

דוח מסכם לתכנית מחקר מספר 11-0318-277

השפעת שינוי אקלים על כושר הנשיאה של השטחים הפתוחים בישראל

The expected effect of climate change on the carrying capacity of rangeland ecosystems in Israel

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות
ע"י

המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני	דוד אונגר
המחלקה לביולוגיה מולקולרית ואקולוגיה של צמחים, הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וייז, אוניברסיטת תל-אביב	מרסלו שטרנברג
המכון למדעי הצמח, וגנטיקה בחקלאות, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים	חיים קיגל
המכון לחקלאות וביוטכנולוגיה של אזורים צחיחים ע"ש שוחרי צרפת, המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב	ברט בוקן
מו"פ צפון	עמית דולב
פארק רמת הנדיב	ליאת הדר
מרכז מחקר אזורי נוה-יער, מינהל המחקר החקלאי	זלמן הנקין
המחלקה לחקלאות חרבה ושטחים פתוחים, מרכז מחקר גילת, מינהל המחקר החקלאי	אלי צעדי
היחידה לשימור קרקע וניקוז, מחוז המרכז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר	יצחק בצלאל

Eugene David Ungar, Department of Field Crops of Natural Resources, Institute of Plant Sciences, ARO - the Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250. E-mail: eugene@volcani.agri.gov.il

Marcelo Sternberg, Department of Molecular Biology and Ecology of Plants, The George S. Wise Faculty of Life Sciences, Tel-Aviv University, P.O.B. 39040, Tel-Aviv 69978. E-mail: MarceloS@tauex.tau.ac.il

Jaime Kigel, Robert H. Smith Institute of Plant Sciences and Genetics in Agriculture, Robert H. Smith Faculty of Agriculture, Food and Environment, The Hebrew University of Jerusalem, P.O.B. 12, Rehovot 76100. E-mail: kigel@agri.huji.ac.il

Bertrand Boeken, The Wyler Department of Dryland Agriculture, The Jacob Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Sede-Boqer Campus 84990. E-mail: bboeken@bgu.ac.il

Amit Dolev, Northern R&D, Agro Innovation Migal, Southern Industrial Area, P.O.B. 831, Kiryat Shmona 11016. E-mail: amit.dolev12@gmail.com

Liat Hadar, Research Department, Ramat Hanadiv Nature Park, P.O.B. 325, Zikhron Ya'akov 30900. E-Mail: liat@ramathanadiv.org.il

Zalmen Henkin, Newe Ya'ar Regional Center, ARO, P.O.B. 1021, Ramat Yishai 30095. E-mail: henkinz@volcani.agri.gov.il

Eli Zaady, Department of Dry Land Farming, Gilat Regional Research Center, ARO, Mobile Post Negev 85280. E-mail: zaadye@volcani.agri.gov.il

Itzhak Bezalel, Soil Conservation Unit, Central District Offices, David Shimoni 35, Hadera 38364. E-mail: Itzhakb@moag.gov.il

תקציר

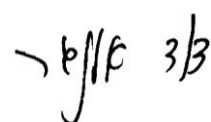
הצגת הבעיה: האקלים הישראלי צפוי להיות צחיח יותר בעקבות שינויי אקלים ולא ברור ההשלכות של שינויים אלה לגבי השטחים הפתוחים של המדינה. **מטרות המחקר:** לאמוד את ההשפעה הצפויה של שינויי אקלים על הייצור של הצומח העשבוני ועל כושר הנשיאה של השטחים הפתוחים.

שיטות העבודה: נבנה מסד הנתונים הגדול ביותר שהוקם בארץ עד כה בנושא ייצור ראשוני ובו נתוני ייצור ואקלים מעשרה אתרים לאורך מפל הגשם שבהם התנהל ניטור ארוך טווח. נעשו ניתוחים סטטיסטיים של קשר אקלים – יבול צומח עשבוני, ונעשה חיזוי לגבי השפעת שינויי אקלים על היבול. נבדק הקשר בין אקלים ואיכות (ערך מזוני) של הצומח. נחקרו הקשרים בין גשם, עוצמת הנביטה, יבול המרעה. נבחן הקשר בין אקלים לייצור בע"ח. הופעל מודל ביו-כלכלי כדי להעריך את השפעת שינויי אקלים על כושר הנשיאה של שטחי המרעה וכן על ייצור בע"ח ורווחיות. **תוצאות עיקריות:** יש אזורים שבהם קיימת תגובה חזקה של ייצור צומח עשבוני למשטר הגשמים, ויש אזורים שבהם התגובה חלשה או לא קיימת. בדרום, כתוצאה מירידה בכמות הגשמים ועלייה בשונות בין שנתית, צפויה פגיעה משמעותית בייצור הראשוני וביציבות הייצור. בצפון, כאשר יש כיסוי משמעותי של צומח מעוצה, לא צפויה פגיעה בייצור של הצומח העשבוני בטווח הקצר. אבל רצף של בצורות עלול לגרום לתמותה של צומח מעוצה ושינוי לרע בתפקוד המערכת. בנוף שרובו צומח עשבוני, צפויה פגיעה משמעותית בייצור הראשוני אבל לא ביציבות הבין שנתית. תנאים צחיחים מקטינים את איכות הצומח העשבוני בשיא העונה הירוקה. באזור שמגיב לגשם, כושר הנשיאה נפגע בתסריטים של שינויי אקלים. פגיעה ביצרנות ובאיכות הצומח מקטינה מאוד את המרחב שבו החלטות ממשק יסודיות מאפשרות מאזן חיובי. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** באזורים הרגישים למשטר הגשמים לחצי רעיה צפויים לרדת בצורה משמעותית כתוצאה משינויי אקלים. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים טובים, צפויה השפעה שלילית חזקה על רווחיות העדר בתגובה להשפעות המשולבות של ירידה במשטר הגשמים על יבול המרעה ואיכותו. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים בינוניים, התסריט של שינויי אקלים מטיל בספק את רווחיות העדר.

הצהרת החוקר הראשי

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר:  3/11/12

דצמבר 2012

טבת תשע"ג

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר

מאמרים שעברו ביקורת מדעית:

דה מלאך, נ., אונגר, י.ד., פוט, ה., יונתן, ר., ברקאי, ד., בן משה, ע., ברעם, ח., קיגל, ח. (2012) רעייה ובצורת בספר המדבר - מגמות ארוכות טווח בכיסוי הצומח המעוצה. *אקולוגיה וסביבה* 3(2), 166-173.

גולודיטש, ק., שטרנברג, מ., קיגל, ח., בוקן, ב., דולב, ע., הדר, ל., הנקין, ז., צעדי, א., בצלאל, י., ארנון, א., זליגמן, נ., אונגר, י.ד. (2012) הקשר בין כמויות הגשם לייצור ראשוני בשטחי מרעה לאורך מפל הגשם בישראל והשלכותיו לאור שינויי אקלים צפויים. *אקולוגיה וסביבה* (התקבל).

מאמר הוגש לעיתון Climatic Change (המאמר נמצא בתהליך שיפוט אחרי תיקונים):
Golodets, C., Sternberg, M., Kigel, J., Boeken, B., Henkin, Z., Seligman, N.G., Ungar, E.D.
From Mediterranean to desert rangelands: Will increasing drought and rainfall variability affect herbaceous annual primary productivity?

כנסים:

Ungar, E.D. (2010) Management challenges of animal production on semiarid and Mediterranean rangelands. p. 96 in Book of Abstracts of the 61st Annual Meeting of the European Association for Animal Production. August 23rd - 27th, 2010, Heraklion, Greece.

de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2011) Shrubs subjected to grazing and drought - resilience or collapse? Long-term trends in the cover of woody vegetation in a semiarid region. p. 159 in Proceedings 39th Annual Conference of the Israel Society of Ecology and Environmental Sciences, June 27-28, 2011, Megiddo Regional Council.

Golodets, C., Ungar, E.D. and Sternberg, M. (2011) The effects of climate change on rangelands: An integrative analysis of primary productivity along the rainfall gradient in Israel. p. 158 in Proceedings 39th Annual Conference of the Israel Society of Ecology and Environmental Sciences, June 27-28, 2011, Megiddo Regional Council.

de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2012) The response of shrubs to grazing and drought – resilience or collapse? Long-term trends in a semiarid region. p. 18–19 in Proceedings 20th Conference of the Israel Rangeland Science Society, March 26, 2012. (Hebrew).

Golodets, C., Sternberg, M., Kigel, J., Boeken, B., Dolev, A., Hadar, L., Henkin, Z., Zaady, E., Bezalel, Y., Arnon, A., Seligman, N. and Ungar, E.D. (2012) Trends in biomass production along the rainfall gradient in Israel. p. 20–28 in Proceedings 20th Conference of the Israel Rangeland Science Society, March 26, 2012. (Hebrew).

Sternberg, M., Golodets, C., Kigel, J., Boeken, B., Henkin, Z., Seligman, N.G. and Ungar, E.D. (2012) From desert to Mediterranean rangelands: Will increasing drought and rainfall variability affect herbaceous annual primary productivity? 4th International Conference on Drylands, Deserts and Desertification. November 12–15, 2012, Sede Boqer, Israel.

ימי עיון

גולודיטש, ק., שטרנברג, מ., קיגל, ח., בוקן, ב., פריאנטה, ש., דולב, ע., הדר, ל., הנקין, ז., צעדי, א., בצלאל, י., אונגר, י.ד. (2011) האם יותר גשם שווה יותר ביומסה? מעקב ארוך-טווח לאורך מפל הגשם בישראל. הרצאה במסגרת יום עיון בנושא ניטור ארוך טווח ברמת הנדיב.

תוכן עניינים

5	תקציר
6	1 מבוא
7	2 פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו.....
	2.1 מודל של ייצור ראשוני על סמך נתוני צומח ואקלים רב- שנתיים וחיזוי השפעת שינוי אקלים על יבול הצומח
7	העשבוני.....
7	2.1.1 תיאור אתרי המחקר
8	2.1.2 איסוף הנתונים.....
8	2.1.3 שיטת הקציר
9	2.1.4 מדדים
10	2.1.5 תוצאות
13	2.2 חיזוי השפעת שינוי אקלים על איכות המרעה
	2.3 הקשר בין גשם ועוצמת הנביטה של הצומח העשבוני, והקשר בין עוצמת הנביטה ויבול המרעה
15	2.4 הקשר בין אקלים לייצור בעלי חיים.....
18	2.5 השפעת שינוי אקלים על כושר הנשיאה של שטחי המרעה
19	2.6 בחינת תסריטים רב-שנתיים באמצעות מודל ביו-כלכלי
20	3 דיון.....
21	4 פרסומים מדעיים.....
23	5 תודות למממנים.....
23	6 סיכום עם שאלות מנחות

דו"ח המחקר

תקציר

הצגת הבעיה: האקלים הישראלי צפוי להיות צחיח יותר בעקבות שינויי אקלים ולא ברור ההשלכות של שינויים אלה לגבי השטחים הפתוחים של המדינה. **מטרות המחקר:** לאמוד את ההשפעה הצפויה של שינוי אקלים על הייצור של הצומח העשבוני ועל כושר הנשיאה של השטחים הפתוחים.

שיטות העבודה: נבנה מסד הנתונים הגדול ביותר שהוקם בארץ עד כה בנושא ייצור ראשוני ובו נתוני ייצור ואקלים מעשרה אתרים לאורך מפל הגשם שבהם התנהל ניטור ארוך טווח. נעשו ניתוחים סטטיסטיים של קשר אקלים – יבול צומח עשבוני, ונעשה חיזוי לגבי השפעת שינוי אקלים על היבול. נבדק הקשר בין אקלים ואיכות (ערך מזוני) של הצומח. נחקרו הקשרים בין גשם, עוצמת הנביטה, ויבול המרעה. נבחן הקשר בין אקלים לייצור בע"ח. הופעל מודל ביו-כלכלי כדי להעריך את השפעת שינוי אקלים על כושר הנשיאה של שטחי המרעה וכן על ייצור בע"ח ורווחיות. **תוצאות עיקריות:** יש אזורים שבהם קיימת תגובה חזקה של ייצור צומח עשבוני למשטר הגשמים, ויש אזורים שבהם התגובה חלשה או לא קיימת. בדרום, כתוצאה מירידה בכמות הגשמים ועלייה בשונות בין שנתית, צפויה פגיעה משמעותית בייצור הראשוני וביציבות הייצור. בצפון, כאשר יש כיסוי משמעותי של צומח מעוצה, לא צפויה פגיעה בייצור של הצומח העשבוני בטווח הקצר. אבל רצף של בצורות עלול לגרום לתמותה של צומח מעוצה ושינוי לרע בתפקוד המערכת. בנוף שרובו צומח עשבוני, צפויה פגיעה משמעותית בייצור הראשוני אבל לא ביציבות הבין שנתית. תנאים צחיחים מקטינים את איכות הצומח העשבוני בשיא העונה הירוקה. באזור שמגיב לגשם, כושר הנשיאה נפגע בתסריטים של שינוי אקלים. פגיעה ביצרנות ובאיכות הצומח מקטינה מאוד את המרחב שבו החלטות ממשק יסודיות מאפשרות מאזן חיובי. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** באזורים הרגישים למשטר הגשמים לחצי רעיה צפויים לרדת בצורה משמעותית כתוצאה משינוי אקלים. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים טובים, צפויה השפעה שלילית חזקה על רווחיות העדר בתגובה להשפעות המשולבות של ירידה במשטר הגשמים על יבול המרעה ואיכותו. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים בינוניים, התסריט של שינוי אקלים מטיל בספק את רווחיות העדר.

1 מבוא

האקלים הישראלי צפוי להיות צחיח יותר בעקבות שינויי אקלים. צפויים אירועי מזג אוויר קיצוניים יותר, כולל עלייה במספר אירועי גשם קיצוניים. ההבדלים בכמות הגשם בין שנה לשנה צפויים להחריף, עם שנים גשומות מאוד לצד שנות בצורת. צפויה עלייה בטמפרטורה וכן בריכוז CO_2 באטמוספירה. מטרת המחקר היא לאמוד את ההשפעה הצפויה של שינויי אקלים על כושר הנשיאה של השטחים הפתוחים בארץ. המטרות הספציפיות הן: א. לבנות מודל סטטיסטי ומודל דינאמי של ייצור ראשוני על סמך נתוני צומח ואקלים רב-שנתיים מ-10 אתרים לאורך מפל הגשם, ולחזות את ההשפעה של שינויי אקלים על יכול הצומח העשבוני. ב. לחזות את השפעת שינויי אקלים על איכות המרעה. ג. לחקור את הקשר בין גשם ועוצמת הנביטה של צומח חד-שנתי, ואת הקשר בין עוצמת הנביטה ויכול המרעה, בהקשר של שינויי אקלים. ד. לבחון את הקשר בין אקלים לייצור בע"ח (בקר לבשר במרעה). ה. להשתמש במודל ביו-כלכלי של מערכות רעיה כדי לבחון תסריטים רב-שנתיים שונים של יכול ואיכות צומח עשבוני מבחינת ייצור בע"ח (בקר וצאן) ורווחיות. ו. להשתמש במודל הנ"ל כדי להעריך את השפעת שינויי אקלים על כושר הנשיאה של שטחי המרעה באזורים שונים בארץ, ולאמוד את ההשלכות הכלכליות של שינויים אלה לענף גידול בע"ח במרעה.

צפי מדויק לגבי שינויי אקלים אין, והתחזיות שהתפרסמו לא עוסקות ברזולוציה המרחבית של המחקר הנוכחי. ולכן הפעלנו תסריטים דומים של שינויים צפויים לאורך מפל הגשם. מחקרים בנושא שינויי אקלים חוזים עתיד יבש למזרח התיכון, עם ירידה של עד כ-20% בכמויות הגשם השנתיות עד שנת 2050. בנוסף, התפלגות הגשם – בתוך העונה ובין שנים – צפויה להקצין, וצפויים עלייה בעצמת אירועי הגשם עם תקופות יובש ארוכות יותר ביניהם במהלך העונה, והופעת רצפים ארוכים יחסית של שנות בצורת ושנים גשומות מאוד, לסירוגין. כמו כן, צפויה עלייה של לפחות 1.5 מעלות צלזיוס בטמפרטורה הממוצעת עד שנת 2050, ועלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה.

כמויות הגשם, הטמפרטורה וריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה, משפיעים באופן ישיר על תהליכי צמיחה, ולכן שינויים במשתנים אלה צפויים להשפיע רבות על המערכות האקולוגיות ועל השירותים שהן מספקות, ובכללם הייצור הראשוני, וכן על הפיזור המרחבי, המגוון, וההרכב של הצומח. בהקשר של מערכות מרעה, שינויי אקלים עשויים להשפיע לא רק על היצרנות של שטחי מרעה, אלא גם על איכות המרעית (הצומח המהווה מזון לבעלי החיים הרועים) – שני גורמים משמעותיים בקביעת כושר הנשיאה של המערכת לעדרים.

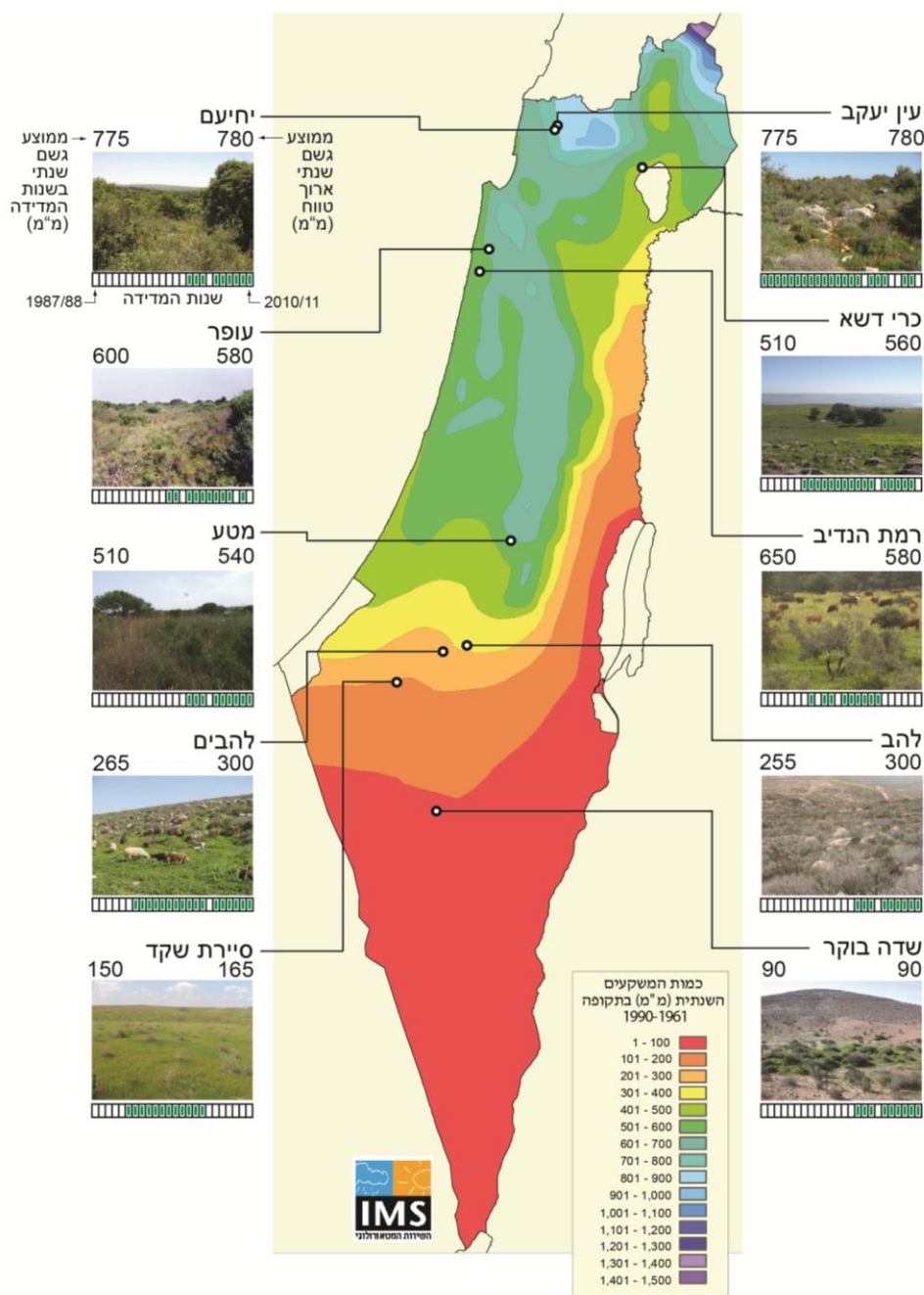
ההבדלים בין מערכות אקולוגיות שונות, ומורכבות התגובה של הייצור הראשוני לגשם, מקשים מאוד על ניסוח תחזיות לשינויים באזורים שונים, ואימותן בשטח. מודל לצורך זה נוסח בעבר עבור שטחי מרעה ים תיכוניים, אך לא נבדק לאורך כל מפל הגשם. במחקר זה, אנו מציגים את הניתוח הראשון מסוגו בישראל על סמך מסד נתונים מקיף של נתונים מהשטח. השתמשנו בנתונים מאתרי דיגום לאורך מפל הגשם בישראל, בהם התקיים מעקב ארוך-טווח על הייצור הראשוני. עסקנו בעיקר בביומסה של הצומח העשבוני מפאת חשיבותו למרעה.

2 פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו

2.1 מודל של ייצור ראשוני על סמך נתוני צומח ואקלים רב-שנתיים וחיזוי השפעת שינוי אקלים על יבול

הצומח העשבוני

2.1.1 תיאור אתרי המחקר: אבן הפינה של המחקר היא נתונים אמפיריים לגבי ייצור ראשוני בשטחים פתוחים באזורים שונים של הארץ. ישנם 10 אתרים, פזורים לאורך מפל הגשם, שבהם התנהל ניטור ארוך טווח של ייצור ראשוני. אספנו את הנתונים ההיסטוריים מכל האתרים למסד נתונים אחד, וגם המשכנו בהרחבת בסיס הנתונים בתקופת המחקר. אספנו את הנתונים המטאורולוגיים שהיו זמינים בכל אתר והשלמנו את החסר בנתונים מהרשות המטאורולוגית. איור 1 מראה את מיקום האתרים על מפת הגשם של ישראל, את השנים שעבורן מדדנו ואספנו נתוני ייצור, ותמונה של נופ אופייני.



איור 1. מיקום אתרי המחקר על מפת הגשם של ישראל ותמונות נופ אופייניות. המפה מייצגת את הממוצע הרב-שנתי של הגשם לשנים 1990-1961 (באדיבות השירות המטאורולוגי הישראלי).

עשרת אתרי המחקר ממוקמים משדה בוקר בדרום (כ-90 מ"מ גשם), ועד עין יעקב בצפון (כ-780 מ"מ גשם). צומח עשבוני מהווה מרכיב חשוב בכל האתרים, אם כי חשיבותו ביחס לצומח המעוצה יורדת מדרום לצפון. באתר כרי דשא אין צומח מעוצה אלא כיסוי של כ-40% של המיקרופיטופיטים (עשבוניים רב-שנתיים). השכיח מביניהם והמין הדומיננטי בצומח הינו שעורת הבולבוסין, דגן רב-שנתי, המעודף על-ידי הבקר, ואילו שאר המיקרופיטופיטים מהווים עבורו מקור מזון משני בלבד. בחלק מהאתרים מתקיים ממשק רעייה, לצורך חקלאי או כממשק נגד שריפות. ברוב האתרים ישנה היסטוריה של רעייה – על-ידי בקר בצפון הארץ או צאן בדרומה.

2.1.2 איסוף הנתונים: אתרי מחקר אלה נבחרו משום שהתנהל בהם מעקב ארוך-טווח (בין 9 – 23 שנים) על ייצור הביומסה העשבונית. טבלה 1 מסכמת את עיקרי המאפיינים לגבי מבנה הניסוי ודיגום הביומאסה בכל אתר. בכל אתר מדידות הביומסה התבצעו במסגרת ניסויית, במבנה של טיפולים וחזרות – מכל אתר נאספו נתונים מניסוי אחד, למעט האתר פארק סיירת שקד עם שלושה ניסויים שונים. החזרה היא חלקה הכוללת מספר מטרים רבועים ועד מאות דונמים, כאשר ישנן בין 2 ל-8 חלקות לכל טיפול בכל אתר. בכדי לייצג את ההטרוגניות המרחבית של השטח, נקצרו בכל חלקה, בכל מועד דיגום, מספר ריבועי דיגום. הואיל והדגש במחקר הנוכחי הינו על תגובת הצומח הטבעי לגשם – ללא השפעת רעייה או מניפולציות אחרות, נעשה שימוש בנתונים מחלקות ביקורת בלבד. בשני אתרים חרגנו קמעה ממדיניות זו. בכל האתרים השתמשנו בנתוני ביומסה שנמדדו בשיא העונה, המהווה מדד טוב לייצור הראשוני במערכות עשבוניות. בסך הכל, מספר הדגימות במסד הנתונים עליו מבוסס מאמר הינו הגדול ביותר שנאסף עד כה בישראל ועומד על 31,831, והוא מתפרס על פני השנים 1988-2011.

2.1.3 שיטת הקציר: בכל האתרים, הביומסה העשבונית נקצרה בריבועים של 20×20 ס"מ או 25×25 ס"מ, וחושב ייצור הביומסה העשבוני בגרם חומר יבש למ"ר. באחד הניסויים בפארק סיירת שקד היו ריבועים של 1×1 מ'. בחלק מהאתרים (עין יעקב, כרי דשא, עופר, רמת הנדיב, להבים), הביומסה נקצרה בעזרת מזמרה קרוב לפני הקרקע, ואילו באתרים אחרים (יחיעם, מטע, להב, שדה בוקר), הביומסה נקצרה על-ידי תלישת הצמחים ו/או חיתוכם עד 1 ס"מ מתחת לפני הקרקע. בשלושת הניסויים בפארק סיירת שקד, כל שיטות הדיגום באו לידי שימוש. בשיטת התלישה, שורשים שהוצאו הוסרו מהצמח לפני השקילה, למעט בניסוי אחד בפארק סיירת שקד בו השורשים נכללו בעת השקילה. ההבדלים בשיטת הקצירה נבעו ממטרותיה. הבדלים אלה יצרו בעיה בהשוואות בין אתרים, מכיוון שלא היה מכנה משותף להערכות ייצור הביומסה מכל האתרים. על מנת לפתור בעיה זו, פיתחנו שיטה אחידה לדיגום הצומח בכל האתרים בעונת 2010/11. הצומח נדגם בכל אתר בזוגות של ריבועים צמודים באותו כתם צומח, כאשר באחד הריבועים הצומח נדגם לפי השיטה הנהוגה באותו אתר, ובריבוע השני על-ידי חיתוך הצמחים צמוד לפני הקרקע. בדרך זו נדגמו בערך 20 זוגות בכל אתר, בכתמי צומח המייצגים את טווח היצרנות העשבונית באותו אתר. לכל אתר, ביצענו רגרסיה אורתוגונאלית בכדי להשוות בין שיטות הדיגום. באתר פארק סיירת שקד, הדיגום האחיד נערך רק עבור הניסוי בו הוצאו צמחים שלמים. עבור שני הניסויים האחרים השתמשנו

ברגרסיות מאתרי להבים ולהב בהתאם לשיטת הדיגום של כל ניסוי. על סמך הרגרסייה בין שתי שיטות הדיגום, תוקנו הנתונים של עונת 2010/11 וגם הנתונים ההיסטוריים. תיקון זה מאפשר השוואה ישירה של הייצור באתרים השונים, לרבות ניתוח אינטגרטיבי המשלב את כל האתרים יחד.

טבלה 1. סיכום מאפיינים של מבנה הניסוי ודיגום הביומסה בכל אתר

אתר	ביומסה – שנים	טיפולים	גודל חלקות	שיטת דיגום	מספר חלקות	גודל ומספר ריבועים
עין יעקב	1988-2002, 2004-2006, 2009 (רק ביקורת הרביציד), 2010	הרביציד וזרחן עם אינטרקציות; סה"כ 7 טיפולים	10 X 10 מ"ר	שיא העונה	5 חלקות בכל טיפול = 35 חלקות	25 X 25 ס"מ; 5 בכל חלקה
יחיעם	2002-2004, 2006-2009	אין	5 דונם	שיא העונה	5 חלקות בכל טיפול	20 X 20 ס"מ; 10 בכל חלקה
כרי דשא	1994-2010	רעייה – 3 לחצי רעייה ו-2 עונות רעייה; סה"כ 6 טיפולים וביקורת	רעייה – 100-300 דונם; ביקורת – 3-21 דונם	שיא העונה	12 עם רעייה, 2 ביקורות. 1994: 15 חז' ברעייה. 1995-2010: 20 חז' ברעייה. 1994-2002: 10 חז' בביקורת. 2003-2004: 25-26 חז' בביקורת. 2005-2010: 20 חז' בביקורת	25 X 25 ס"מ; 20 בכל חזרה
עופר	1998-2009 למעט 2000, 2008	אין רעייה לפני מועד הדיגום				
רמת הנדיב	1990-2009	רעייה – 9 בתי גידול; לא כולם עשבוניים. עבור 3 בתי גידול קיימת גם חלקת ביקורת	אין מדידות גודל משתנה בין עשרות למאות דונמים לחלקה.	מספר פעמים במשך העונה	חלקה אחת לכל בית גידול; מספר מועדי הדיגום נע בין 4-7	25 X 25 ס"מ; 10 בכל בית גידול בכל מועד דיגום
מטה	2002-2004, 2006-2009	גשם – השקיה, בצורת וביקורת	15 דונם	שיא העונה	5 חלקות בכל טיפול	20 X 20 ס"מ; 10 בכל חלקה
אשכולות	2002-2004, 2006-2009	גשם – השקיה, בצורת וביקורת	15 דונם	שיא העונה	5 חלקות בכל טיפול	20 X 20 ס"מ; 10 בכל חלקה
להבים	1988-2009	רעייה – 4 בתי גידול ו-3 מרחקים מהמכלאה. גדרות ללא רעייה מעונת 1993/94	רעייה חפשית בכל השטח; גדרות ללא רעייה	מספר פעמים במשך העונה	אין חלקות. מספר מועדי הדיגום אינו קבוע ונע בין 5 ל-15. גדרות ללא רעייה בגודל 10 X 10 מ' (מ-1993/94) וגם 5 X 10 מ' (מ-1994/95, ומ-1995/96).	25 X 25 ס"מ; 8-30 בכל חזרה (קציר), 100~ בכל חזרה (אומדן עין)
סיירת שקד	2009-2010 – לא סופי	אין	אין חלקות: יש מרובעים מוגדרים של 6 X 6 מ'	שיא העונה	27 מרובעים בכל השטח	10 X 10 ס"מ; 3 בכל מרובע (2009) או 2 בכל מרובע (2010)
שדה בוקר	2002-2004, 2006-2009	אין	5 דונם	שיא העונה בלבד	5 חלקות בכל טיפול	20 X 20 ס"מ; 20 בכל חלקה

2.1.4 מדדים: מלבד השוואות ישירות בין ייצור הביומסה וכמות הגשם, הספרות מציעה שני מדדים היכולים ללמד אותנו על הקשר בין שני משתנים אלו. המדד הראשון, יעילות השימוש בגשם (RUE – rainfall use efficiency) מוגדר כיחס בין ייצור הביומסה לגשם. מדד זה אמור לעלות עם כמות הגשם עד שהוא מגיע לרוויה עקב גורמים סביבתיים אחרים שמגבילים את היצרנות. המדד השני, יחס ההשתנות של הביומסה לגשם (PRVR – production to rain variability ratio), מלמד על יציבות מערכת הייצור, והוא מוגדר כיחס בין מקדם השונות (CV - coefficient of variation) של הביומסה למקדם

השונות של הגשם (מקדם השונות מוגדר כיחס בין סטיית התקן לממוצע, ומבוטא באחוזים). PRVR צפוי להיות גבוה מ-1 באזורים יבשים, המאופיינים ברצפים של שנים יבשות או לחות, ותגובת הביומסה לשינויים בגשם מתעצמת משנה לשנה. באזורים לחים, PRVR צפוי להיות נמוך מ-1 מכיוון שאין רצפים של שנים יבשות או לחות, ולכן תגובת הביומסה לשינויים בגשם לא משמעותית.

2.1.5 תוצאות

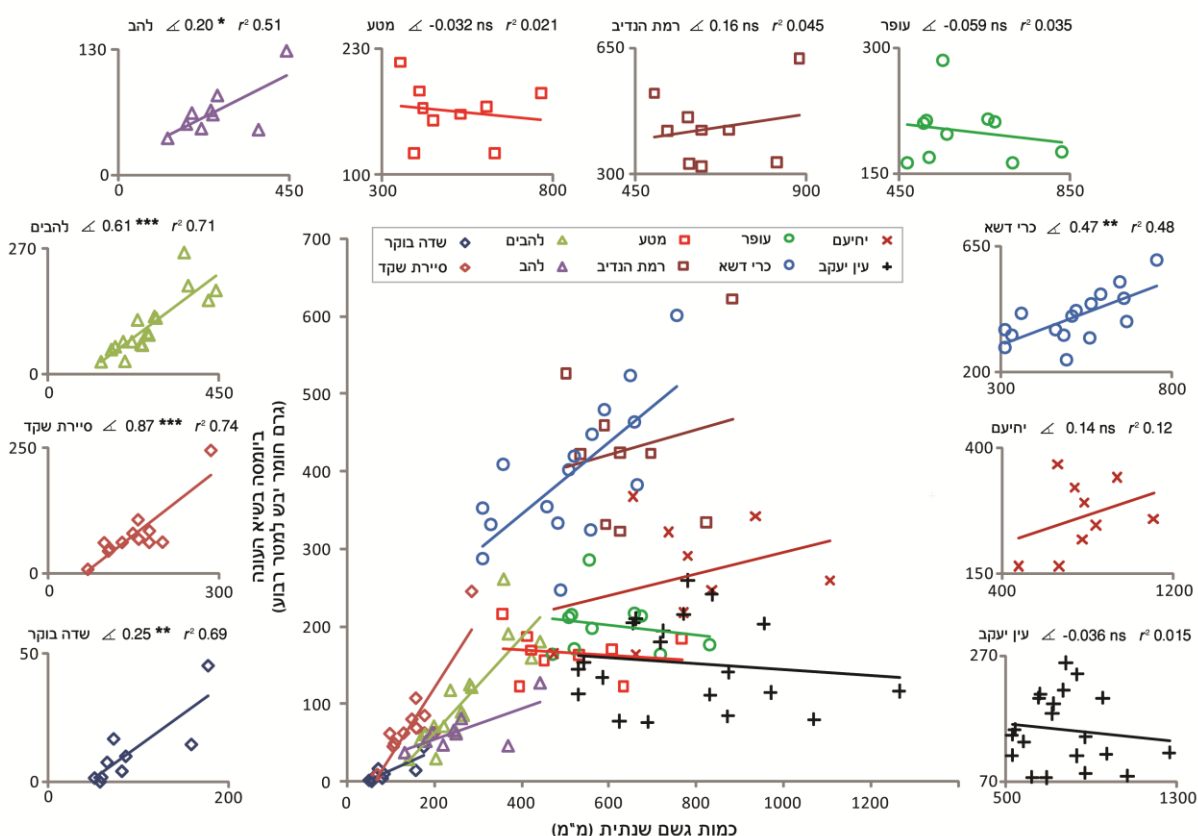
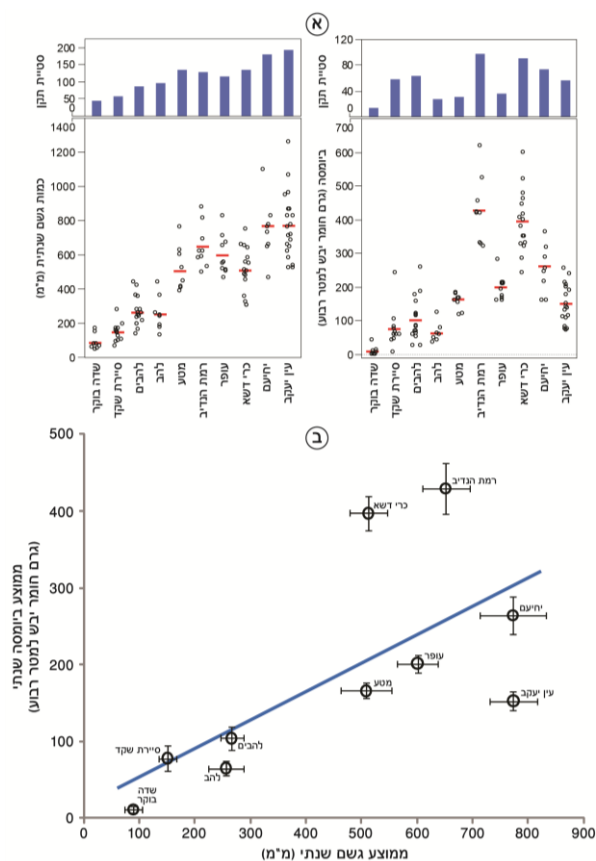
כמות הגשם השנתית הממוצעת וסטיית התקן שלה עולות לאורך מפל הגשם מדרום לצפון (איור 2א). מגמות השינוי בייצור הביומסה העשבונית לאורך מפל הגשם פחות ברורות (איור 2ב), בגלל פערים גדולים בטווח ערכי ייצור הביומסה בין אתרים בעלי כמויות גשם דומות – לדוגמה להב לעומת להבים או מטע לעומת כרי דשא. בדיקת הקשר בין ממוצעים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

יעילות השימוש הממוצעת בגשם של כל האתרים הייתה $0.39 (\pm 0.067)$ גרם למ"ר למ"מ גשם. מדד זה עלה 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 יעילות השימוש בגשם הייתה גבוהה יחסית (0.80 ו- 0.68 גרם למ"ר למ"מ גשם, בהתאמה).

מקדמי השונות הבין-שנתית, הן של כמות הגשם והן של ייצור הביומסה, פחתו מאוד במעבר מהאתרים היבשניים לאתרים הלחים, אך השתנו מעט בין האתרים הלחים (למעלה מ-500 מ"מ גשם) (איור 5א). כיוון שמקדם השונות מהווה מדד לאי-וודאות 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 וכמות הגשם היה למעלה מ-1 באתרים היבשניים (פרט לאתר להב, שהיה קרוב ל-1), ואילו באתרים הלחים יחס זה היה 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.

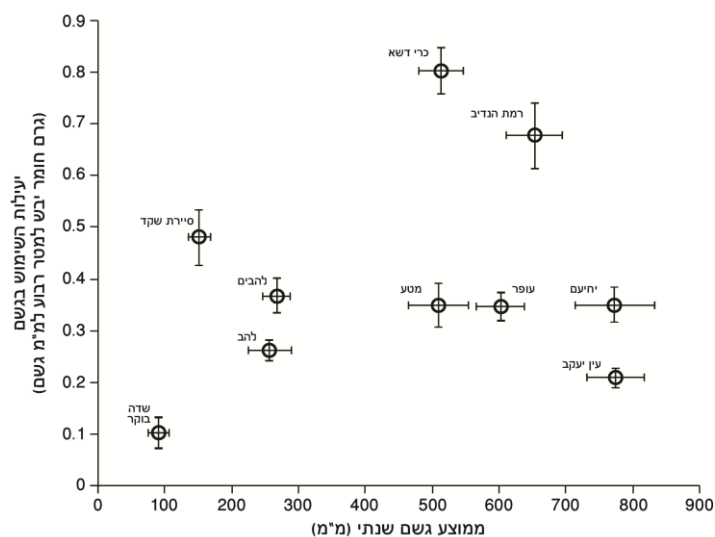
נבחנו תסריטים שונים של שינויים במשטר הגשם – ירידה ב-20%, עם או בלי עלייה בשונות בגשם, כאשר העלייה בשונות מחושבת בשלוש דרכים שונות: א) שינוי בסטיית תקן (SD) ללא שינוי במקדם השונות (CV), ב) שינוי ב-CV ללא שינוי ב-SD, ג) שינוי הן ב-CV והן ב-SD. התוצאות עבור חמשה האתרים שבהם התקבל קשר מובהק בין כמות הגשם השנתי לבין הייצור מובאות בטבלה 2.

איור 2. כמות הביומסה העשבונית בשיא העונה (ממוצע $\pm$ שגיאת תקן) כפונקציה של כמות הגשם השנתית (ממוצע $\pm$ שגיאת תקן) לאורך מפל הגשם בישראל. א) הערכים השנתיים עבור הגשם (משמאל) והביומסה (מימין) לכל אתר: הממוצע שלהם (קו אדום) וסטיית התקן (עמודות כחולות). האתרים מסודרים לפי מיקום גאוגרפי מדרום לצפון. ב) הרגרסיה הליניארית בין כמות הביומסה לכמות הגשם ($R^2 = 0.449$; $P = 0.0193$).

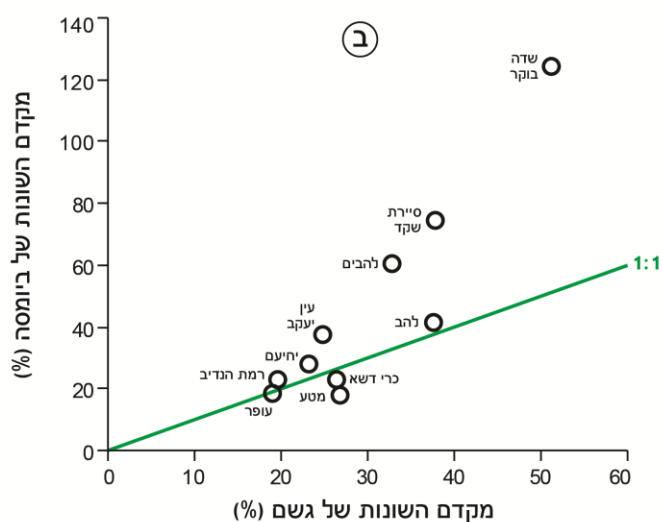
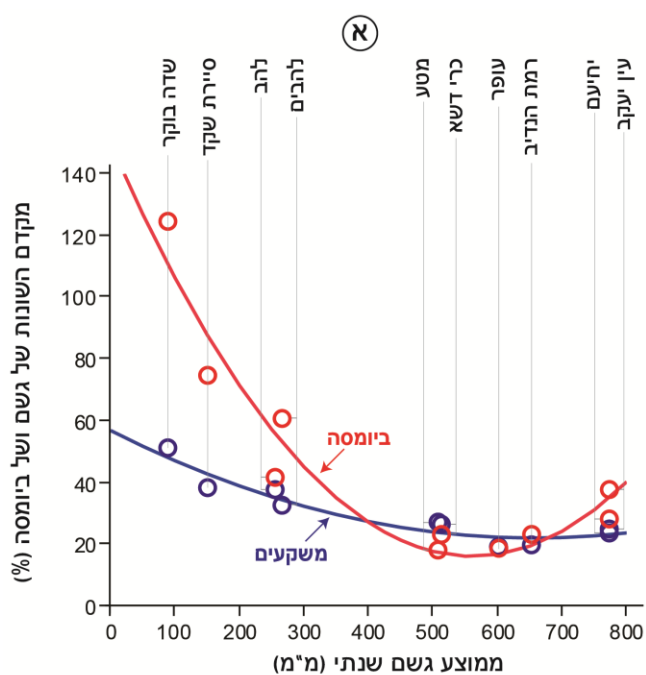


איור 3. כמות הביומסה העשבונית בשיא העונה כפונקציה של כמות הגשם השנתית, בכל אחד מעשרת אתרי המחקר לאורך מפל הגשם בישראל. מתחת לשם האתר או לידו מופיע השיפוע של קו הרגרסיה בין הייצור והגשם ורמת מובהקות השיפוע ($P < 0.0001 = ***$; $P < 0.01 = **$; $P < 0.05 = *$; ns = לא מובהק).

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



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 הראשון. (ב) הקשר בין מקדמי השונות של הביומסה והגשם.



טבלה 2: סיכום תוצאות של סימולציה של ייצור ביומאסה עשבונית בתסריטי שינויי אקלים שונים

		אתר				
		שדה בוקר	סיירת שקד	להבים	להב	כרי דשא
נתוני שדה						
גשם	ממוצע	89	151	266	255	512
	SD	46	57	87	96	135
	CV	51	38	33	37	26
ביומאסה	ממוצע	11	78	104	65	397
	SD	14	58	63	27	91
	CV	124	74	61	41	23
סימולציה – ללא שינוי						
גשם	ממוצע	90	151	266	252	513
	SD	46	56	85	93	134
	CV	51	37	32	37	26
ביומאסה	ממוצע	11	78	104	64	397
	SD	12	49	52	19	63
	CV	102	62	50	29	16
סימולציה – 20% פחות גשם; SD ללא שינוי						
גשם	ממוצע	72	122	218	200	412
	SD	44	56	90	97	131
	CV	61	45	41	49	32
ביומאסה	ממוצע	7	53	74	54	350
	SD	11	49	55	19	61
	CV	164	92	74	36	17
סימולציה – גשם ללא שינוי; עלייה של 20% ב-SD						
גשם	ממוצע	90	147	267	256	515
	SD	54	69	108	116	161
	CV	60	47	40	45	31
ביומאסה	ממוצע	11	75	105	65	398
	SD	14	60	66	23	75
	CV	121	80	63	36	19
סימולציה – 20% פחות גשם; עלייה של 20% ב-SD						
גשם	ממוצע	70	120	214	203	411
	SD	55	69	108	116	162
	CV	78	57	50	57	39
ביומאסה	ממוצע	6	51	72	55	350
	SD	14	60	66	23	76
	CV	221	118	92	43	22
סימולציה – 20% פחות גשם; מקדם השונות ללא שינוי						
גשם	ממוצע	71	119	214	211	409
	SD	37	44	70	75	106
	CV	52	37	33	35	26
ביומאסה	ממוצע	7	50	72	56	349
	SD	9	39	43	15	49
	CV	144	78	59	27	14

2.2 חיזוי השפעת שינוי אקלים על איכות המרעה

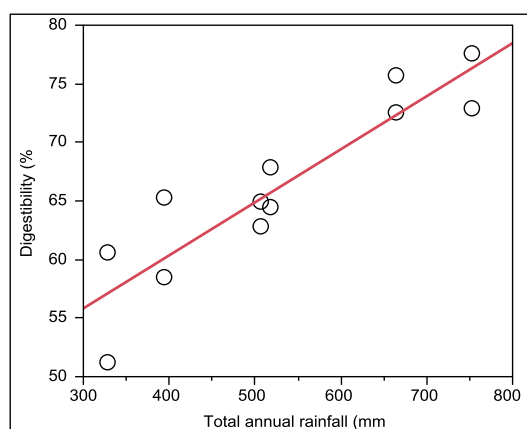
קיים חשש שתנאים יבשים יותר יגרמו לירידה באיכותו (ערך מזוני) של הצומח במרעה. ההנחה שלנו היא שניתן לנצל את השונות בתנאי אקלים בין שנים כדי לבחון את ההשפעה הזו. השתמשנו והרחבנו את בסיס הנתונים שנבנה באתר כרי דשא. מטרת הניסוי הקיים היא לבחון את השפעת לחץ ועיתוי רעיה על מדדי איכות בעונות שונות של השנה. הניסוי המקורי הוא רב-שנתי כדי למצע את ההשפעות השנתיות. מבחינתנו, השונות הבין-שנתית תאפשר לנו לקבוע את השפעת האקלים על מדדי האיכות מעבר להשפעות של טיפולי הממשק.

המחקר בוצע בחוות כרי דשא, אשר שטחה הכולל הוא כ-14,500 דונם ובה רועה עדר המונה כ-550 אמהות. המחקר התמקד ב"עדר הניסוי" המונה כ-190 פרות ברובן בממשק מועד ב' (המלטות חורף). עדר זה מחולק ל-8 קבוצות, כאשר הטיפולים כוללים שני לחצי רעיה, 18 ו-9 דונם לפרה בשני ממשקים, רעיה רציפה ורעיה מחזורית עם שתי חזרות לכל טיפול. טיפולי הרעיה המחזורית בשני לחצי הרעיה השונים מחולקים לרעיה מוקדמת (ינואר – אפריל) ומאוחרת (אפריל – ספטמבר). שטח כל חלקה נע בין 255 דונם ל-338 דונם.

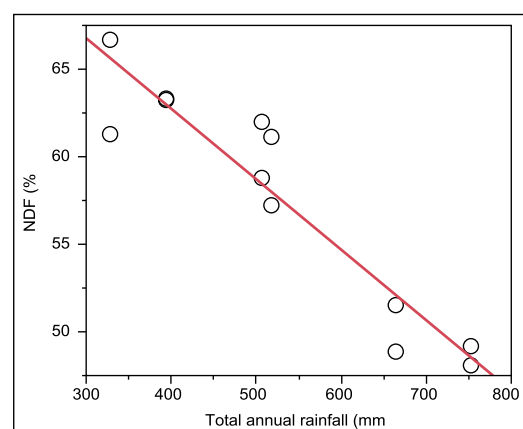
דיגום הצומח העשבוני בחלקות הניסוי בוצע לאורך חתכים קבועים והוא כלל 20 קצירים מייצגים בכל חלקה בכל קציר. הדיגום בוצע ארבע פעמים בכל שנה במשך עונת הרעיה, במועדים הבאים: ינואר (עם הכנסת הבקר לחלקות), סוף מרץ (שיא עונת הירק), מאי-יוני (תחילת עונת הקמל) וספטמבר (סוף עונת הקמל). בכל חתך, בכל חלקה נלקחו דגימות צומח מריבועים בגודל של 25×25 ס"מ. דגימות הצומח יובשו וכל 20 דגימות הצומח שנאספו מכל אחת מן החלקות בכל עונה ובכל שנה אוחדו ליצירת שלוש דגימות מייצגות לבדיקה במעבדה. דגימות אלו נטחנו ואחוז האפר, הנעכלות, החלבון, NDF ו-ADF נקבע בעזרת שיטת NIRS במינהל המחקר החקלאי. דגימות הצומח לא כללו מיני קוצים ושיחים והם מייצגים את מיני הצומח העשבוני הנאכל בלבד.

ניתוח התוצאות הצביע על יתרון באיכות המרעית בעיקר בעונת הירק בממשק רעיה מוקדם ובלחץ רעיה גבוה. יתרון יחסי זה באיכות הצומח מפצה במידה מסוימת על הביומסה הנמוכה יחסית המצויה באותן חלקות כתוצאה מרעיה מוקדמת וחזקה. איכות המרעית בחלקות תחת הרעיה המאוחרת הייתה נמוכה ביחס לאלו עם הרעיה המוקדמת והנמשכת. אחוז החלבון ואחוז הנעכלות הגבוהים יותר בצומח נמצאו באותן חלקות אשר היו נתונות לרעיה מוקדמת. לעומת זאת אחוזי NDF היו גבוהים יותר בחלקה בה התקיימה רעיה מאוחרת. ההבדל בין הטיפולים היה משמעותי ביותר בעיקר בעונת שיא הצימוח (אפריל) אך הבדלים מובהקים בנעכלות המרעית נמצאו כבר בפברואר. באחוז החלבון נמצאו הבדלים משמעותיים גם ביוני. ב-NDF נמצאו הבדלים משמעותיים בין טיפול הרעיה המאוחרת לבין המוקדמת והנמשכת מתחילת העונה בינואר ועד יוני. בבחינת ההבדלים באיכות המרעית בין לחץ רעיה של 9 דונם לפרה ל-18 דונם לפרה בממשק הרעיה הנמשכת, נמצאו הבדלים מובהקים רק בשיא עונת הצימוח באפריל. הבדלים אלו באו לידי ביטוי רק בריכוז החלבון וב-NDF. בשני משתנים אלו נמצא כי איכות הצומח הייתה גבוהה יחסית בלחץ הרעיה החזק בהשוואה ללחץ המתון. בשאר העונות לא נמצאו הבדלים מובהקים באיכות המרעית בין לחצי הרעיה השונים. על רקע זה הוספו משתנים אקלימיים כגורמים נוספים בניתוח הסטטיסטי כדי לראות עד כמה זה תורם להסבר השונות הבין-שנתית. קיבלנו תוצאות מאוד מפתיעות מבחינת חוזק ההשפעה, עד כדי כך שהוחלט לערוך בדיקה נוספת בשלבים השונים של הכנת הנתונים לניתוח ומקורות המידע, הן בצד הנתונים האקלימיים והן בצד תוצאות המעבדה של בדיקת איכות הצומח. הבדיקה הזאת טרם הסתיימה, אבל בשלב זה אפשר לדווח ברמת ביטחון סבירה על הקשר בין איכות ומשטר הגשם עבור תקופה של 6 שנים מתוך בסיס הנתונים הכולל. יש לזכור שמשטר הגשם קשור בעקיפין למשטר הטמפרטורה, ובשלב זה לא יכולנו להפריד בין הגורמים, אם כי ניתוחים נוספים מתוכננים.

כפי שראינו לעיל, עיקר ההשפעה של הטיפולים מורגש בעונת האביב (מרס-אפריל), ובזה נתמקד כאן. מצאנו שאפילו המדד הפשוט של סה"כ גשם שנתי מסביר חלק גדול של השונות הבין-שנתית במדדים שונים של איכות הצומח. חשוב ביותר להדגיש שמועד הדיגום של הצומח לא היה בתאריך קבוע אלא השתנה בהתאם למצב הפנולוגי של הצומח. כלומר, הדיגום היה אמור להיות בשלב פנולוגי דומה בין השנים. ואכן, מועד הדיגום האביבי חל בין 25 במרס לבין 23 באפריל במהלך השנים האלה, ואין קשר ישיר בין מועדים אלה (יום בשנה) לבין כמות המשקעים. בניתוח הסטטיסטי היו אינטראקציות מובהקות עם הטיפולים, ולכן הרצנו ניתוח נפרד לכל טיפול. התקבל השפעה מובהקת של סה"כ גשם שנתי על כל אחד מתכונות האיכות שנבדקו: איכות הולכת ופוחתת עם ירידה בכמות הגשם. לכן, המגמה הכללית עם גשם הייתה שלילית עבור ADF, חיובית עבור נעכלות, שלילית עבור NDF, וחיובית עבור ריכוז חלבון. הדבר המפתיע הוא חוזק הקשר במקרים מסוימים. איור 6 מראה שתי דוגמאות של קשר חזק.



נעכלות בטיפול של לחץ רעיה 9 דונם לפרה ברעיה רציפה
איור 6: הקשר בין איכות הצומח העשבוני בעונת האביב לבין סה"כ גשם שנתי בחוות כרי דשא. הונהגה



NDF בטיפול של לחץ רעיה של 18 דונם לפרה ברעיה רציפה
איור 6: הקשר בין איכות הצומח העשבוני בעונת האביב לבין סה"כ גשם שנתי בחוות כרי דשא. הונהגה דחיית רעיה בתחילת העונה הירוקה כמקובל.

2.3 הקשר בין גשם ועוצמת הנביטה של הצומח העשבוני, והקשר בין עוצמת הנביטה ויבול המרעה

מטרת הניסוי היא לקבוע את הקשר בין כמות הגשם לבין הדינאמיקה של נביטה באזור צחית למחצה. אנו מניחים שבאזור הדרום תהליכי נביטה של הצומח החד-שנתי רגישים יותר לדגם של הגשמים בתחילת העונה. להחמרה של הדגם כתוצאה משינוי אקלים השלכות שליליות לגבי הייצור הראשוני של העונה כולה. אירועי גשם קיצוניים יותר מלווים בפרקי יובש ארוכים יותר עלולים לגרום לגלים של נביטה ותמותה, הקטנת בנק הזרעים בקרקע וירידה בצפיפות אוכלוסיית הנבטים שמהווה בסיס לעקומת הצימוח. לכן, בניתוח זה נבחן גם את מידת הקשר בין צפיפות הנביטה בתחילת העונה הירוקה לביומאסה בשיא העונה.

המחקר נערך בחוות להבים (ראה איור 1). השטח הכולל של החווה הוא כ-8000 דונם. הקרקעות השכיחים באזור הם ליתוסולים חומים וקרקעות חומים-בהירים לסיים, וקרקעות אלוביים באגני הוודיות. האזור מקבל כ-300 מ"מ משקעים בשנה. הצומח מאופיין בשיחים בכיסוי מפוזר, ובכתמי צומח עשבוני, חד-שנתי ברובו, בפזורים בין כתמי סלע ושיחים. הרעיה בחווה היא על ידי עדר צאן בממשק בדואי. גידול הצאן נעשה כאן בדומה לממשק הבדואי המקובל כיום בנגב: באביב רעיה על

הצומח העשבוני הטבעי, בקיץ (מתחילת מאי) רעית שלפים בשטחי החקלאות של צפון הנגב; ובסתיו ובתחילת החורף – רעיה קרוב לבית על שאריות קמל יחד עם תוספות מזון (גרעיני שעורה בעיקר).

בראשית עונת 1988/89 נבחרו בשטח החווה שלושה אתרים בעלי תנאים אקולוגיים דומים, הנבדלים ביניהם במרחק מהמכלאה המרכזית: קרוב, בינוני, רחוק. בכל אתר הוגדרו ארבעה בתי גידול עיקריים: ראש גבעה, מפנה צפוני, מפנה דרומי וכתפי ואדי. בתחילת עונת 1993/94, שטח של 400 מ"ר גודר בכל צירוף של אתר ובית גידול. הוקמו גדרות נוספות בשתי העונות העוקבות כדי לאפשר השוואת גדרות מגילים שונים תחת אותם תנאים אקלימיים.

נתון בסיסי במחקר זה היה מספר הנבטים של צומח עשבוני בתוך ריבוע הדיגום. הדיגום נעשה מוקדם בעונה, כאשר הגל העיקרי של נביטה הגיע לשיאו, ולפני תחילת עונת הרעיה הירוקה ויציאת העדר מהמכלאות לרעיה. הדיגום נעשה בשלושת האתרים (קרוב, בינוני ורחוק) ובכל אתר הדיגום נעשה בארבעה בתי הגידול (מפנה צפוני, מפנה דרומי, ראש גבעה וכתפי ואדי). סידרה של תצפיות הוגדרה על ידי: עונה, אתר, בית גידול וסוג שטח, כאשר סוג שטח יכול להיות: לא מגודר (NF), מגודר מ-1993/4 (F94), מגודר מ-1994/5 (F95), ומגודר מ-1955/6 (F96). הדיגום נעשה בעזרת ריבוע של 10 x 10 מ"מ, מושלך באקראי.

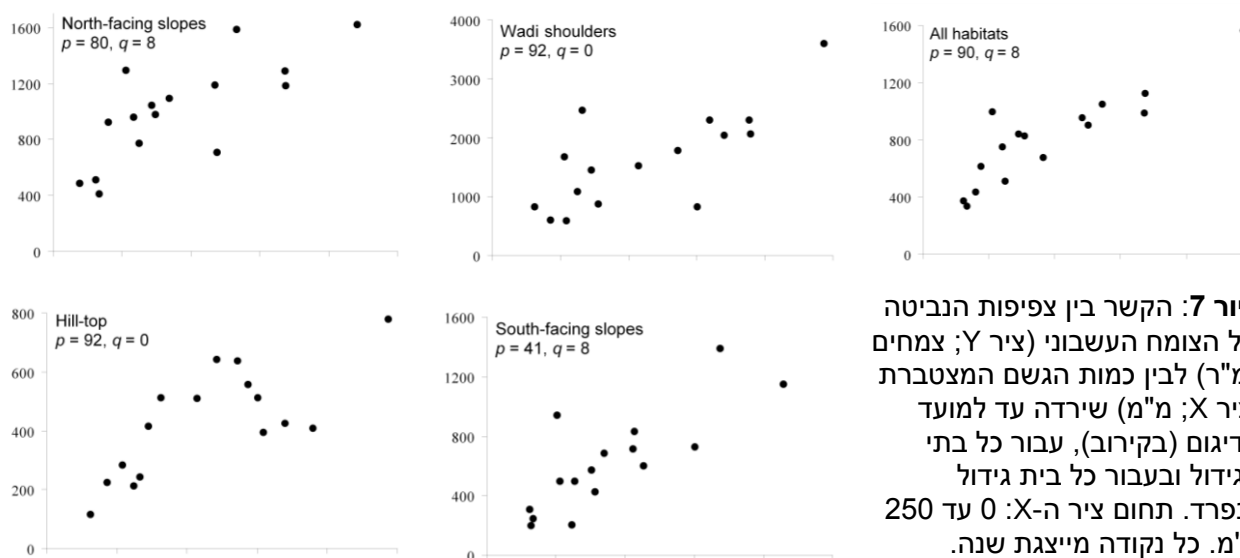
המדידות של היבול העשבוני בשיא העונה נעשו באופן דומה למדידות של צפיפות הנביטה שתואר לעיל: שלושה אתרים, ארבעה בתי גידול, באזור תחת רעיה ובגדרות המתווספות. מדידה של כמות הביומסה העשבונית העל-קרקעית בחלקה מסוימת (צירוף של עונה, אתר, בית גידול וסוג שטח) מתבססת על שיטת הדיגום הכפול, המנצלת את העובדה שאנשי מרעה מיומנים יכולים לאמוד בדיוק טוב למדי את כמות המרעה בתוך ריבועי דיגום. בכל בית גידול נדגמים 100 ריבועים. הדוגם קובע את כמות המרעה שבתוך ריבוע הדיגום לפי אומדן עין (סקאלה יחסית), וקוצר את הצומח מכל דוגמה עשירית. לאחר מכן מחושב המתאם בין אומדני העין לבין המשקל האמיתי של דגימת הצומח. לשם קביעת המשקל נאסף החומר הנקצר בשקית ניר ומועבר לייבוש בתנור בטמפרטורה של 80 מעלות צלסיוס למשך שלושה ימים. לאחר הייבוש נשקלת הדגימה.

חפשו קשר כמותי פשוט בין הגשמים לבין צפיפות הנביטה בשיא התהליך. חישובנו את הממוצע הכללי לכל עונה, על פני כל בתי הגידול והאתרים עבור סוג שטח NF. לכל עונה חישובנו את מועד הדיגום הממוצע. המשתנה שלפיו רצינו לחזות את צפיפות הנביטה היה כמות הגשמים שירדו בתוך תקופה של P ימים שמסתיימים q ימים לפני תאריך המדידה (m); כלומר – כמות הגשמים שירדו במשך חלון של זמן החל מיום m-q ועד יום m. הארכנו צירופים שונים של הפרמטרים P ו-q על ידי ריבוע מקדם המתאם בין כמות הגשמים לבין צפיפות הנביטה.

מצאנו ש"חלונות גשם" המתחילים ומסתיימים תוך כ-30 יום לפני מועד הדיגום מניבים ריבועי מקדם המתאם נמוכים מאוד. כאשר אין פיגור (דהיינו $q = 0$) ריבוע מקדם המתאם לא הגיב לפרמטר P עד שזה הגיע לכ-30 יום. כאשר השתמשנו ב"חלון גשם" של 5 ימים בלבד ($P = 5$) ריבוע מקדם המתאם עלה בצורה חדה בתחום הערכים של $q = 26$ ו- $q = 38$. כאשר הוגדל "חלון הגשם" (P עולה), האזור

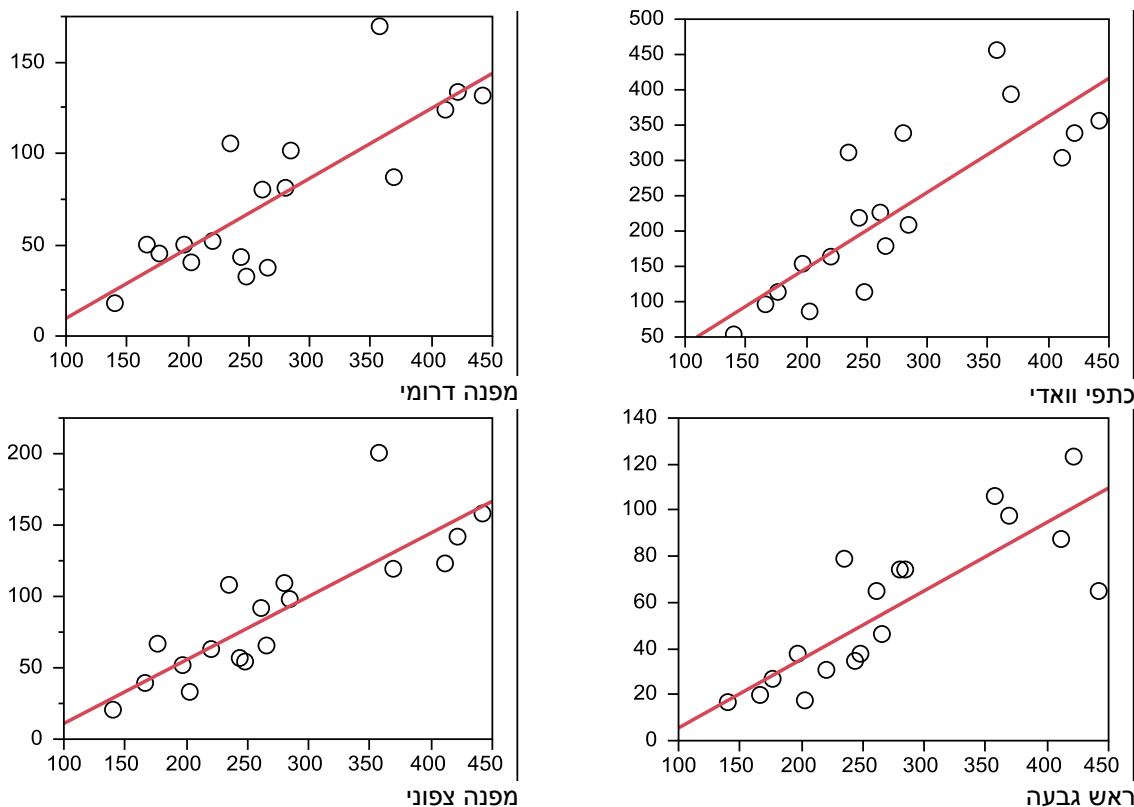
של ריבוע מקדם המתאם גבוה התרחב על פני תחום רחב יותר של ערכי פיגור, סביב $q = 34$. מעל $P = 40$, ערכי ריבוע מקדם המתאם דומים התקבלו כאשר $q = 0$ ו- $q = 34$. ריבוע מקדם המתאם הגבוה ביותר (0.91) התקבל ללא פיגור ($q = 0$) וחלון גשם של כ-60 יום, דבר שזהה כמעט לסה"כ גשם עונתי עד למועד הדיגום.

אחרי שקבענו את חלון הגשם האפקטיבי, חישבנו את הממוצע הכללי לכל עונה, בנפרד לכל בית גידול. בניתוח רגסריה, הגורם גשם היה מובהק מאוד והסביר אחוז גבוה של השונות בצפיפות הנביטה. איור 7 מראה את התוצאות עבור ארבעת בתי הגידול.



דיון על הקשר הכללי בין ייצור ראשוני וגשם בחוות להבים כלול לעיל בפרק התוצאות שעוסק בתגובות לאורך מפל הגשם. נעשו ניתוחים מפורטים יותר לכל בית גידול בנפרד, וכן לאזורים שהיו תחת רעיה (1987/88 עד 2010/11) ואלה שהיו מוגנים מפני הרעיה (1993/94 עד 2010/11). בניתוח רגסריה, כמות הגשם שירד מתחילת העונה ועד סוף חודש מאי היה גורם מובהק מאוד והסביר אחוז גבוה של השונות בביומאסה העשבונית בשיא העונה הירוקה. ריבוע מקדם המתאם נע בין 67%-ל-73% בין בתי הגידול עבור הביומאסה בתוך הגדורות. כצפוי, הקשר היה פחות טוב עבור מדידות שנעשו בשטחים נתונים לרעיה, וריבוע מקדם המתאם נע בין 37%-ל-63% בין בתי הגידול. כמו כן, השיפוע של קו הרגרסיה היה גבוה יותר ללא רעיה. נעסוק כאן בביומאסה ללא רעיה. איור 8 מראה את הקשר בין ביומאסה וגשם בארבעה בתי הגידול.

למרות שצפיפות הנביטה והביומאסה בשיא העונה תלויים במידה רבה בכמות הגשמים, לא מצאנו קשר בין נביטה וביומאסה. הניתוח נעשה במודל ניתוח שונות שכלל בתוכו (בנוסף לצפיפות הנביטה) סה"כ גשם שנתי, גשם עד מועד דיגום הנביטה, או כמות הגשם שירד בין הדיגום של הנביטה לבין הדיגום של הביומאסה. נערוך בדיקות חוזרות של תוצאות אלה, אבל בשלב זה נראה שאפילו באזור יחסית יבש כמו להבים, צפיפות הנביטה לא מהווה גורם מגביל לייצור (אולי כתוצאה מפיצוי בין צפיפות צמחים וייצור לפרט). צפויה השפעה שלילית של ירידה בכמות הגשם על הנביטה ועל הייצור, אבל כנראה ההשפעה על הייצור לא פועלת באמצעות השפעה על צפיפות הנביטה.

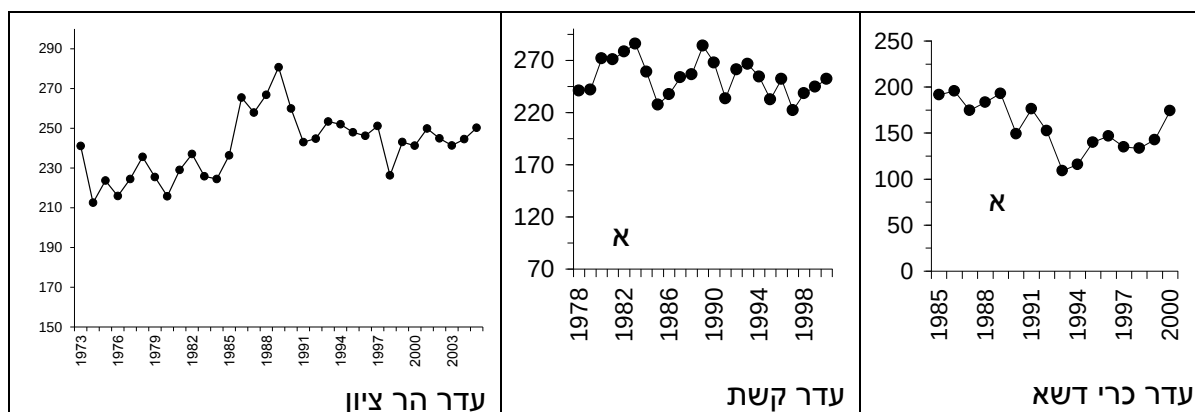


איור 8: הקשר בין מיומאסה עשבונית בשיא העונה הירוקה (ציר Y; ג' ח"י למ"ר; סקאלות שונות) לבין כמות הגשם עד סוף חודש מאי (ציר X; מ"מ), בארבעה בתי גידול. כל נקודה מייצגת שנה.

2.4 הקשר בין אקלים לייצור בעלי חיים

במסגרת המודל הביו-כלכלי של מערכת רעיה, אם יש מחסור בכמות המרעה או באיכותו, המודל מוסיף מזון קנוי בהתאם לפער בצרכים. במציאות, לא ברור שהמגדל יכול להתאים את ההזנה המשלימה כך שלא תורגש השפעת השנה על הביצועים של בעלי החיים. כדי לבחון שאלה זו באופן אמפירי, לקחנו נתוני עדר ארוכי טווח משלושה עדרי בקר לבשר. במסגרת התוכנה "בוקר טוב" שנכתבה על ידי החוקר הראשי, קיימים נתונים ברמת הפרט (פרה, וולד) מעדר כרי דשא, מעדר קשת, ומעדר הר ציון (אחוזת שושנה). בדקנו את הקשר בין נתונים אקלימיים לבין הביצועים המקצועיים של עדרי אלה. מבחינת ייצור בעלי חיים, חישובנו משקל גמילה ממוצע עבור וולדות שנגמלו גמילה רגילה; שיעור וולדות שתרמו לייצור; שיעור תמותה של וולדות; שיעור טריפה של וולדות; יעילות הייצור ברוטו (מספר וולדות שנולדו ביחס לשנות פרה בעדר); יעילות הייצור נטו (מספר וולדות שתרמו לייצור ביחס לשנות פרה בעדר); בשר גמול לשנת פרה בעדר.

בכל המדדים האלה הייתה שונות גבוהה בין השנים, למרות שלא היו שינויים מהותיים בשיטת הממשק במהלך שנות הניטור ובוודאי לא משנה לשנה. כמו כן, לא הייתה מגמתיות ברורה ברוב המדדים שנבדקו, אלא עליות וירידות משנה לשנה, דבר שהיה יכול, על פניו, להיות קשור למשתנים אקלימיים כגון משטר הגשמים. איור 9 מראה דוגמה אחת של מדד לביצועים מקצועיים מכל עדר.



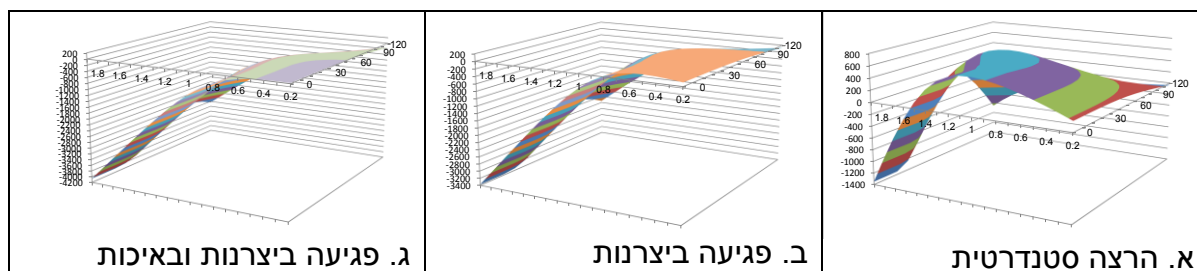
איור 9: משקל גמילה ממוצע (ציר Y; ק"ג; סקאלות שונות) לפי שנה (ציר X) בשלושה משקים מסחריים שבין התנהל רישום אמין של נתוני עדר ברמת הפרט במשך תקופה ארוכה

בניתוח סטטיסטי של מדדים אלה לא מצאנו קשרים מובהקים עם משטר הגשמים, לפחות לגבי סה"כ גשם שנתי. בניתוחים אלה בדקנו גם דרגות שונות של פיגור (lag) בין סדרות הנתונים. הופתענו מהתוצאה השלילית הזאת, ובמיוחד לאור התרשמות המגדלים שאקלים אכן משפיע על הביצועים. לכן אנחנו כעת מבצעים ניתוחים נוספים שבהם מתייחסים לגשמים האביביים שמשפיעים על אורך העונה הירוקה, ועל משקלי הגמילה בהתאם לחודש לידה. נבדקים גם משטרי הטמפרטורה.

2.5 השפעת שינוי אקלים על כושר הנשיאה של שטחי המרעה

הנושא של כושר נשיאה נבדק על ידי מודל דינאמי שבו מוגדרים משוואות עבור קצב הגידול של הצומח העשבוני, קצב הצריכה של הצומח על ידי בעלי החיים, אורך עונה, תכונות איכות, ומחירי מפתח. כושר נשיאה – שאינו מספר אחד אלא מושג מורכב – נבדק על ידי סדרה של תגובות משטח לשתי החלטות ממשק מרכזיות עבור שטחי מרעה באזורינו: מספר בעלי חיים ליחידת שטח ואורך תקופת השהיית הרעיה בתחילת העונה הירוקה. המודל מייצר סדרה של משטחי תגובה שכוללת: צריכה מצטברת ליחידת שטח; צריכה מצטברת לפרט; צריכה מצטברת לפרט ליום רעיה בפועל; כמות הצומח העשבוני בסוף עונה הרעיה; מאזן נורמטיבי בין ערך הבשר הנוצר ליחידת שטח ועלות המזון המוסף ליחידת שטח כדי להשלים את הכמות הנצרכת במרעה. נציג כאן את המאזן הזה עבור הרצות של המודל שכיולו לתנאים של אזור כרי דשא, ובהתאם לתוצאות לגבי יצרנות ואיכות שהוצגו בפרקים הקודמים. איור 10 מראה את משטחי התגובה עבור ההרצה הסטנדרטית ובעבור שני תסריטים של שינוי אקלים. בהרצה הסטנדרטית ההשהיה האופטימאלית עולה ככל שמעלים את לחץ הרעיה, אבל המערכת מאוד רגישה לסטיות מהאופטימום בלחצים גבוהים. האופטימום הכללי הוא לחץ רעיה של 1.2 פרות להקטר והשהיה של 50 יום. פגיעה ביצרנות בהתאם לירידה בכמות הגשמים של 20% מסיט את משטח התגובה ומוריד באופן משמעותי את המאזן. האופטימום הכללי הוא לחץ רעיה של 0.5 פרות להקטר והשהיה של 40 יום. בלחצים מעל 0.9 פרות להקטר המאזן (בהשהיה אופטימאלית) הוא שלילי. פגיעה ביצרנות בשילוב עם ירידה באיכות הצומח בשיא העונה הירוקה מסיט עוד יותר את משטח התגובה ורובו נמצא במאזן שלילי. הרכס שמתאר את השילוב האופטימאלי בין לחץ רעיה והשהיה נשאר באותו מקום כמו בהרצה הקודמת, אבל הערכים

המוחלטים ירדו והאופטימום השתנה. האופטימום הכללי הוא לחץ רעיה של 0.3 פרות להקטר וללא השהיה. השארת הממשק ללא התאמה למצב החדש תגרור הפסדים כבדים.



איור 10. משטחי תגובה של המאזן הכספי ליחידת שטח בתסריטים של שינוי אקלים. ציר X: מספר בעלי חיים ליחידת שטח (0.2 עד 1.9 פרות להקטר); ציר Y: אורך תקופת ההשהיה (0 עד 120 יום); ציר Z: המאזן הכספי (ש להקטר).

2.6 בחינת תסריטים רב-שנתיים באמצעות מודל ביו-כלכלי

המודל שהשתמשנו בו פותח כדי לבדוק חלופות ממשק של עדר בקר לבשר שמתקיים על מרעה טבעי והשפעתן על רווחיות העדר. המודל מאפשר השוואה של חלופות ממשק על ידי בדיקה מערכתית של השפעת יצור המרעה ואיכותו, גודל העדר, השהיית הרעיה, ממשק רבייה, בירור, תחלופה, תכונות בעלי החיים, ביצועי העדר, ומחירים של תשומות ותפוקות על התפוקות והמאזן הכלכלי של העדר. צריכה של מרעית מחושבת באמצעות נוסחאות שפותחו בניסויים בכרי דשא. עד כה הפעלנו את המודל עבור תנאים של כרי דשא, ובהסתמך על המידע שנאסף וחושב בפרקים הקודמים של הדוח (בעניין: א) צפי לגבי שינוי בכמות השקעים ובשונות שלה; ב) תגובה של ייצור ביומאסה (ושונות הייצור) באזור כרי דשא לשינויים במשטר המשקעים; ג) תגובה של איכות הצומח בעונה הירוקה לשינויים במשטר המשקעים. השפעות אלה באות לידי ביטוי כי במודל המרעה גדל לפי תנאי השנה וצריכת המרעית לפרה נקבעת גם בהתאם לכמות המרעה הזמין ואיכותו המשתנת בכל חודש בשנה. כדי לנתח חלופות ממשק של עדר נתון צריכים לספק את נתוני המשק שכוללים: הרכב העדר; ביצועים מקצועיים; תכונות המרעה; ממשק; מזון משלים; תשומות אחרות ועלויות; שיעור ריבית. המודל מייצר דוח מקצועי ודוח כלכלי מפורטים.

כאשר הרצנו את המודל עבור עדר בעל ביצועים מקצועיים טובים, הייתה תגובה חזקה של רווחיות העדר (יתרה אחרי החזרי הון) להשפעות המשולבות של ירידה במשטר הגשמים על יבול המרעה ואיכותו. השינוי היחסי ברווחיות היה קצת יותר גדול מהשינוי במוצע הגשם, כך שירידה של 20% בגשם הביא לירידה של 25% ברווחיות העדר. כאשר הביצועים המקצועיים של עדר בינוניים מלכתחילה (שבא לידי ביטוי בגמילה אפקטיבית נמוכה יותר בשיעור של 5 נקודות האחוז), אזי ההשפעה של הרעה בתנאי המרעה היא עוד יותר חזקה: ירידה ברווחיות העדר שמתקרב ל-50%. הפעלת המודל באזורים דרומיים בהם התגובה של ייצור ביומאסה חזקה יותר (אם כי, לא נבדקה אמפירית השפעה על איכות הצומח) מביאה לתוצאות עוד יותר חמורות. כל התוצאות האלה הם בגדר תוצאות ראשוניות עד שנסיים את הבדיקות של המודל שנערכים כעת.

3 דיון

תוצאות הניתוח שערכנו מצביעות על כך שלאורך מפל הגשם בישראל כמות הגשם השנתית מהווה גורם המגביל את ייצור הביומסה העשבונית בשטחי המרעה. טענה זו מתחזקת עוד יותר כאשר אנו מוציאים את כרי דשא ורמת הנדיב מהרגרסיה הלינארית באיור 2ב – אז מקדם ההסבר (R^2) עולה ל-0.80. בתוך כל אתר נמצא קשר הדוק בין השניים באתרים היובשניים (מאתר להב ודרומה), שייצור הביומסה העשבונית בהם נמוך ביותר, בדומה לאזורים יובשניים אחרים בעולם. ניתן לומר בוודאות כי כמות הגשם השנתית בתחום זה הינה גורם מגביל חשוב, אם לא העיקרי, עבור ייצור הביומסה העשבונית. באתרים הלחים (למעלה מ-500 מ"מ גשם), לעומת זאת, לא נמצא קשר מובהק בין ייצור הביומסה לכמות הגשם, פרט לאתר כרי דשא. כעת אנחנו בודקים אם להתפלגות אירועי הגשם ולמשך עונת הצמיחה יש השפעה על ייצור הביומסה העשבונית באתרים הלחים, הממסכת את השפעת כמות הגשם השנתית. ייתכן מאוד שבאתרים הלחים קיימים גורמים אחרים המגבילים את יצרנות המרעה, כגון פוריות הקרקע. הקרקע הבזלתית בכרי דשא עמוקה ועשירה יותר בזרחן, משאב המגביל את צמיחת העשבוניים בקרקע טרה רוסה באתרים הלחים האחרים. ייתכן ששתי תכונות אלה של עומק ופוריות מקנות לקרקע הבזלתית פוטנציאל רב יותר לצמיחת העשבוניים, לכן יכולה להיות עלייה בייצור בשנים גשומות יותר, בניגוד לאתרים הלחים האחרים. במרבית האתרים יעילות השימוש בגשם הייתה בטווח 0.21-0.48 גרם למ"ר למ"מ גשם, רמה המאפיינת שטחי מרעה באזורים יובשניים. בכרי דשא וברמת הנדיב, לעומת זאת, יעילות השימוש בגשם הייתה גבוהה יחסית. 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, ומתחרה עם הצומח העשבוני על האור ועל משאבי הקרקע ומדכא את צמיחתו. היעדר צומח מעוצה מתחרה מגדיל את כמות מי הגשם לרשות הצומח העשבוני ומגדיל את יעילות השימוש בגשם. סביר להניח שנוכחות צומח מעוצה משפיעה על התגובה של הצומח העשבוני לשינוי אקלים. עסקנו בתגובה של צומח מעוצה לאירועי בצורת במסגרת המחקר הנוכחי, אך לא פירטנו כאן מפאת קוצר היריעה (ראה דה מלאך וחובריו 2012 ברשימת הפרסומים). תוצאות המחקר מעלות חשש בנוגע ליציבות המערכת האקולוגית בספר המדבר בצפון הנגב, וזאת בשל שינוי האקלים הצפוי להתרחש באזור. השינוי הזה יאופיין בהקטנה של כמות המשקעים ובהגדלה של תכיפות הבצורות. אירועי בצורת תכופים עלולים לגרום לתמותה דיפרנציאלית של מיני שיחים, להקטנת צפיפות כלל השיחים ולשינוי בהרכב כיסוי השיחים.

לפי התחזיות לשינוי האקלים, במזרח התיכון צפויה ירידה של עד כ-20% בכמות הגשם ועלייה בשונות הבין-שנתית בו. השפעתן העיקרית של הירידה בכמות הגשם והעלייה בשונות הבין-שנתית תהיה יותר שנים יבשות ושנים יבשות יותר בהשוואה למצב הקיים היום, עם פגיעה משמעותית במיוחד ביצרנותם של האתרים היובשניים. אזורים בצפון שדומים לכרי דשא יסבלו בעיקר ביצרנות.

באזורים יובשניים צפויה ירידה משמעותית ביצרנות ועלייה משמעותית בשונות. שינויים צפויים אלה ביצרנות יצריכו תכנון מחודש של ממשק הרעייה.

בניתוח השפעות אפשריות של שינוי משטר הגשמים יש להבחין בין השפעות לטווח הקצר והשפעות מצטברות לטווח הארוך. השונות הבין-שנתית בגשם יכולה למתן מגמות הנוגעות להידלדלות הצמחייה ולירידה ביצרנות, עקב שילוב עם שנים גשומות, המאפשרות "מילוי חוזר" של מאגר הזרעים בקרקע והתאוששותם של עשבוניים רב-שנתיים. אך ההשפעה השלילית המצטברת לאורך שנים רבות יכולה לגרום לשינוי הדרגתי בהרכב ובצפיפות הצומח העשבוני ולפגיעה ביצרנות. ירידה בכמות הגשם, המלווה ברצף שנות בצורת, עלולה לגרום לתמותת עשבוניים רב-שנתיים ולהידלדלות בנק הזרעים בקרקע, ולפיכך לירידה ביצרנות המרעה, לעומת המצב הקיים היום של שילוב אקראי של שנים גשומות יותר ויבשות יותר.

מתואר כאן ניתוח ראשוני המבוסס על כמות הגשם השנתית, אך התפלגות הגשמים בעונת הצמיחה עשויה להיות חשובה לא פחות ממנה. ההיבט הזה נבדק על ידי, הן בגישה סטטיסטית והן באמצעות מודל דינאמי של "ימי צמיחה אפקטיביים". עד כה לא הצלחנו לשפר באופן ניכר את שיעור השונות המוסברת ולכן לא הקדשנו מקום לזה בדוח. אבל המאמצים האלה ימשיכו גם אחרי הסיום הפורמאלי של תוכנית זו. בחינת הקשר בין התפלגות הגשמים ליצרנות המרעה, יחד עם בדיקת השפעות הגומלין בין הגשם למאפייני הקרקע, דרושות להבנה טובה יותר של השפעות שינויי האקלים על יצרנות המרעה העשבוני. ניסויים, שמטרתם לבחון את הקשרים האלה, יוכלו לשפוך אור נוסף על המנגנונים המעורבים בתגובות שתיעדנו ולסייע למנהלי שטח ולאנשי מרעה להתכונן לשינויים אפשריים במערכות המרעה בארץ.

השפעת האקלים על איכות הצומח נבדק באתר כרי דשא. מצאנו שתנאי יובש בתוך האתר מוריד באופן משמעותי את איכות המרעה בשיא העונה (הביומאסה של הצומח העשבוני במקסימום והמינים הדומיננטיים מתקרבים לסוף מחזור ההתפתחות שלהם). זה שלב חשוב ביותר מבחינת צריכת העדר ובתקופה זו העדר אמור להוסיף משקל ולשפר מצב גופני לקראת הקיץ. עבור ירידה של 20% בכמות הגשם, צפויה ירידה של כ-5 נקודות האחוז בנעילות. זו השפעה דרמטית שטעונה בדיקה יסודית על ידי ניסויים מבוקרים בעתיד, ואנחנו נרחיב עוד את מסד הנתונים בנושא זה כדי לאפשר ניתוחים סטטיסטיים חזקים יותר.

כושר נשיאה הגיב בצורה חזקה לתסריטים שונים של השפעת שינוי אקלים על הצומח העשבוני (יבול ואיכות). פגיעה ביצרנות בשילוב עם ירידה באיכות הצומח בשיא העונה הירוקה מקטינה מאוד את המרחב שבו החלטות ממשק יסודיות מאפשרות מאזן תרומה א' חיובי. לחצי רעייה צפויים לרדת בצורה משמעותית. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים טובים, הייתה השפעה שלילית חזקה על רווחיות העדר (יתרה אחרי החזרי הון) להשפעות המשולבות של ירידה במשטר הגשמים על יבול המרעה ואיכותו. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים בינוניים, התסריט של שינוי אקלים גורם לירידה עצומה ברווחיות העדר.

4 פרסומים מדעיים

מאמרים שעברו ביקורת מדעית:

דה מלאך, נ., אונגר, י.ד., פוט, ה., יונתן, ר., ברקאי, ד., בן משה, ע., ברעם, ח., קיגל, ח. (2012) רעייה ובצורת בספר המדבר - מגמות ארוכות טווח בכיסוי הצומח המעוצה. *אקולוגיה וסביבה* 3(2), 166-173.

גולודיטש, ק., שטרנברג, מ., קיגל, ח., בוקן, ב., דולב, ע., הדר, ל., הנקין, ז., צעדי, א., בצלאל, י., ארנון, א., זליגמן, נ., אונגר, י.ד. (2012) הקשר בין כמויות הגשם לייצור ראשוני בשטחי מרעה לאורך מפל הגשם בישראל והשלכותיו לאור שינויי אקלים צפויים. *אקולוגיה וסביבה* (התקבל).

מאמר הוגש לעיתון Climatic Change (המאמר נמצא בתהליך שיפוט אחרי תיקונים):
Golodets, C., Sternberg, M., Kigel, J., Boeken, B., Henkin, Z., Seligman, N.G., Ungar, E.D.
From Mediterranean to desert rangelands: Will increasing drought and rainfall variability affect herbaceous annual primary productivity?

כנסים:

Ungar, E.D. (2010) Management challenges of animal production on semiarid and Mediterranean rangelands. p. 96 in Book of Abstracts of the 61st Annual Meeting of the European Association for Animal Production. August 23rd - 27th, 2010, Heraklion, Greece.

de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2011) Shrubs subjected to grazing and drought - resilience or collapse? Long-term trends in the cover of woody vegetation in a semiarid region. p. 159 in Proceedings 39th Annual Conference of the Israel Society of Ecology and Environmental Sciences, June 27-28, 2011, Megiddo Regional Council.

Golodets, C., Ungar, E.D. and Sternberg, M. (2011) The effects of climate change on rangelands: An integrative analysis of primary productivity along the rainfall gradient in Israel. p. 158 in Proceedings 39th Annual Conference of the Israel Society of Ecology and Environmental Sciences, June 27-28, 2011, Megiddo Regional Council.

de Malach, N., Ungar, E.D. and Kigel, J. (2012) The response of shrubs to grazing and drought – resilience or collapse? Long-term trends in a semiarid region. p. 18–19 in Proceedings 20th Conference of the Israel Rangeland Science Society, March 26, 2012. (Hebrew).

Golodets, C., Sternberg, M., Kigel, J., Boeken, B., Dolev, A., Hadar, L., Henkin, Z., Zaady, E., Bezalel, Y., Arnon, A., Seligman, N. and Ungar, E.D. (2012) Trends in biomass production along the rainfall gradient in Israel. p. 20–28 in Proceedings 20th Conference of the Israel Rangeland Science Society, March 26, 2012. (Hebrew).

Sternberg, M., Golodets, C., Kigel, J., Boeken, B., Henkin, Z., Seligman, N.G. and Ungar, E.D. (2012) From desert to Mediterranean rangelands: Will increasing drought and rainfall variability affect herbaceous annual primary productivity? 4th International Conference on Drylands, Deserts and Desertification. November 12–15, 2012, Sede Boqer, Israel.

ימי עיון

גולודיטש, ק., שטרנברג, מ., קיגל, ח., בוקן, ב., פריאנטה, ש., דולב, ע., הדר, ל., הנקין, ז., צעדי, א., בצלאל, י., אונגר, י.ד. (2011) האם יותר גשם שווה יותר ביומסה? מעקב ארוך-טווח לאורך מפל הגשם בישראל. הרצאה במסגרת יום עיון בנושא ניטור ארוך טווח ברמת הנדיב.

5 תודתנו לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות שמימן את המחקר.

6 סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה. באזורים ים-תיכוניים, שינויי האקלים הגלובאליים צפויים לגרום לשינויים משמעותיים במשתנים רבים לרבות במשטר הגשם – הן מבחינת הכמות והן מבחינת השונות התוך עונתית והבין-שנתית. מטרת המחקר הייתה לאמוד את ההשפעה הצפויה של שינוי אקלים על הייצור של הצומח העשבוני ועל כושר הנשיאה של השטחים הפתוחים.

עיקרי הניסויים והתוצאות. נבנה מסד הנתונים הגדול ביותר שהוקם בארץ עד כה בנושא ייצור ראשוני ובו נתוני ייצור ואקלים מעשרה אתרים לאורך מפל הגשם שבהם התנהל ניטור ארוך טווח, משדה בוקר בדרום ועד עין יעקב בצפון. נעשו ניתוחים סטטיסטיים של קשר אקלים – יבול צומח עשבוני, ונעשה חיזוי לגבי השפעת שינוי אקלים על היבול. נבדק הקשר בין אקלים ואיכות (ערך מזוני) של הצומח. נחקרו הקשרים בין גשם, עוצמת הנביטה, ויבול המרעה. נבחן הקשר בין אקלים לייצור בע"ח. הופעל מודל ביו-כלכלי כדי להעריך את השפעת שינוי אקלים על כושר הנשיאה של שטחי המרעה וכן על ייצור בע"ח ורווחיות. יש אזורים שבהם קיימת תגובה חזקה של ייצור צומח עשבוני למשטר הגשמים, ויש אזורים שבהם התגובה חלשה או לא קיימת. באזור הדרום, כתוצאה מירידה בכמות הגשמים ועלייה בשונות בין שנתית צפויה פגיעה משמעותית בייצור הראשוני וביציבות הייצור. באזור הצפון, כאשר צומח מעוצה מהווה מרכיב חשוב של הכיסוי, לא צפויה פגיעה בייצור של הצומח העשבוני. אבל רצף של בצורות עלול לגרום לתמותה של צומח מעוצה ושינוי מהותי לרע בתפקוד המערכת האקולוגית. כאשר הנוף מורכב בעיקר מצומח עשבוני (דוגמת אזור כרי דשא ואולי גם רמת הגולן), צפויה פגיעה משמעותית בייצור הראשוני אבל לא ביציבות הבין שנתית. תנאים צחיחים יותר גורמים לירידה משמעותית באיכות של הצומח העשבוני בשיא העונה הירוקה. באזורים הרגישים למשטר הגשמים, כושר נשיאה הגיב בצורה חזקה לתסריטים של שינוי אקלים באמצעות יכול ואיכות הצומח העשבוני. פגיעה ביצרנות בשילוב עם ירידה באיכות הצומח בשיא העונה הירוקה מקטינה מאוד את המרחב שבו החלטות ממשק יסודיות מאפשרות מאזן תרומה א' חיובי.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. באזורים הרגישים למשטר הגשמים לחצי רעיה צפויים לרדת בצורה משמעותית כתוצאה משינוי אקלים. חשוב לבצע מחקר ממוקד בנושא משטר מים ואיכות צומח. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים טובים, צפויה השפעה שלילית חזקה על רווחיות העדר בתגובה לירידה במשטר הגשמים וירידה ביבול המרעה ואיכותו. עבור עדר נתון בעל ביצועים מקצועיים בינוניים, התסריט של שינוי אקלים מטיל בספק את רווחיות העדר.

בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה. אין.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח. התפרסמו שני מאמרים בעברית שעברו ביקורת מדעית. מאמר הוגש לעיתון Climatic Change ונמצא בתהליך שיפוט אחרי תיקונים. ניתנו שתי הרצאות בכנסים בינלאומיים וארבעה הרצאות בכנסים מקומיים. ניתנה הרצאה ביום עיון מקומי.

פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)