביבתי אחר. תיאור המודלים המיטביים עבור המינים הדומיננטיים מפורט בנספח

טבלה 1. השינוי בכיסוי של מיני הצומח המעוצה הדומיננטיים באתרי המחקר

מין	מספר האחרים שהמין נוכח בהם. בסוגרים מצוין שיעור האחרים האלה מכלל האחרים	שינוי בכיסוי - ממוצע (%)	שינוי בכיסוי - חציון (%)	אחוז האחרים שחלה בהם עלייה בכיסוי	אחוז האחרים עם עלייה של יותר מ-5% בכיסוי	אחוז האחרים עם ירידה של יותר מ-5% בכיסוי
אלון מצוי	54 (76%)	7.23	6.25	81.48	59.26	12.96
אשחר מנוקד / ארץ-ישראלי	67 (94%)	2.74	2.00	59.70	29.85	7.46
ברזיח בינוני	37 (52%)	1.62	0.13	51.35	29.73	13.51
אלח המסטיק	52 (73%)	-3.19	-2.38	36.54	23.08	32.69
קידה שעירה	45 (63%)	-5.59	-4.63	22.22	2.22	46.67
סירה קוצנית	58 (79%)	-5.71	-4.31	14.29	7.14	48.21
לוטם שעיר / מרווני	44 (62%)	-6.13	-4.13	31.82	13.64	45.45

טבלה 1

השינוי בכיסוי של מיני הצומח המעוצה הדומיננטיים באתרי המחקר



קידה שעירה (מימין) וסירה קוצנית | צילום: עוזי פז ודרור פייטלסון, פיקיוויקי

דיון

תמורות אקלימיות

מחקרים קודמים כבר עמדו על השונות הבין-שנתית הגבוהה בכמות המשקעים באזורנו ועל האתגר בזיהוי מגמה מובהקת בטווח של עשרות שנים [29,24]. גם ללא מגמה מובהקת של ירידה בכמות המשקעים מצאנו שממוצע המשקעים השנתי בעשור הנחקר היה נמוך בהשוואה לעשורים שקדמו לו.

מאידך גיסא, מגמת התקצרות עונת המשקעים, שזיהינו באזורים היובשניים יחסית של הארץ, תועדה כבר במחקרים קודמים, אם כי באזורים שונים ובתקופות החופפות באופן חלקי [12]. נמצא מתאם בין העלייה בטמפרטורות ובמידת היובשנות [3], שמתבטאת במגמה של מדד פאלמר לאורך מפל המשקעים, וזו עדות נוספת לעקת היובש ההולכת וגוברת שהמערכות האקולוגיות מתמודדות עימה.

הקשר בין תקופת היובש ודעיכת הצומח

הצומח היים תיכוני זכה למוניטין של התאמה להפרעות אנתרופוגניות ולתנאי יובש [8,15]. מחקרי עבר תיעדו את תהליכי הסוקסציה והתפתחות נוף הצומח המהירים ברחבי החבל היים תיכוני מקום המדינה ועד לעשורים האחרונים, שכללו בין השאר גם תקופות יובש [9].

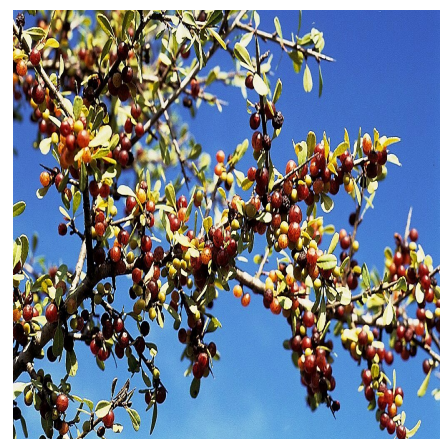
עם זאת, תוצאות מחקרנו מראות שבאזורים היים תיכוניים המוגבלים יחסית במשקעים המגמה המוכרת של סוקסציה משנית של החורש, כלומר תחלופת מינים המלווה לרוב בעלייה בכיסוי הצומח, עשויה להשתנות ולהתחלף בדעיכה של כיסוי הצומח המעוצה. המודלים המיטביים שמצאנו מראים כי בהינתן עושר מינים בינוני (13 מיני מעוצים), השינוי בכיסוי הצומח מתחלף מחיובי לשלילי כשכמות הגשם נמוכה מ-660 מ"מ לשנה.

חשוב לציין שממצאי מחקר זה הם תצפיתיים בלבד, ולכן מצד אחד יכולנו להצביע על דגם בסקאלות זמן ומרחב גדולות, אך מהצד השני, אנו מציעים קשרים נסיבתיים בלבד בין מגמת הצומח לשינוי האקלים. עם זאת, תוצאות המחקר מראות לראשונה על שינוי שלילי נרחב בכיסוי הצומח המעוצה, ומדליקות נורת אזהרה חשובה. לצד השפעת שינוי האקלים, נבחנו גם האפשרות לשינוי בהתארגנות החברה כהליך סוקצסיוני, כלומר ירידה בכיסוי מיני השיחים בעקבות עלייה בכיסוי האלון המצוי, אולם לא מצאנו מתאם בין השינויים בכיסוי מיני השיחים התומך בהשערה זו (פירוט הניתוח מופיע בנספח 4). גורמים אחרים שיכלו להסביר את הירידה בכיסוי הצומח הם, למשל, התחזקות הרעידה, פגיעה דמוגרפית באוכלוסיות מיני הצומח המעוצה, או דילול עצמי של הצומח בצפיפות גבוהה. עם זאת, ההסברים האלה סבירים פחות (לא ידועה עלייה בצפיפות העדרים בישראל, המינים שכיחים ובית גידולם אינו בסיכון, ומצאנו ירידה בכיסוי הצומח גם מרמות כיסוי בינוניות ולא רק גבוהות), וברוב המקרים אנו משערים שהגורמים האלה ישפיעו יותר על הצומח בשילוב עם השינוי האקלימי שמצאנו.

תוצאות מחקרנו עומדות בניגוד לממצאים המתקבלים בנייתוח שמתבסס על חישה מרחוק [1]. ההבדל נובע בעיקר מהרזולוציה המרחבית הגסה של דימותי הלויין (הנתונים הרב-שנתיים הם ברזולוציה של 30 מ'), מהרב-שכבתיות של הצומח, ומכך שניתוחי דימותי הלויין מבוצעים בקיץ ולכן מתעלמים ממינים בעלי עלי קיץ שאינם מזוהים ברזולוציה גסה. נוסף על כך, תקופת המחקר שלנו כוללת בעיקר תקופה יבשה, בעוד שמחקרים מבוססי דימותי לוויין כוללים גם תקופות קודמות וגשומות יותר. למעשה, התצפיות והמודל עבור האלון המצוי תואמות את תצפיות החישה מרחוק ומראות יציבות ואף עלייה בכיסוי של החורש הים תיכוני הנשלט על-ידי האלון במשקעים גבוהים מ-350 מ"מ לשנה.

מצאנו קשר חזק בין עושר המינים לוויסות השפעות שינוי האקלים. בהיתן עושר המינים המרבי המודלים המיטביים צופים יציבות של כיסוי הצומח בכל האזורים למרות מגמת ההתייבשות. בהשוואה לכך, כיסוי הצומח באזורים שעושר המינים בהם נמוך צפוי לדעוך, אם כי בקצב איטי, גם באזורים לחים יחסית. תרומת עושר המינים ליציבות מערכות אקולוגיות נידונה רבות [7, 26]. במחקר אנו מציגים לראשונה עדות ממערכות טבעיות לקשר בין יציבות הצומח המעוצה ועושר המינים. היתרון של עושר מינים גבוה עשוי לנבוע מיחסי גומלין של סיוע בין מינים (facilitation) [32], כמו ייעול בניצול המים והנטריות בקרקע בין המינים המתקיימים יחד, או שיפור תנאי המיקרו-אקלים על-ידי יצירת מורכבות נופית והפחתת אידי, או ממנגנון משלימות (complementarity) [26, 23, 18], מכיוון שישנם הבדלים בין המינים בתגובה לתנאי עקה כך שמין רגיש יותר יכול להיפגע בעוד שהכיסוי יישמר באמצעות שגשוג של מין מותאם יותר.

אחת ממגבלות המחקר היא הרזולוציה העיתית שלו, שתי נקודות בזמן בלבד, שאינה מאפשרת לנו לקבוע אם מדובר במגמה. כמו כן, גורמי האקלים שבחנו – הדעיכה היחסית בכמות המשקעים, התקצרות העונה הגשומה ורמת היובשנות – כולם קו-ליניאריים עם מפל המשקעים במרחב, ועל כן, לא יכולנו במחקר זה לבודד את אופן ההשפעה של כל אחד ממשני האקלים על הצומח. נוסף על כך, השפעת הרעידה וסוג המסלע והקרקע נבחנו במחקר זה באופן גס בלבד. עם זאת, באחד המודלים מצאנו שהרעידה השפיעה בעקיפין על השינוי בכיסוי, דרך השפעת עושר המינים. בחינת משמעותו של הקשר הזה דורשת מחקר המשך שיכלול בחינה מדויקת יותר של עומס הרעידה ושל השפעתו על מינים שונים.



אשחר ארץ-ישראלי (מימין) ובר-זית בינוני | צילום: עוזי פז, פיקיוויקי

הבדל בין מינים

המינים הדומיננטיים בסקרים הם המינים הדומיננטיים של נוף החורשים, השיחיות והבתות הים תיכוניים. אנו משערים שהמאפיין העיקרי המכתיב את ההבדלים בתפקוד מיני העצים והשיחים בתקופת היובש, הוא עומק השורשים. אלון מצוי, שזוהה כמין היחיד שכיסויו נמצא בעלייה באתרים רבים, הוא בעל מערכת השורשים העמוקה ביותר, והודות לכך יכול לנצל מים בעומק הקרקע גם בשנים יבשות יחסית [2]. לעומתו, למיני השיחים,

שנמצאו פגיעים ביותר, יש מערכת שורשים רדודה יחסית, והם מושפעים באופן חזק יותר מהרטיבות בשכבות הקרקע העליונות, כפי שנמצא במערכות יובשניות אחרות בעולם [17, 31]. מיני העצים הנמוכים, בר-זית בינוני ואשחר ארץ-ישראלי/מנוקד, נמצאים באמצע טווח השינוי בכיסוי ובעומק השורשים בהשוואה למיני השיחים ולאלון מצוי [24].

לסיכום, במחקר זה הראינו כי בניגוד לתפיסה הקיימת, נוף הצומח הים תיכוני אינו חסין מפני מגמות יובשנות, אולם עושר המינים בחברת הצומח תורם לשרידות וליציבות של המערכת האקולוגית ולא ניתן להפריז בחשיבותו. ירידה בכיסוי הצומח המעוצה ושינויים בהרכבו יכולים להשפיע על מבנה המערכת האקולוגית הים תיכונית ועל אספקת שירותי המערכת שלה.

תודות

ברצוננו להודות לחברי המעבדה, לסטודנטים ולחברים הרבים שהשתתפו בעבודת השדה. המחקר נערך בתמיכת משרד המדע והטכנולוגיה, מענק מס' 3-14440.

הלכה למעשה

ד"ר עמית דולב, אקולוג מחוז צפון, רשות הטבע והגנים:

מחקר זה ממחיש שהשפעת שינוי האקלים בולטת במיוחד באזורי המערב בין חבלים ביוגאוגרפיים, ובמקרה זה בין החבל הים תיכוני לספר המדבר. גבול התפוצה הדרומי של חברת הצומח הים תיכוני נמצא בדרומה של שפלת יהודה, בואך ספר המדבר. משמעות הדבר היא ששינוי האקלים צפוי לגרום להתפשטות של אזור ספר המדבר צפונה. העובדה שמגמת ההתייבשות חריפה פחות באזורים הלחים, מלמדת על ההתאמה של חברת הצומח למשרעת רחבה של תנאים, ורק כאשר מתרחשת הגעה לתנאים קיצוניים יותר באזורים היובשניים – ניכרת דעיכה.

מידע זה מספק תובנות חדשות לפעולות ממשק במספר תחומים, לדוגמה:

- 1. שרפות – בעוד שבדרך כלל הצומח הים תיכוני הרב-שנתי מתאושש משרפות באופן טבעי ומסוגל לחזור לנקודת המוצא תוך מספר שנים, מהמחקר עולה האפשרות שבאזורים היובשניים שבגבול החבל הים תיכוני, שיעור ההתאוששות יהיה נמוך יותר עקב תנאי האקלים. חשש זה יכול להוביל לכך שמנהלי השטחים הפתוחים ייתנו עדיפות לפעולות לצמצום סיכוני שרפות באזורי הספר.
- 2. רעייה – תוצאות המחקר לא הראו שממשק הרעייה הנהוג באזור ים תיכוני מגביר את הפגיעה בצומח הים תיכוני. למידע זה חשיבות רבה, מאחר שהוא מרמז שלמרות שינוי האקלים אין צורך בשינוי ממשקי הרעייה הנהוגים בשטחים פתוחים ובשמורות.

מחקרים כדוגמת מחקר זה הם בעלי חשיבות רבה להבנת מגמות ארוכות טווח. התובנות החשובות העולות ממנו מספקות למנהלי השטח בסיס לגיבוש פעולות ממשק מושכלות.

מקורות

- 1. בן-משה נ ורנן א (עורכים). 2022. דו"ח מצב הטבע 2022 – כרך מגמות ואיומים. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.
- 2. הר נ, שני א ורובי י. 2016. הדינמיקה של משק המים במערכת הסלע-קרקע-עץ ביער-פארק של אלון התבור ובחורש של אלון מצוי. אקולוגיה וסביבה 7(1): 52-64.
- 3. יוסף י, ציפורי א, אילוטוביץ א ואחרים. 2024, ניתוח מגמות אקלימיות ואירועי קיצון בישראל לאורך המאה ה-21. השירות המטאורולוגי, משרד התחבורה.

4. Abatzoglou JT, Dobrowski SZ, Parks SA, et al. 2018. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific Data* **5**(1): 1–12.
5. Acácio V, Dias FS, Catry FX, et al. 2017. Landscape dynamics in Mediterranean oak forests under global change: Understanding the role of anthropogenic and environmental drivers across forest types. *Global Change Biology* **23**(3): 1199–1217.
6. Alon M and Sternberg M. 2019. Effects of extreme drought on primary production, species composition and species diversity of a Mediterranean annual plant community. *Journal of Vegetation Science* **30**(6): 1045–1061
7. Bai YH and Tang Z. 2024. Enhanced effects of species richness on resistance and resilience of global tree growth to prolonged drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **121**(39): e2410467121.
8. Blondel J. 2006. The 'design' of Mediterranean landscapes: a millennial story of humans and ecological systems during the historic period. *Human Ecology* **34**(5): 713–729.
9. Carmel Y and Flather CH. 2004. Comparing landscape scale vegetation dynamics following recent disturbance in climatically similar sites in California and the Mediterranean basin. *Landscape Ecology* **19**: 573–590.
10. Del Cacho M and Lloret F. 2012. Resilience of Mediterranean shrubland to a severe drought episode: The role of seed bank and seedling emergence. *Plant Biology* **14**(3): 458–466.
11. Dorman M, Svoray T, Perevolotsky A, and Sarris D. 2013. Forest performance during two consecutive drought periods: Diverging long-term trends and short-term responses along a climatic gradient. *Forest Ecology and Management* **310**: 1–9.
12. Drori R, Ziv B, Saaroni H, et al. 2021. Recent changes in the rain regime over the Mediterranean climate region of Israel. *Climatic Change* **167**(1): 1–21.
13. Hochman A, Mercogliano P, Alpert P, et al. 2018. High-resolution projection of climate change and extremity over Israel using COSMO-CLM. *International Journal of Climatology* **38**(14): 5095–5106.
14. Isbell F, Craven D, Connolly J, et al. 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* **526**(7574): 574–577.
15. Lavorel S. 1999. Ecological diversity and resilience of Mediterranean vegetation to disturbance. *Diversity and Distributions* **5**(1–2): 3–13.
16. Liu D, Estiarte M, Ogaya R, et al. 2017. Shift in community structure in an early-successional Mediterranean shrubland driven by long-term experimental warming and drought and natural extreme droughts. *Global Change Biology* **23**(10): 4267–4279.
17. Liu D, Zhang C, Ogaya R, et al. 2020. Effects of decadal experimental drought and climate extremes on vegetation growth in Mediterranean forests and shrublands. *Journal of Vegetation Science* **31**(5): 768–779.
18. Loreau M and Hector A. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* **412**(6842): 72–76.
19. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO, et al. 2018. Global Warming of 1.5°C: An IPCC

- Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change. Geneva (Switzerland): World Meteorological Organization.
20. Peñuelas J and Sardans J. 2021. Global change and forest disturbances in the mediterranean basin: Breakthroughs, knowledge gaps, and recommendations. *Forests* **12**(5): 603.
 21. Peñuelas J, Sardans J, Filella I, et al. 2018. Assessment of the impacts of climate change on Mediterranean terrestrial ecosystems based on data from field experiments and long-term monitored field gradients in Catalonia. *Environmental and Experimental Botany* **152**: 49–59.
 22. Sheffer E, Canham CD, Kigel J, and Perevolotsky A. 2014. An integrative analysis of the dynamics of landscape-and local-scale colonization of Mediterranean woodlands by *Pinus halepensis*. *PloS One* **9**(2): e90178.
 23. Sheffer E, Cooper A, Perevolotsky A, et al. 2020. Consequences of pine colonization in dry oak woodlands: Effects on water stress. *European Journal of Forest Research* **139**(5): 817–828.
 24. Shohami D, Dayan U, and Morin E. 2011. Warming and drying of the eastern Mediterranean: Additional evidence from trend analysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **116**(D22).
 25. Tielbörger K, Bilton MC, Metz J, et al. 2014. Middle-Eastern plant communities tolerate 9 years of drought in a multi-site climate manipulation experiment. *Nature Communications* **5**(1): 5102.
 26. Tilman D, Isbell F, and Cowles JM. 2014. Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **45**: 471–493.
 27. Väänänen PJ, Osem Y, Cohen S, and Grünzweig JM. 2020. Differential drought resistance strategies of co-existing woodland species enduring the long rainless Eastern Mediterranean summer. *Tree Physiology* **40**(3): 305–320.
 28. Walsh RPD and Lawler DM. 1981. Rainfall seasonality: Description, spatial patterns and change through time. *Weather* **36**(7): 201–208.
 29. Yosef Y, Aguilar E, and Alpert P. 2019. Changes in extreme temperature and precipitation indices: Using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology* **39**(13): 5022–5045.
 30. Young DJN, Stevens JT, Earles JM, et al. 2017. Long-term climate and competition explain forest mortality patterns under extreme drought. *Ecology Letters* **20**(1): 78–86.
 31. Winkler DE, Belnap J, Hoover D, et al. 2019. Shrub persistence and increased grass mortality in response to drought in dryland systems. *Global Change Biology* **25**(9): 3121–3135.
 32. Zavala MA and de la Parra RB. 2005. A mechanistic model of tree competition and facilitation for Mediterranean forests: Scaling from leaf physiology to stand dynamics. *Ecological Modelling* **188**(1): 76–92.
 33. Zittis G, Almazroui M, Alpert P, et al. 2022. Climate change and weather extremes in

the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics* **60**(3):
e2021RG000762.

קריאה נוספת

שני מאמרים העוסקים בהשפעת תקופת יובש על היער הנטוע. במחקר הראשון בוצעו מדידות שדה באזור יובשני יותר משטח המחקר שלנו, ובמחקר השני ההשפעה נבחנה באתרים שונים באמצעות חישה מרחוק. שני המאמרים מספקים תמונה משלימה למחקרנו על השפעת תקופות יובש על נוף הצומח בשטח נטוע ובמשק מכוון מטרה.

דורמן מ, סבוראי ט ופרבולוצקי א. 2012. [התייבשות עצים ביערות אורן ירושלים בישראל – מבט מגובה רב](#). *אקולוגיה וסביבה* **3**(3): 230–237.

פרייזלר י, רוטנברג א, הר נ ואחרים. 2016. [שרידות יער אורנים על גבול המדבר בעקבות שנות בצורת קיצונית](#). *אקולוגיה וסביבה* **7**(1): 41–51.

מחקר העוסק במשק המים וההתמודדות של מיני אלונים עם יובש, והתאמתם לסוגי הקרקע והמסלע בחבל הים תיכוני ההררי.

הר נ, שני א וריוב י. 2016. [הדינמיקה של משק המים במערכת הסלע-קרקע-עץ ביער-פארק של אלון התבור ובחורש של אלון מצוי](#). *אקולוגיה וסביבה* **7**(1): 52–64.

פרק העוסק בחורשים ובבתות בישראל, ומספק תמונה משלימה על היקפם, המגוון הביולוגי המרכיב אותם, האיומים עליהם וכן המגמות הנצפות בחישה מרחוק.

בן-משה נ ורנן א (עורכים). 2022. [דו"ח מצב הטבע 2022 – כרך מגמות ואיומים: פרק ב' – כיסוי הצומח ותצורות הצומח בישראל](#). המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט.

נספחים (זמינים באתר)

נספחים 1-4

[להורדה](#)