

קרלי גולודיאץ

המחלקה לביולוגיה מולקולרית
ואקולוגיה של צמחים, הפקולטה
למדעי החיים, אוניברסיטת תל-אביב

מרסלו שטרנברג

המחלקה לביולוגיה מולקולרית
ואקולוגיה של צמחים, הפקולטה
למדעי החיים, אוניברסיטת תל-אביב

חיים קיגל

המכון למדעי הצמח וגנטיקה
בחקלאות, הפקולטה לחקלאות, מזון
וסביבה, האוניברסיטה העברית
בירושלים

ברטרנד בוקן

המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב
בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון
בנגב

עמית דולב

מ"פ צפון, בית מיג"ל

ליאת הדר

רמת הנדיב

זלמן הנקין

מנהל המחקר החקלאי - מרכז מחקר
נווה-יער

אלי צעדי

מנהל המחקר החקלאי - מרכז מחקר
גילת

יצחק בצלאל

תא הנדסה שימור קרקע ומים,
משרד החקלאות ופיתוח הכפר -
מחוז המרכז

אמיר ארנון

המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע,
המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר
החקלאי - מרכז וולקני

נעם זליגמן

המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע,
המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר



מרעה בקר באזור צחיח - חוות דושן (עמק הירדן), שכמות המשקעים השנתית הממוצעת בה היא כ-350 מ"מ | צילום: שחר בוקמן

הקשר בין כמויות הגשם לייצור ראשוני בשטחי מרעה לאורך מפל הגשם בישראל והשלכותיו לאור שינוי האקלים הצפוי

26 ביולי, 2013

גיליון קיץ 2013 / כרך 4 (2)

[חזית המחקר](#)

על קצה המזלג

- כ-20% משטחי המדינה משמשים למרעה, שתורם לנזף ולהיבטים אקולוגיים נוספים, ומספק פרנסה למגדלים.
- התחממות ושינוי האקלים צפויים להביא לירידה בכמויות הגשמים ולהגדלת השונות הבין-שנתית, וכך להשפיע, בין השאר, על גדילת הצומח העשבוני בשטחי המרעה.
- כדי לחזות את ההשפעות הללו התבסס המחקר על השונות המרחבית הקיימת בכמויות הגשמים לאורך מדינת ישראל. במחקר נותח הקשר בין השונות והביומסה העשבונית בשטחי המרעה.
- במחקר נבדקו נתוני גשמים שנמדדו ב-10 אתרים לאורך זמן ארוך יחסית (9-23 שנים), וכן מעל ל-30,000 דגימות של צומח עשבוני שנאספו באותם אתרים.
- תלות חזקה בין כמויות הגשמים וייצור הביומסה נמצאה בעיקר באזורים הצחיחים (פחות מ-500 מ"מ בשנה), ולכן הם המועדים ביותר להיפגע כתוצאה משינוי במשטר הגשמים.
- הפגיעה הצפויה ביצרנות העשבונית באזורים הצחיחים מחייבת תכנון מחדש של ממשק הרעייה.

החקלאי - מרכז וולקני

יוג'ין דוד אונגר

המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע,
המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר
החקלאי - מרכז וולקני

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

גולודיאץ ק, שטרנברג מ, קיגל ח
ואחרים. 2013. הקשר בין כמויות
הגשם לייצור ראשוני בשטחי מרעה
לאורך מפל הגשם בישראל
והשלכותיו לאור שינוי האקלים
הצפוי. *אקולוגיה וסביבה* 4(2):
148–158.

המערכת

תקציר

שינוי האקלים הגלובלי עלול לגרום לירידה בכמות הגשם ולעלייה בשונות הבין-שנתית שלה במזרח הים התיכון. במחקר זה ביקשנו לחזות השפעות אפשריות על ייצור הביומסה העשבונית בשטחי מרעה טבעי לאורך מפל הגשם בישראל. השתמשנו בנתונים ארוכי טווח של ייצור הביומסה העשבונית ובנתוני הגשם השנתי מעשרה אתרי מחקר המשתרעים משדה בוקר בדרום (90 מ"מ גשם) ועד עין יעקב בצפון (780 מ"מ גשם). ייצור הביומסה הממוצע עלה מדרום לצפון. תלות לינארית חזקה בין ייצור הביומסה לכמות הגשם נמצאה בעיקר באתרים הצחיחים (פחות מכ-500 מ"מ). לא נמצאה מגמה ברורה ביעילות השימוש בגשם (היחס בין ייצור לכמות גשם) לאורך מפל הגשם. מקדמי השונות הבין-שנתית של הגשם ושל ייצור הביומסה ירדו עם העלייה בכמות הגשם עד כ-500 מ"מ.

השינויים הצפויים במשטר הגשם יובילו לפגיעה משמעותית ביצרנות באתרים הצחיחים. לעומת זאת, לא צפויה פגיעה משמעותית ביצרנות המרעה באתרים הלחים, שלא נמצא בהם קשר הדוק בין כמות הגשם ליצרנות. השינויים הצפויים ביצרנות באתרים הצחיחים יצריכו תכנון מחודש של ממשק הרעיה.

מבוא

מחקרים בנושא שינוי האקלים חוזים עתיד יבש למזרח התיכון עם ירידה של עד כ-20% בכמות הגשם עד שנת 2050 [1,6]. נוסף על כך, התפלגות הגשם – במהלך העונה ובין השנים – צפויה להיות קיצונית יותר, עקב עלייה בעוצמת אירועי הגשם, התארכות תקופות יובש ביניהם במהלך העונה [4] והופעת רצפים ארוכים יחסית של שנות בצורת לעומת שנים גשומות. כיוון שזמינות המים משפיעה ישירות על גידול הצמחים, שינויים במשטר הגשם צפויים להשפיע רבות על תפקוד המערכות האקולוגיות ועל השירותים שהן מספקות, ובכללם הייצור הראשוני [7,14,18] ומגוון הצומח [14,19,28]. באשר למערכות המרעה, שינוי האקלים עלול להשפיע לא רק על הייצור הראשוני, אלא גם על איכות הצומח שבעלי החיים הרועים ניזונים ממנו – שני גורמים משמעותיים בקביעת כושר נשיאת המערכת לעדרים. השפעת שינויים במשטר הגשם על שני גורמים אלה מורכבת למדי עקב השפעות של גורמים סביבתיים אחרים, כגון טמפרטורה, פחמן דו-חמצני ותכונות הקרקע [18,21,26]. מחקרים רבים בחנו את השפעת השינויים המוצעים במשטר הגשם על היצרנות בשטחי מרעה; חלק מצאו ירידות ביצרנות [7], אחרים גילו עמידות מסוימת של היצרנות [3,14,17], ואילו באחרים התוצאות לא היו חד-משמעיות [8,26].

צפוי שהשפעת שינוי האקלים החזוי על הייצור הראשוני תהיה חזקה באזורים צחיחים וצחיחים למחצה, שקיימת בהם תלות רבה יותר בין הייצור הראשוני לכמות הגשם [19]. באזורים גשומים התלות חלשה יותר, כיוון שחשיבות המים, כגורם המגביל את הייצור הראשוני, פוחתת. למרות זאת, גם אזורים אלה עשויים להיות רגישים לשינוי האקלים, עקב יחסי הגומלין בין גורמים מגבילים אחרים, כגון טמפרטורה ומאפייני קרקע שונים – עומק, מרקם ופוריות [20] ובין כמויות הגשם. מורכבות תגובת הייצור הראשוני לגשם במערכות אקולוגיות שונות מקשה מאוד על ניסוח התחזיות ועל אימותן בשטח עבור אזורים שונים. בחרנו להשתמש בנתונים מְשֻׁנָּים קודמות כדי להתמודד עם קשיים אלה וכדי לבחון את הקשר בין הייצור הראשוני לגשם. כמו כן, רצינו לבסס תחזית כללית להשפעת שינוי האקלים על יצרנות שטחי המרעה כדוגמה ספציפית לכלל השטחים העשבוניים בישראל. בעבר הוגדרו התחזיות לגבי השפעת שינוי האקלים על שטחי מרעה ים תיכוניים בישראל באמצעות מודל [20], אך הוא נבדק רק בצפון הארץ [10].

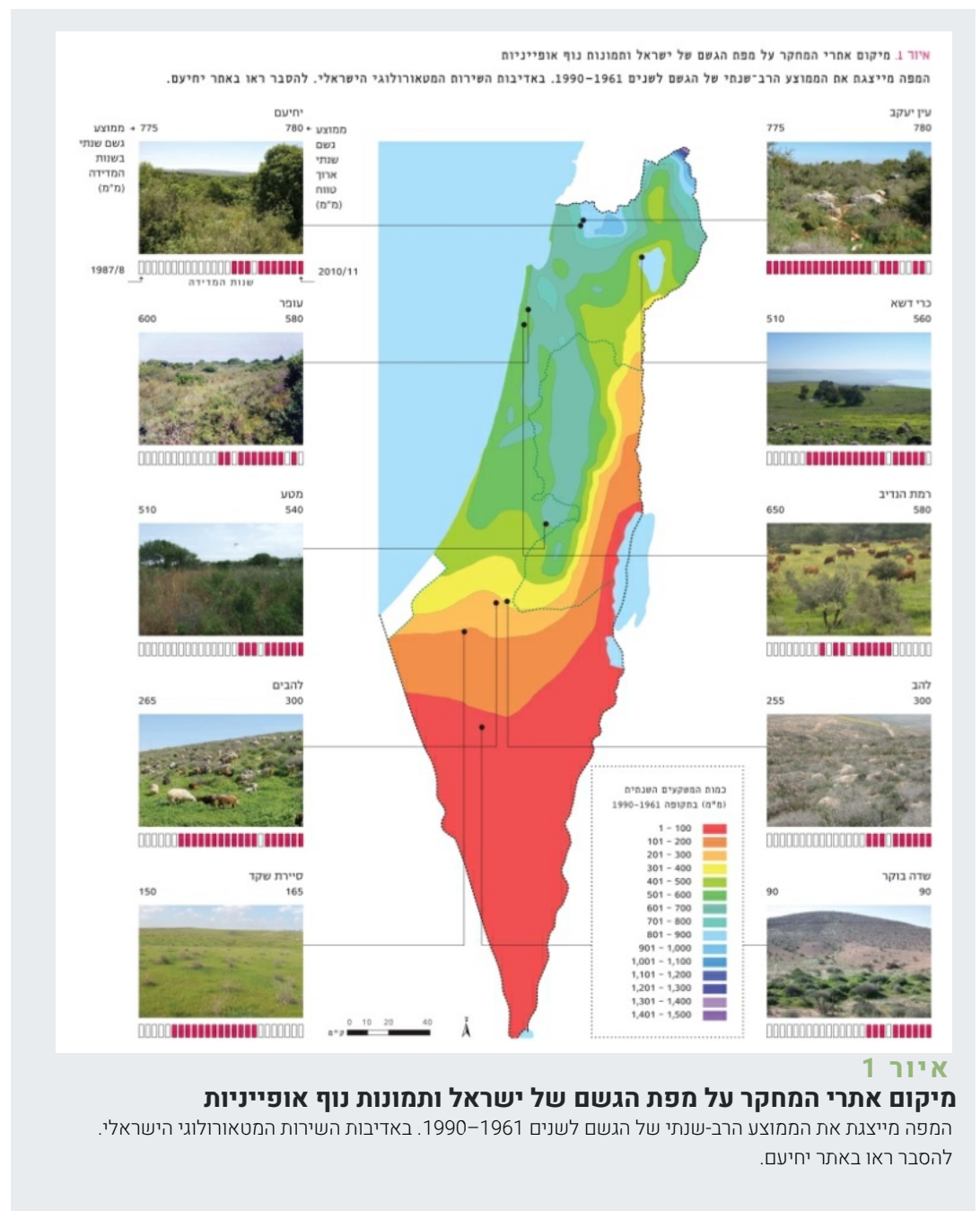
במחקר הנוכחי נציג ניתוח ראשון מסוגו בישראל, המתבסס על מסד מקיף של נתונים אמפיריים שהתקבלו ושנאספו (על-ידי חוקרים שונים) באתרי מחקר שונים לאורך מפל הגשם בישראל, שנערך בהם מעקב ארוך טווח אחר הייצור הראשוני. על סמך נתונים אלה, בחרנו לבחון את ההשפעות של גשם שנתי ושל השונות הבין-שנתית של הגשם, על ייצור הביומסה העשבונית הממוצעת ועל התנדוטיות שלה באתרים השונים, כדי להשיב על השאלות הבאות:

1. כיצד הקשר בין ייצור הביומסה העשבונית לגשם משתנה לאורך מפל הגשם?
2. באיזו מידה ניתן להסביר את השונות הבין-שנתית בייצור הביומסה העשבונית על סמך: סך כל הגשם השנתי; השונות הבין-שנתית בכמות הגשם?
3. מהן התחזיות לשינויים בייצור הביומסה העשבונית לאורך מפל הגשם בתגובה לשינוי האקלים הצפוי באזורנו?

שיטות וחומרים

תיאור אתרי המחקר

השתמשנו בנתונים מעשרה אתרי מחקר (איור 1) – משדה בוקר בדרום ועד לעין יעקב בצפון (ממוצעים שנתיים של כ-90 וכ-780 מ"מ גשם, בהתאמה). הצומח העשבוני הוא מרכיב חשוב בכל האתרים, אף שחשיבותו ביחס לצומח המעוצה יורדת מהדרום לצפון. אתר כרי דשא יוצא דופן: אף שאין בו צומח מעוצה, עשבוניים רב-שנתיים (גאופיטים וקמיקריפטופיטים) מכסים כ-40% מהשטח [23]. במרבית האתרים נמצאה היסטוריית רעייה ארוכה – בעיקר של בקר בצפון הארץ ושל צאן בדרומה. בימינו, הרעייה משמשת לגידול בעלי החיים כענף חקלאי ו/או ככלי ממשקי כנגד שרפות. לאורך המאמר, ארבעת האתרים הדרומיים (שדה בוקר, פארק סיירת שקד, להבים ולהב) מכונים "אתרים צחיחים" ואילו ששת האתרים האחרים (ממטע וצפונה) מכונים "אתרים לחים".



איסוף הנתונים

נבחרו אתרים שהתבצע בהם מעקב ארוך טווח (9–23 שנים) אחר ייצור הביומסה העשבונית העל-קרקעית – הייצור הראשוני הזמין לחיות המשק. מעקבים אלה בוצעו במסגרת ניסויים של קבוצות מחקר שונות, שנבדקו בהם השפעותיהם של טיפולים שונים על הייצור הראשוני. בכל ניסוי היו 2–8 חלקות חזרה לכל טיפול, שגודלן נע בין כמה מטרים רבועים למאות דונמים. הצומח העשבוני נדגם בכל חלקה במספר ריבועי דגימה, כדי לייצג את ההטרוגניות המרחבית של השטח.

בכל האתרים השתמשנו בנתונים מחלקות ביקורת בלבד – ללא רעיה או טיפולים אחרים, פרט לאתרים עין יעקב (שאינו בו חלקות ללא רעיה כלל, אלא קיימת רעיה קיץ למניעת שפופות) וכרי דשא (שקיימות בו שתי חלקות ביקורת בלבד, ומסיבה זו, כדי להגדיל את מספר החזרות, צירפנו שתי חלקות שנחשפות לרעיה מאוחרת [אחרי הפצת הזרעים]). בשני המקרים הנחנו שרעיה בעונת הקיץ לא תפגע באופן משמעותי בייצור הביומסה בשנה העוקבת. הביומסה נמדדה בשיא עונת הצמיחה – באביב – התקופה שהביומסה העשבונית מגיעה בה לערך מרבי. מספר הדגימות של צומח עשבוני שנאספו לבניית מסד הנתונים שהמאמר מתבסס עליו, הוא הגדול ביותר שנאסף עד כה בישראל – 31,831 דגימות, שנאספו בין השנים 1988–2011.

שיטת הדגימה

הביומסה העשבונית נדגמה באתרים השונים בריבועים בגודל 20X20 ס"מ או 25X25 ס"מ. באתרים שנמצאים בהם שיחים, נדגם הצומח העשבוני בשטח הפתוח בין השיחים במרחק של לפחות 40 ס"מ מהשיחים, כדי להימנע מהשפעות השיחים על העשבוניים. אם ריבוע מסוים נחת במקום לא מתאים, הוא נזרק שוב ושוב עד שינחת במקום מתאים לדגימה. כמקובל, דגימות הצמחים יובשו בתנור טרם השקילה. ייצור הצומח העשבוני מבוטא כמשקל יבש של ביומסה על-קרקעית למ"ר. היה שוני בשיטת דגימת הביומסה בין האתרים השונים, שנבע מהמטרות השונות של המחקרים: בחלק מהמחקרים נקצרו הצמחים בתוך ריבוע הדגימה כ-3 ס"מ מעל פני הקרקע, ואילו באחרים הם נאספו שלמים, על-ידי תלישת השורשים או חיתוך כ-1 ס"מ מתחת לפני הקרקע (השורשים הוסרו לפני השקילה). הבדלים אלה בדגימה לא אפשרו ביצוע השוואה ישירה של הביומסה בין האתרים השונים. לכן, בשנת 2011 נערך כיול, שבוצע בו דגימה כפולה בשיא עונת הצמיחה. בכל אתר בחרנו כ-20 כתמי צומח עשבוני אחידים, המייצגים את טווח היצרנות העשבונית בו. בכל כתם מיקמנו שני ריבועים בגודל הנהוג באותו אתר. באחד מהם דגמנו את הביומסה בשיטה המקומית ובשני דגמנו בשיטה אחידה – חיתוך הצמחים בריבוע בגובה 1 ס"מ מעל פני הקרקע. לכל אתר בנפרד, ביצענו רגרסיה אורתוגונית – המיועדת למקרים שנמצאה בהם טעות במדידה בכל אחד מהמשתנים [8] – בין המדידה המקומית למדידה האחידה. על סמך משוואות רגרסיה אלה "תיקנו" את הנתונים המקומיים (של כל השנים), כדי לקבל נתונים בני-השוואה מכל האתרים.

נתוני גשם

באופן כללי, השתמשנו בנתוני גשם שנמדדו באתרים עצמם. אם לא נמצאו נתונים זמינים או אמינים עבור אתר מסוים, נלקחו כאלה מתחנה מטאורולוגית בקרבת מקום. את נתוני הגשם החסרים הערכנו בעזרת מתאמים (קורלציות), שחושבו בשנים שהיו לגביהן נתונים הן מהתחנה המטאורולוגית הן מהאתר. במרבית האתרים נאספו נתוני הגשם על בסיס יומי, אך בניתוח שערכנו השתמשנו בכמויות שנתיים.

דדים להערכת הקשר בין ייצור ביומסה לכמות הגשם

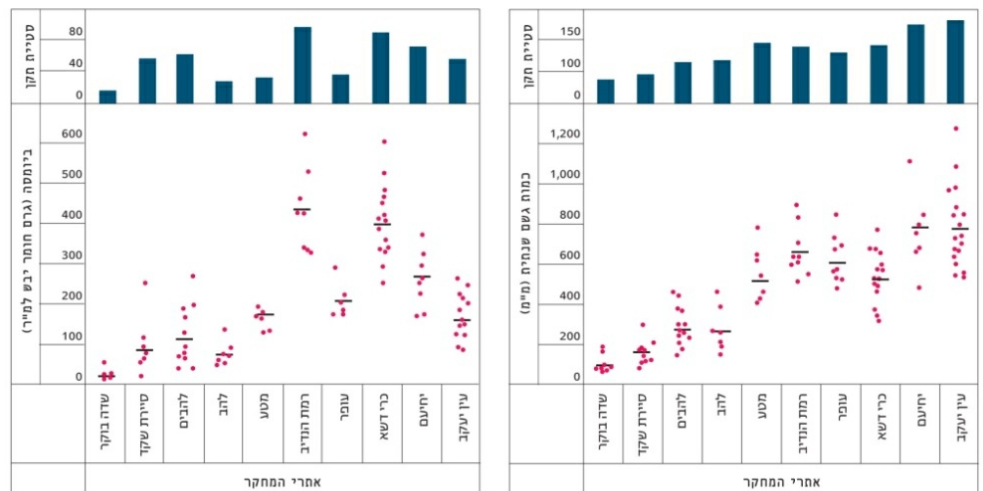
במחקר זה השתמשנו בשני מדדים שמציעים בספרות המקצועית להערכת הקשר בין ייצור הביומסה לכמות הגשם. המדד הראשון – יעילות השימוש בגשם (rain use efficiency) – מוגדר כיחס בין ייצור הביומסה לכמות הגשם השנתית [16]. מדד זה עולה עם העלייה בכמות הגשם, עד שגורמים סביבתיים אחרים מגבילים את ייצור הביומסה. המדד השני – היחס בין תנודתיות הייצור לתנודתיות הגשם (production to rain variability ratio) – מוגדר כיחס בין מקדם השונות (coefficient of variation) – היחס בין סטיית התקן לממוצע, מבוטא באחוזים) הבין-שנתית של הביומסה למקדם השונות הבין-שנתית של הגשם. יחס זה לרוב גבוה מ-1 באזורים צחיחים, בשל התלות החזקה של ייצור הביומסה בכמות הגשם, ואילו באזורים לחים הוא נוטה לרדת אפילו מתחת ל-1, כיוון שייצור הביומסה מושפע פחות משינויים בכמות הגשם.

תוצאות

מות הגשם השנתית הממוצעת וסטיית התקן שלה עולות לאורך מפל הגשם מדרום לצפון (איור 2א). מגמות השינוי בייצור הביומסה העשבונית לאורך מפל הגשם ברורות פחות (איור 2ב), בגלל פערים גדולים בטווח ערכי ייצור הביומסה בין אתרים בעלי כמויות גשם דומות – לדוגמה להב לעומת להבים או מטע לעומת כרי דשא. בדיקת הקשר בין ממוצעים רב-שנתיים של כמות הגשם וייצור הביומסה באתרים השונים מצביעה על מגמה כללית של עלייה בקשר ביניהם – מהאתרים הצחיחים לאתרים הלחים (איור 2), אולם באתרים הלחים הקשר אינו ברור. יש לציין כי ברגסיה, עבור כל אתר בנפרד (איור 3), נמצא קשר חיובי מובהק בין ייצור הביומסה לכמות הגשם באתרים הצחיחים - שדה בוקר, פארק סיירת שקד, להבים ולהב – אך לא באתרים הלחים, למעט בכרי דשא.

איור 2. כמות הביומסה העשבונית בשיא העונה (ממוצע±שגיאת תקן) כפונקציה של כמות הגשם השנחית (ממוצע±שגיאת תקן) לאורך מפל הגשם בישראל

א) הערכים השנתיים עבור הגשם (מימין) והביומסה (משמאל) לכל אתר: הממוצע שלהם (קו שחור) וסטיית התקן (עמודות כחולות). האחרים מסודרים לפי מיקום גאוגרפי מדרום לצפון.

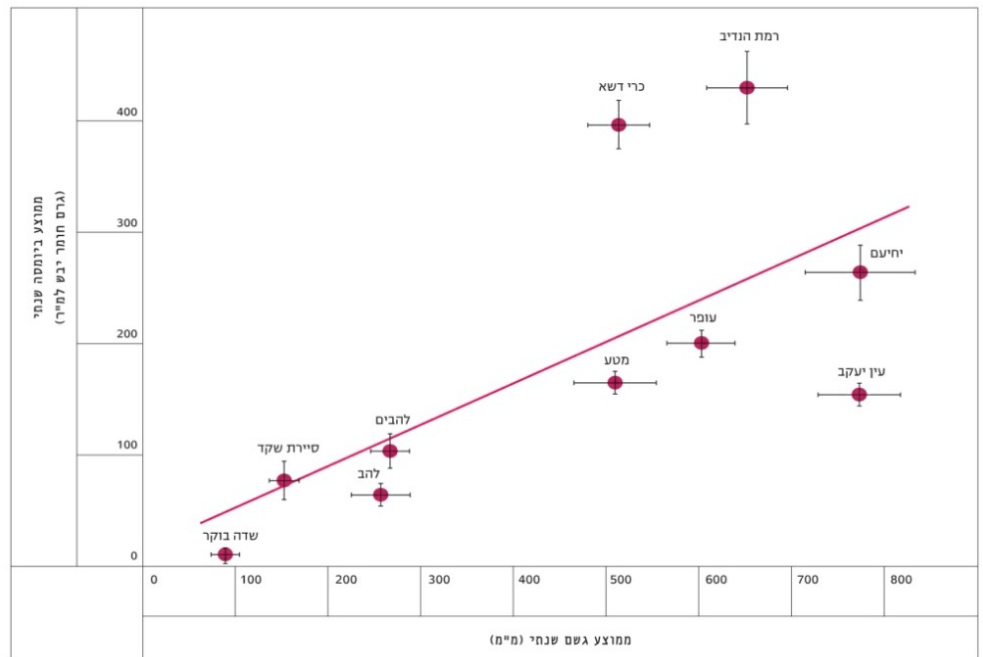


איור 2א

כמות הביומסה העשבונית בשיא העונה (ממוצע ± שגיאת תקן) כפונקציה של כמות הגשם השנתית (ממוצע ± שגיאת תקן) לאורך מפל הגשם בישראל

הערכים השנתיים עבור הגשם (מימין) והביומסה (משמאל) לכל אתר: הממוצע שלהם (קו שחור) וסטיית התקן (עמודות כחולות). האתרים מסודרים לפי מיקום גאוגרפי מדרום לצפון.

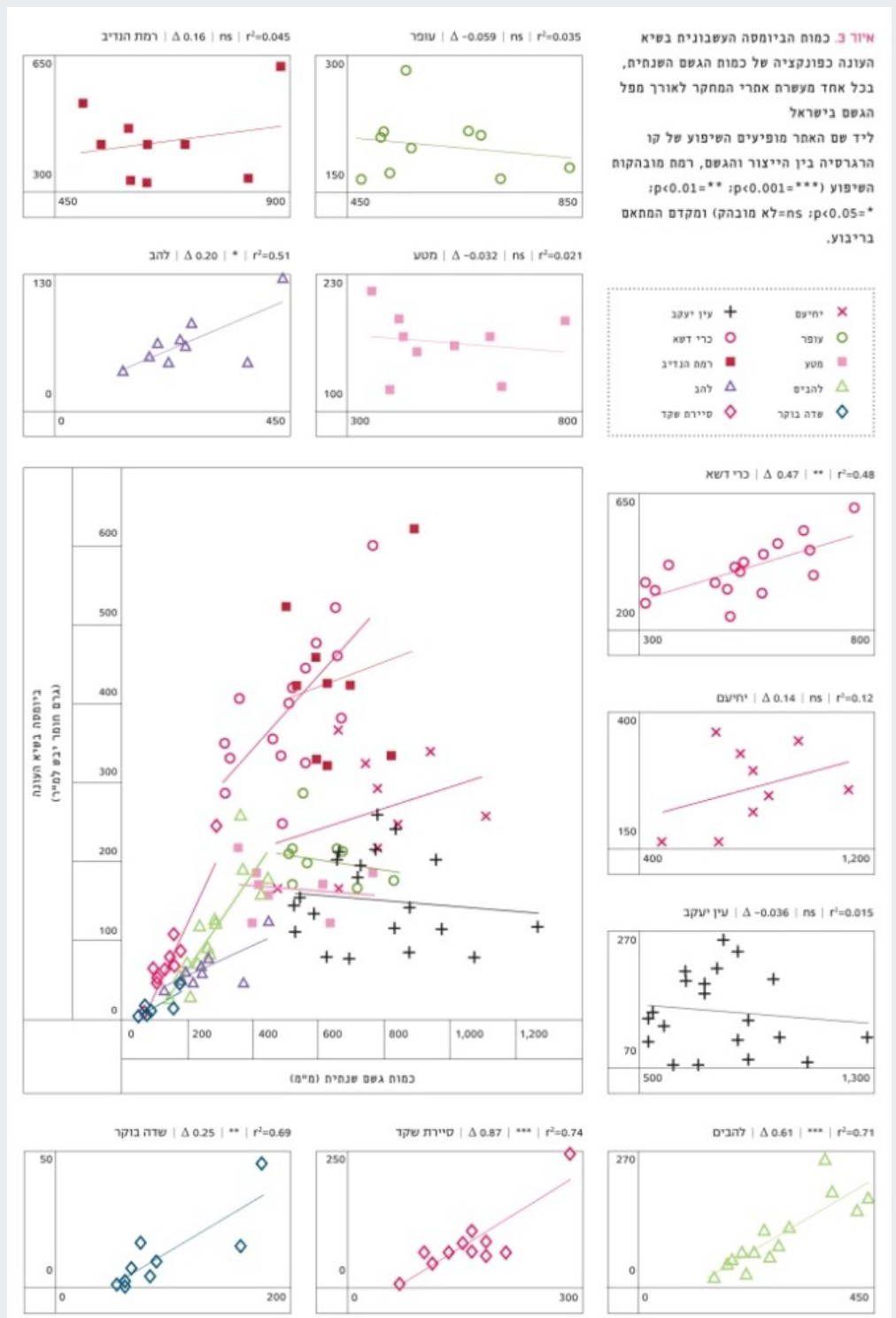
(ב) הרגרסיה הלינארית בין כמות הביומסה לכמות הגשם ($r^2 = 0.449$; $p = 0.0193$).



איור 2ב

כמות הביומסה העשבונית בשיא העונה (ממוצע $\pm$ שגיאת תקן) כפונקציה של כמות הגשם השנתית (ממוצע $\pm$ שגיאת תקן) לאורך מפל הגשם בישראל
הרגרסיה הלינארית בין כמות הביומסה לכמות הגשם ($r^2 = 0.449$; $p = 0.0193$).

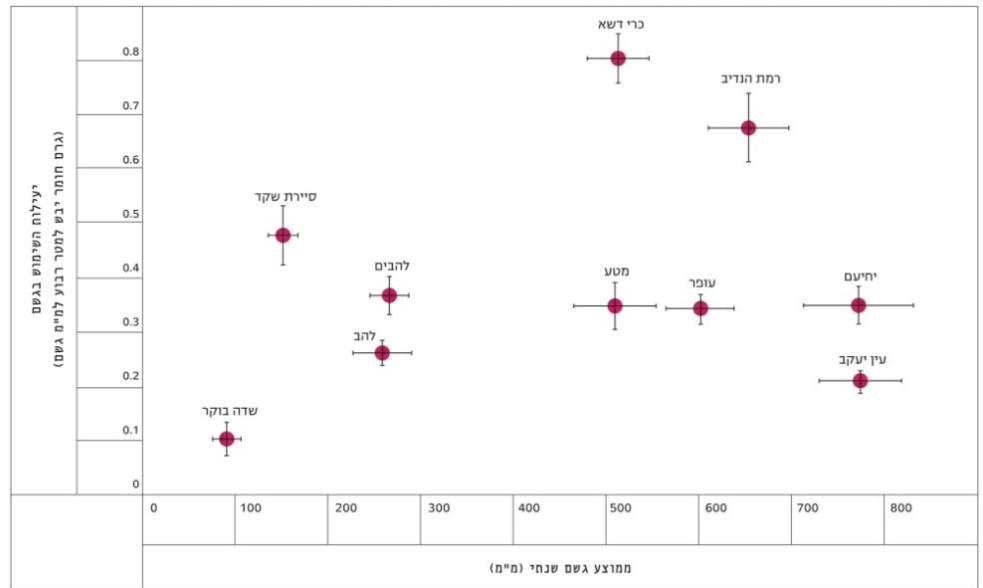
יעילות השימוש הממוצעת בגשם של כל האתרים הייתה (± 0.067) 0.39 גרם למ"ר למ"מ גשם. יעילות השימוש בגשם עלתה במעבר משדה בוקר ועד ללהבים ולפארק סירת שקד, אולם באתרים הלחים לא נמצא קשר בין יעילות השימוש בגשם לכמותו (איור 4). יעילות השימוש בגשם הייתה בתחום צר יחסית של ערכים נמוכים (0.21–0.48 גרם למ"ר למ"מ גשם) בשבעה אתרים, ואילו בכרי דשא ורמת הנדיב הייתה יעילות השימוש בגשם גבוהה יחסית (0.68–0.80 גרם למ"ר למ"מ גשם, בהתאמה)



כמות הביומסה העשבונית בשיא העונה כפונקציה של כמות הגשם השנתית, בכל אחד מעשרת אתרי המחקר לאורך מפל הגשם בישראל

ליד שם האתר מופיעים השיפוע של קו הרגרסיה בין הייצור והגשם, רמת מובהקות השיפוע ($p < 0.001 = ***$; $p < 0.01 = **$; $p < 0.05 = *$; ns = לא מובהק) ומקדם המתאם בריבוע.

איור 4. יעילות השימוש בגשם (ממוצע ± שגיאת תקן) כפונקציה של כמות הגשם השנתית (ממוצע ± שגיאת תקן) לאורך מפל הגשם בישראל



איור 4

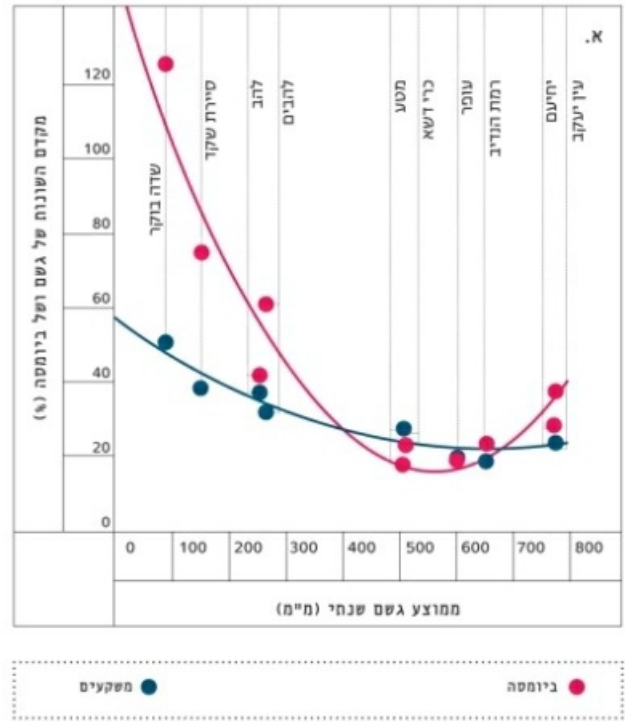
יעילות השימוש בגשם (ממוצע ± שגיאת תקן) כפונקציה של כמות הגשם השנתית (ממוצע ± שגיאת תקן) לאורך מפל הגשם בישראל

מקדמי השונות הבין-שנתית, הן של כמות הגשם הן של ייצור הביומסה, פחתו מאוד במעבר מהאתרים הצחיחים לאתרים הלחים, אך השתנו מעט בין האתרים הלחים (למעלה מ-500 מ"מ גשם) (איור 5א). כיוון שמקדם השונות הוא מדד לאי-ודאות במשתנה הנבחן, מגמה זו מצביעה על ירידה באי-הוודאות הבין-שנתית בשני המשתנים (כמות הגשם וייצור הביומסה) ככל שכמות הגשם עולה, עד להתייצבות ברמת גשם מסוימת (כ-500 מ"מ). אך הירידה במקדם השונות של הביומסה עם העלייה בכמות הגשם הייתה גדולה יותר (מ-120% ל-20-40%) מהירידה במקדם השונות של הגשם (מ-45% ל-18-27%). היחס בין תנודתיות ייצור הביומסה לתנודתיות כמות הגשם היה למעלה מ-1 באתרים הצחיחים (פרט לאתר להב, שהיה קרוב ל-1), ואילו באתרים הלחים היה יחס זה קרוב ל-1 (פרט לאתר עין יעקב, שהיה גבוה מ-1) (איור 5ב). נתונים אלה היו שונים מ-1 באופן מובהק סטטיסטית עבור כל האתרים, למעט עופר.

איור 5. מקדמי השונות הבין-שנתית של הגשם והביומסה

לאורך מפל הגשם בישראל

א) מקדם השונות של הגשם (כחול) ושל הביומסה (אדום) מול הממוצע של כמות הגשם השנתית; ב) הקשר בין מקדמי השונות של הביומסה והגשם עם קו רגרסיה המראה את היחס 1:1.



איור 5א

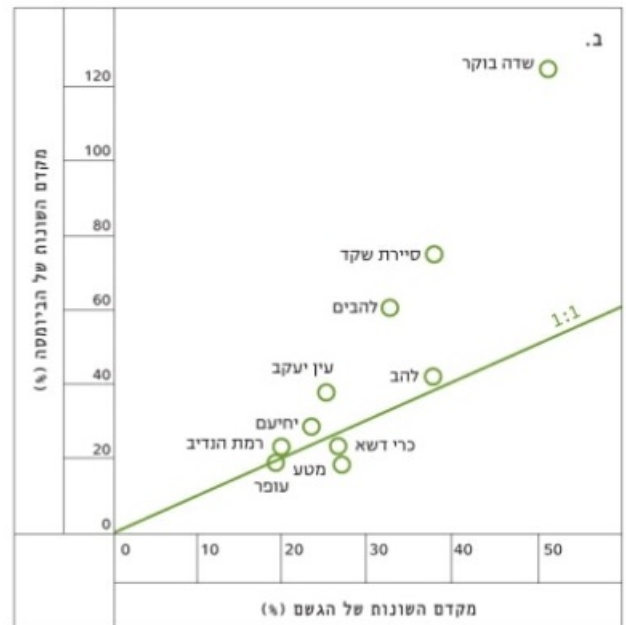
מקדמי השונות הבין-שנתית של הגשם והביומסה לאורך מפל הגשם בישראל

מקדם השונות של הגשם (כחול) ושל הביומסה (אדום) מול הממוצע של כמות הגשם השנתית.

איור 5. מקדמי השונות הבין-שנתית של הגשם והביומסה

לאורך מפל הגשם בישראל

א) מקדם השונות של הגשם (כחול) ושל הביומסה (אדום) מול הממוצע של כמות הגשם השנתית; ב) הקשר בין מקדמי השונות של הביומסה והגשם עם קו רגרסיה המראה את היחס 1:1.



איור 5ב

מקדמי השונות הבין-שנתית של הגשם והביומסה לאורך מפל הגשם בישראל

הקשר בין מקדמי השונות של הביומסה והגשם עם קו רגרסיה המראה את היחס 1:1.

דיון

מגמות בייצור הביומסה

תוצאות הניתוח שערכנו מצביעות על כך שלאורך מפל הגשם בישראל מגבילה כמות הגשם השנתית את ייצור הביומסה העשבונית בשטחי המרעה. טענה זו מתחזקת עוד יותר כאשר אנו מוציאים את כרי דשא ורמת הנדיב מהגרסיה הלינארית באיור 2ב – אז מקדם המתאם בריבוע (r^2) עולה ל-0.798. בתוך כל אתר, נמצא קשר הדוק בין השניים רק באתרים הצחיחים (מאתר להב ודרומה) שייצור הביומסה העשבונית בהם נמוך ביותר, בדומה לאזורים צחיחים אחרים בעולם [5,13,16]. ניתן לומר בוודאות כי כמות הגשם השנתית בתחום זה היא גורם מגביל חשוב, אם לא הגורם העיקרי, עבור ייצור הביומסה העשבונית [18]. באתרים הלחים (למעלה מ-500 מ"מ גשם) לעומת זאת, לא נמצא קשר מובהק בין ייצור הביומסה לכמות הגשם, פרט לאתר כרי דשא. ייתכן שבאתרים הלחים יש להתפלגות אירועי הגשם ולמשך עונת הצמיחה השפעה רבה יחסית על ייצור הביומסה העשבונית, הממסכת את השפעת כמות הגשם השנתית. כמו כן, חוסר הקשר יכול להעיד על כך שבאתרים הלחים קיימים גורמים אחרים המגבילים את יצרנות המרעה, כגון פוריות הקרקע [11]. הקרקע הבזלתית בכרי דשא עמוקה ועשירה יותר בזרחן, משאב המגביל את צמיחת העשבוניים בקרקע טרה רוסה [22] באתרים הלחים האחרים. ייתכן ששתי תכונות אלה – עומק ופוריות – מקנות לקרקע הבזלתית פוטנציאל רב יותר לצמיחת העשבוניים, ומשום כך יכולה להיות עלייה בייצור הביומסה בשנים גשומות יותר, בניגוד לאתרים הלחים האחרים.

יעילות השימוש בגשם הייתה נמוכה מאוד (0.10 גרם למ"ר למ"מ גשם) באתר שדה בוקר, שהוא הצחיח ביותר. ייתכן שתוצאה זו נבעה מתכונות החלקות שנדגמו בשדה בוקר – מדרון בעל מפנה דרומי, קרקע רדודה ורמות קרינה גבוהות, הגורמות להתייבשות מהירה לאחר אירועי הגשם. במרבית האתרים האחרים הייתה יעילות השימוש בגשם בטווח 0.21-0.48 גרם למ"ר למ"מ גשם, רמה המאפיינת שטחי מרעה באזורים צחיחים [16]. בכרי דשא וברמת הנדיב, לעומת זאת, יעילות השימוש בגשם הייתה גבוהה יחסית (0.68 ו-0.80, בהתאמה). הסבר אפשרי להבדל ביעילות השימוש בגשם בשני אתרים אלה, לעומת שאר

האתרים, כרוך בהיעדר צומח מעוצה באתר כרי דשא ובחלקות שנדגמו ברמת הנדיב. באתרים הלחים הצומח המעוצה צפוף יחסית, מתחרה עם הצומח העשבוני על האור ועל משאבי הקרקע, ומדכא את צמיחתו [12]. היעדר צומח מעוצה מתחרה מגדיל את כמות מי הגשם לרשות הצומח העשבוני, ומגדיל את יעילות השימוש בגשם.

מחקרים רבים בחנו את הקשר בין תנודתיות כמות הגשם לייצור הביומסה לאורך שנים ובאזורים שונים, מתוך ההנחה כי לשינוי בכמויות הגשם בזמן ובמרחב יש השפעה פוטנציאלית חזקה, מעבר להשפעת הרמה הממוצעת שלו באזור מסוים [16, 26, 27, 29]. היחס בין מקדם השונות של ייצור הביומסה למקדם השונות של כמות הגשם באתרים לאורך מפל הגשם שבדקנו היה קרוב ל-1 באתרים הלחים, שבהם מעל 500 מ"מ ממוצע גשם לשנה. נמצא כי בתחום זה מקדם שונות הגשם נמוך יחסית (20–25%). הצטברות של רזרבות באיברי אגירה תת-קרקעיים בעשבוניים הרב-שנתיים ושל זרעים בבנק הזרעים בקרקע בשנים הגשומות באתרים אלה תורמת לצמצום ההבדלים בין שנים בייצור הביומסה [9, 23, 24]. באתרים מתחת ל-300 מ"מ גשם לשנה נמצאה סטייה הולכת וגוברת – היחס גדול מ-1 – ככל שמתקדמים לעבר האזורים הצחיחים במפל הגשם, בדומה לאזורים צחיחים אחרים בעולם [16, 29]. להבדלים קטנים יחסית בכמות הגשם בין שנים יש השפעה רבה על היצרנות באזורים הצחיחים, המתבטאת בשונות גבוהה יותר בביומסה לעומת השונות בכמות הגשם השנתית.

השפעות שינוי האקלים החזוי

לפי התחזיות לשינוי האקלים, במזרח התיכון צפויה ירידה של עד כ-20% בכמות הגשם ועלייה בשונות הבין-שנתית בה [1, 4, 6]. ניתן לאמוד את הירידה הצפויה בייצור הביומסה העשבונית בתגובה לירידה בכמות הגשם לפי הרגרסיות באיור 3 או לפי טווח היצרנות בכל אתר. נמצא כי השינויים הצפויים בייצור הביומסה העשבונית בכל האתרים, בעקבות ירידה של 20% מכמות הגשם השנתית הממוצעת, יהיו בטווח התנודות ביצרנות שנמדדו במהלך שנות המדידה באתרים השונים. השפעתן העיקרית של הירידה בכמות הגשם והעלייה בשונות הבין-שנתית בהשוואה למצב הקיים כיום, תהיה פגיעה משמעותית במיוחד ביצרנות של האתרים הצחיחים. שינויים צפויים אלה ביצרנות יצריכו תכנון מחודש של ממשק הרעייה [27]. היצרנות באתרים הלחים, לעומת זאת, לא תתרוג לרוב מטווח היצרנות הקיים כיום, בגלל הירידה הצפויה בכמות הגשם השנתית. ייתכן שהירידה הצפויה בכמות הגשם לא תקטין בצורה משמעותית את יצרנות המרעה באתרים הלחים, שלא נמצא בהם קשר הדוק בין כמות הגשם ליצרנות, בגלל השפעת גורמים מגבילים אחרים.

בניתוח השפעות אפשריות של שינוי משטר הגשמים יש להבחין בין השפעות לטווח הקצר והשפעות מצטברות לטווח הארוך. השונות הבין-שנתית בגשם לאורך כמה שנים, שקיימת בכל האתרים, יכולה למתן מגמות הנוגעות להתדלדלות הצמחייה ולירידה ביצרנות. ההתמתנות קורית הודות לשילוב עם שנים גשומות, שמאפשרות "מילוי חוזר" של מאגר הזרעים בקרקע והתאוששות של עשבוניים רב-שנתיים. אך ההשפעה השלילית המצטברת לאורך שנים רבות יכולה לגרום לשינוי הדרגתי בהרכב הצומח העשבוני ובצפיפותו ולפגיעה ביצרנות. ירידה בכמות הגשם, המלווה ברצף שנות בצורת, עלולה לגרום לתמותת עשבוניים רב-שנתיים ולהתדלדלות בנק הזרעים בקרקע, ולפיכך לירידה ביצרנות המרעה, וזאת לעומת המצב הקיים כיום שבו יש שילוב אקראי של שנים גשומות יותר ויבשות יותר. גם להרכב הצומח יש חשיבות באשר לתגובת היצרנות לשינויים הצפויים במשטר הגשמים. שכיחות הצומח העשבוני הרב-שנתי גבוהה יותר באתרים הלחים [24]. צומח זה תלוי יותר בהתחדשות מאיברים תת-קרקעיים ועלול להיפגע יותר משנות בצורת רצופות, בהשוואה לצומח החד-שנתי, המתחדש מבנק הזרעים. הצומח המעוצה גם כן עלול להיפגע בתנאי יובש קיצוניים [15], וצמצומו ישפיע על יצרנות הצומח העשבוני. רצף שנות הבצורת בשנים האחרונות גרם לפגיעה בצומח המעוצה בפארק סיירת שקד [2] ולהתייבשות ולתמותת עצים ברמת הנדיב (ליאת הדר, מידע בע"פ, 2008).



מות הגשם השנתית מגבילה את ייצור הביומסה העשבונית בשטחי המרעה / צילום: אפרת ליבמן-פנר

סיכום

המורכבות הרבה של הקשרים בין הגורמים השונים, המשפיעים על יצרנות מערכות המרעה, מקשה על חיזוי השפעות שינויי משטר הגשם על יצרנות המרעה. הגישות שנקטו עד כה לצורך תחזיות אלו כללו מודלי הדמיה [20,14] ומניפולציות ניסיוניות של הגשם – הוספה או גריעה [30,25,7]. היתרון העיקרי בגישה שנקטנו בה במחקר זה הוא השימוש בנתוני אמת, שנאספו במשך תקופה ארוכה יחסית באתרים לאורך מפל הגשם. עם זאת, בסיס הנתונים אינו מושלם: אין חפיפה מלאה בין השנים שהמדדות נערכו בהן באתרים השונים, ומספר שנות המדידה שונה בין האתרים, מה שיכול לגרום להטיה מסוימת הן בקשר בין ייצור הביומסה לגשם הן במקדמי השונות, העשויים להשתנות לאורך זמן. אך מטרתנו הייתה להציג תמונה כללית לאורך מפל הגשם, ולשם כך רצינו לתת נציגות למגוון רחב של מערכות מרעה ומשטרי גשם. מתואר כאן ניתוח ראשוני המבוסס על כמות הגשם השנתית, אך התפלגות הגשמים בעונת הצמיחה עשויה להיות חשובה לא פחות ממנה [3] בעיקר באזורים צחיחים [26,18,7]. בחינת הקשר בין התפלגות הגשמים ליצרנות המרעה, יחד עם בדיקת השפעות הגומלין בין הגשם למאפייני הקרקע, דרושות להבנה טובה יותר של השפעות שינוי האקלים על יצרנות המרעה העשבוני. ניסויים, שמטרתם לבחון את הקשרים האלה, יוכלו להוסיף ולשפוך אור על המנגנונים המעורבים בתגובות שתיעדנו ולסייע למנהלי שטח ולאנשי מרעה להתכונן לשינויים אפשריים במערכות המרעה בארץ.

תודות

על נתוני ביומסה מאתרי המחקר אנו מודים לאירית קונסנס (נתונים משדה בוקר, להב, מטע ויחיעם), לחגית ברעם (נתונים מלהבים ועופר), לדניאל ברקאי (נתונים מפארק סירית שקד) ולמריו גוטמן (נתונים מרמת הנדיב). לנועם בן ארי, לשילה נבון, לעזרא בן משה ולרפי יונתן על עזרתם בעבודת השדה. למרק פרל, למוטי פרס, לאלונה אריה ולדוד בונפיל על נתוני האקלים. לאבנר פורשפן ולנועם חלפון מהשירות המטאורולוגי על העזרה בהכנת [איור 1](#), להילרי פוט על הייעוץ ועל הניתוח הסטטיסטי ולאירית קונסנס על עריכת הלשון. המחקר מומן מטעם קרן המדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר.

מקורות

1. גולן-אנגלקו ע ובראור י. 2008. היערכות ישראל לשינויי אקלים גלובליים. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה, לשכת המדען הראשי.
2. שחק מ. 2011. מרקמים אקולוגיים: מערכות אקולוגיות בצפון הנגב כמודל. *אקולוגיה וסביבה* **2**(1): 29-18.
3. שפרן-נתן ר, סבוראי ט ופרבולוצקי א. 2009. חיזוי שינויים בייצור של צומח עשבוני כתגובה לשינויים בתכונות גשם וטמפרטורה. *אופקים בגאוגרפיה* **72**: 128-108.
4. Alpert P, Ben-gai T, Baharad A, et al. 2002. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters* **29**: 1536.
5. Bai Y, Wu J, Xing Q, et al. 2008. Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia Plateau. *Ecology* **89**: 2140-2153.
6. Black E. 2009. The impact of climate change on daily precipitation statistics in Jordan and Israel. *Atmospheric Science Letters* **10**: 192-200.
7. Fay PA, Carlisle JD, Knapp AK, et al. 2003. Productivity responses to altered rainfall patterns in a C4-dominated grassland. *Oecologia* **137**: 245-251.
8. Fuller WA. 1987. Measurement error models. New York: John Wiley.
9. Harel D, Holzapfel C, and Sternberg M. 2011. Seed mass and dormancy of annual plant populations and communities decreases with aridity and rainfall predictability. *Basic and Applied Ecology* **12**: 674-684.
10. Henkin Z, Seligman NG, Kafkafi U, and Noy-Meir I. 1998. Effective growing days: A simple predictive model of the response of herbaceous plant growth in a Mediterranean ecosystem to variation in rainfall and phosphorus availability. *Journal of Ecology* **86**: 137-148.
11. Henkin Z, Seligman NG, and Noy-Meir I. 2010. Long-term productivity of Mediterranean herbaceous vegetation after a single phosphorus application. *Journal of Vegetation Science* **21**: 979-991.
12. Holzapfel C, Tielbörger K, Parag HA, et al. 2006. Annual plant-shrub interactions along an aridity gradient. *Basic and Applied Ecology* **7**: 268-279.
13. Huxman TE, Smith MD, Fay PA, et al. 2004. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature* **429**: 651-654.
14. Köchy M, Mathaj M, Jeltsch F, and Malkinson D. 2008. Resilience of stocking capacity to changing climate in arid to Mediterranean landscapes. *Regional Environmental Change* **8**: 73-87.
15. Koepke DF, Kolb TE, and Adams HD. 2010. Variation in woody plant mortality and dieback from severe drought among soils, plant groups, and species within a northern Arizona ecotone. *Oecologia* **163**: 1079-1090.
16. Le Houérou HN, Bingham RL, and Skerbek W. 1988. Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid

- lands. *Journal of Arid Environments* **15**: 1-18.
17. Miranda JD, Armas C, Padilla FM, and Pugnaire FI. 2011. Climatic change and rainfall patterns: Effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. *Journal of Arid Environments* **75**: 1302-1309.
 18. Nippert JB, Knapp AK, and Briggs JM. 2006. Intra-annual rainfall variability and grassland productivity: Can the past predict the future? *Plant Ecology* **184**: 65-74.
 19. Noy-Meir I. 1973. Desert ecosystems: Environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* **4**: 25-51.
 20. Seligman NG and van Keulen H. 1989. Herbage production of a Mediterranean grassland in relation to soil depth, rainfall and nitrogen nutrition: A simulation study. *Ecological Modelling* **47**: 303-311.
 21. Seligman NG and Sinclair TR. 1995. Climate change, interannual weather differences and conflicting responses among crop characteristics: The case of forage quality. *Global Change Biology* **1**: 157-160.
 22. Singer A. 2007. The Soils of Israel. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
 23. Sternberg M, Gutman M, Perevolotsky A, and Kigel J. 2003. Effects of grazing on soil seed bank dynamics: An approach with functional groups. *Journal of Vegetation Science* **14**: 375-386.
 24. Sternberg M, Gutman M, Perevolotsky A, et al. 2000. Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: A functional group approach. *Journal of Applied Ecology* **37**: 224-237.
 25. Sternberg M, Holzapfel C, Tielbörger K, et al. 2011. The use and misuse of climatic gradients for evaluating climate impact on dryland ecosystems – An example for the solution of conceptual problems. In: Blanco J and Kheradmand H (Eds). Climate change – Geophysical foundations and ecological effects. InTech.
 26. Swemmer AM, Knapp AK, and Snyman HA. 2007. Intra-seasonal precipitation patterns and above-ground productivity in three perennial grasslands. *Journal of Ecology* **95**: 780-788.
 27. Tietjen B and Jeltsch F. 2007. Semi-arid grazing systems and climate change: A survey of present modeling potential and future needs. *Journal of Applied Ecology* **44**: 425-434.
 28. Weltzin JF, Loik ME, Schwinning S, et al. 2003. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *BioScience* **53**: 941-952.
 29. Wiegand T, Snyman HA, Kellner K, and Paruelo JM. 2004. Do grasslands have a memory: Modeling phytomass production of a semiarid South African grassland. *Ecosystems* **7**: 243-258.
 30. Yahdjian L and Sala OE. 2002. A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall. *Oecologia* **133**: 95-101.

