

משרד החקלאות - דו"ח לתוכניות מחקר
לקרן המדען הראשי

קוד זיהוי	א. נושא המחקר (בעברית)
857 - 0617- 10	השתנות ארוכת טווח של תנאים ומשאבים

ג. כללי			
מוסד מחקר של החוקר הראשי			
אוני' בן גוריון בנגב			
סוג הדו"ח		תאריכים	
שנתי	תקופת המחקר	עבודה מוגשת הדו"ח	
		התחלה	
		סיום	שנה חודש
		שנה חודש	שנה חודש
		12 / 2009	10 / 2011
		שנה חודש	02 / 2012

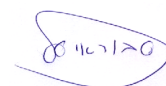
ב. צוות החוקרים		
שם פרטי	שם משפחה	חוקר ראשי
טל	סבוראי	
חוקרים משניים		
אבי	פרבולוצקי	1
רקפת	שפרן נתן	2
		3
		4
		5
		6
		7

ד. מקורות מימון עבורם מיועד הדו"ח		
שם מקור המימון	קוד מקור מימון	סכום שאושר למחקר בשנת תיקצוב הדו"ח
		בשקלים
הנהלת ענף מרעה קקל		17,500
		17,500

ה. תקצידי שים לב - על התקציר להיכתב בעברית לפי סעיף ה' שבהנחיות לכתיבת דיווחים
אזורים חצי-צחיחים ידועים כמועדים להתרחשות בצורות. נבדק במחקר זה ונמצא כי תרחישי שינויי אקלים החוזים עליהם בתדירות התרחשות של ארועים יובשניים ושינויים בתפוסת המשקעים בזמן לאורך עונת הצימוח יפגעו ויורידו את כמות הייצור הראשוני. שינויים אלו נבחנו גם בשדה לאורך שתי שנות בצורת (2007-2008 ו-2008-2009) וגם על ידי מודל מבוסס ממי"ג החוזה בזמן ובמרחב את כמות הייצור הראשוני כתוצאה משינויים בתנאי מזג האוויר היומיים (גשם, טמפרטורה ואידוי) ותנאים סביבתיים לאורך 31 שנה. מאחר והתוצאות הראו כי קיים שינוי רב בדפוסים המרחביים של הייצור הראשוני בתקופת המחקר הנדונה נבחנו: (1) השפעת של כמות הגשם על דיגמי הייצור הראשוני במרחב. (2) השפעת הבצורת על הכיסוי הצומח בשטח המחקר. חשיבות המחקר לחקלאות היא בבדיקת השפעת תנאי שינויים בכמויות הגשם על שטחי מרעה ואזורים טבעיים נרחבים ברזולוציות זמן ומרחב מפורטות. הנני מאשר שקראתי את ההנחיות להגשת דיווחים לקרן המדען הראשי והדו"ח המצ"ב מוגש לפיהן

ו. אישורים

הנני מאשר שקראתי את ההנחיות להגשת דיווחים לקרן המדען הראשי והדו"ח המצ"ב מוגש לפיהן



חוקר ראשי	מנהל המחלקה	מנהל המכון (פקולטה)	אמרכלות (רשות המחקר)	רשות המחקר	תאריך (שנה) (חודש) (יום)
-----------	-------------	---------------------	----------------------	------------	--------------------------

השתנות ארוכת טווח של תנאים ומשאבים

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולהנהלת ענף המרעה

על ידי

טל סבוראי המחלקה לגאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
רקפת שפרן-נתן המחלקה לגאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
אבי פרבולוצקי המחלקה לגידולי שדה ומשאבי שדה, מכון וולקני

Tal Svoray, Department of Geography & Environmental Development, Ben-Gurion

University of the Negev, P.O.B 653, Beer-Sheva, E-mail: tsvoray@bgu.ac.il

Shafran-Natan Rakefet, Department of Geography & Environmental Development, Ben-

Gurion University of the Negev, P.O.B 653, Beer-Sheva, E-mail: shafranr@bgu.ac.il

Avi Perevolotsky, Department of Natural Resources, ARO, The Volcani Center, Bet Dagan, Israel. E-mail: avi@agri.gov.il

כסלו- טבת תשע"ג

דצמבר 2012

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר
80120

רשימת פרסומים

Svoray, T., Shafran-Nathan, R., Henkin, Z., and Perevolotsky, A., 2008. Spatially and temporally explicit modeling of conditions for primary production of annuals in dry environments. *Ecological Modelling*, 218: (3-4) 339-353.

Shafran-Nathan, R., Svoray, T., and Perevolotsky, A., Long-term variation in primary productivity of water-restricted environments: a spatio-temporal analysis. In review.

Shafran-Nathan, R., Svoray, T., and Perevolotsky, A., The resilience of water-limited ecosystems in response to climate change predictions and under dry conditions. In review.

Shafran-Natan, R., Svoray, T and A. Perevolotsky., 2007. Spatial modeling for annual grassland response to climate change at the slope level. *ECM 2007*

שפרן-נתן, ר., סבוראי, ט., ופרבולוצקי, א., 2009. חיזוי שינויים בייצור של צומח עשבוני כתגובה לשינויים בתכונות גשם וטמפרטורה. אופקים בגאוגרפיה, 72, In press.

שפרן-נתן, ר., סבוראי, ט., ופרבולוצקי, א., 2007. השפעת שינויי אקלים על ייצור ראשוני של צומח עשבוני: תוצאות מסימולציה ברזולוציה גבוהה. כנס החברה הגאוגרפית, באר שבע, 2007.

תקציר

אזורים חצי-צחיחים ידועים כמועדים להתרחשות בצורות. נבדק במחקר זה ונמצא כי תרחישי שינויי אקלים החוזים עלייה בתדירות התרחשות של אירועים יובשניים ושינויים בתפרוסת המשקעים בזמן לאורך עונת הצימוח יפגעו ויורידו את כמות הייצור הראשוני. שינויים אלו נבחנו גם בשדה לאורך שתי שנות בצורת (2007-2008 ו-2008-2009) וגם על ידי מודל מבוסס מ"ג החוזה בזמן ובמרחב את כמות הייצור הראשוני כתוצאה משינויים בתנאי מזג האוויר היומיים (גשם, טמפרטורה ואידוי) ותנאים סביבתיים לאורך 31 שנה. מאחר והתוצאות הראו כי קיים שינוי רב בדפוסים המרחביים של הייצור הראשוני בתקופת המחקר הנדונה נבחנו: (1) השפעת כמות הגשם על דגמי הייצור הראשוני במרחב. (2) השפעת הבצורת על הכיסוי הצומח בשטח המחקר. חשיבות המחקר לחקלאות היא בבדיקת השפעת תנאי שינויים בכמויות הגשם על שטחי מרעה ואזורים טבעיים נרחבים ברזולוציות זמן ומרחב מפורטות.

1. מבוא

האזור החצי-צחיח מכסה כ-35% מהשטח היבשתי של כדור הארץ (Wilcox, 2005). אזור זה מאופיין בייצור ראשוני וכיסוי צומח נמוכים ובשונות גדולה בתנאי הסביבה במרחב ובזמן (Huenneke et al., 2001). הגורם המגביל העיקרי לתהליכים ביולוגיים באזור זה הוא לחות הקרקע (Noy-Meir, 1973) אשר מושפעת מן המוליכות ההידראולית (טקסטורה), הכיסוי האבני, השפעת הכיסוי השיחי וכתוצאה מכך מהיווצרות אזורי מבלע ומקור. תפקידם של גורמים אלו במרחב תלוי בשונות העיתית בתנאי האקלים לאורך עונת הצימוח (גשם, אידוי וטמפרטורה). השפעת גורמי סביבה על הייצור הראשוני נבדק לרוב בסקרי שדה, או בניתוח מרחבי מבוסס חישה מרחוק כאשר לרוב יש התייחסות מוגבלת לשינוי בזמן (Jeltsch et al., 1996). התפוצה במרחב של אוכלוסיות צומח מצריכה הבנה ברורה של כל ההיבטים במרחב ובזמן של מבנה והתפוצה במרחב של התנאים הבונים את המערכת האקולוגית (Moloney and Levin, 1996). כאשר מדובר בגבולות המערכת האקולוגית, נמצא בספרות כי חסרים מחקרים אקולוגיים העוסקים בקביעת הגבול בין אזורים בעלי מבנה ותפקוד שונה, בין מערכות שונות ובין קני מידה שונים (Cadenasso et al., 2003; Holling, 1992; Moorcroft et al., 2001). מכאן שקיים צורך בחקירה שיטתית של הגורמים לשינוי ולהופעה כתמית במרחב ובזמן של בתי גידול מצריכה שימוש במודלים ריאליסטיים מבחינה ביולוגית המבוססים על ידע מומחים, אשר לא קובעים מראש את גבולות המערכת האקולוגית (Grimm et al., 1996; Wiegand et al., 2005). כך שניתן לראות כי מ"ג מאפשרות להתאים למידע המרחבי מידע אקלימי עיתי מתוך סידרה של נתונים במקום שימוש בנתונים ממוצעים. לכן הן מאפשרות למשל לחשב ולתאר את השפעת תסריטים שונים של שינויי אקלים על תנאי לחות הקרקע (Portoghesi et al., 2005).

השונות, בזמינות המים ובכיסוי הצומח לאורך העונה הלחה, מקשה מאוד על מיפוי בית הגידול העשבוני. הצומח באזור זה נמצא בתנאי עקת מים מסוימת לאורך עונת הצימוח והיא אשר תקבע בשילוב עם הגורמים הסביבתיים את פוריות בית הגידול. דינמיקה זו בפוריות בית הגידול לאורך עונת הצימוח מקשה על זיהוי בית הגידול ועל הבנת התהליכים הפוגעים, או משמרים את יציבותו. בעייתיות זו בעיקר

מודגשת באזור החצי צחיח שכן כל עונת צימוח אינה דומה לקודמותיה. שונות זו מאד מסבכת ניסיונות לחיזוי תגובת הצומח העשבוני לירידה בכמות המשקעים כתוצאה משינויי אקלים. מטרת המחקר הכללית היא הבנת הקשר בין השונות בזמינות המים לצמח במרחב ובזמן לייצור הראשוני של הצומח העשבוני החד-שנתי. למימוש מטרה זו הוגדרו שלוש מטרות משנה: (א) כימות הדינמיקה המרחבית-עיתית של ההיזון החוזר בין צומח עשבוני ולחות הקרקע באזור הבין שיחי; (ב) הגדרת הגבולות במרחב של כתמים עשבוניים באזור האקלים החצי-צחיח; (ג) תיאור וכימות השפעת תנאי עקת מים הנגרמים כתוצאה משינויי אקלים על הייצור הראשוני באזור האקלים החצי-צחיח.

פערי המחקר

מסקר הספרות שנערך לצורך מחקר זה עולה כי:

(א) השונות העיתית בזמינות המים ובכיסוי הצומח לאורך העונה הלחה מקשה מאוד על קביעת גבולות בית הגידול העשבוני. הצומח באזור זה נמצא בתנאי עקת מים מסוימת לאורך עונת הצימוח והיא אשר תקבע בשילוב עם הגורמים המרחביים הבונים את בית הגידול, את פוריות בית הגידול אך מאחר ומאוד קשה וגבול בית הגידול אינו מוחלט, אלא הוא מאופיין כאזור מעבר בין בית גידול אחד לאחר מחקרים רבים אינם מגדירים את גבולות בית הגידול ואת טיבו באופן מהימן המשקף את השונות התופעה בצורה הטובה ביותר.

(ב) בעיה זו באה לידי ביטוי במודלים רבים המתארים דינמיקה של אוכלוסיות מתארים את התופעה במספר קני מידה שונים. בעיה זו מתחדדת כאשר מדובר בגבולות בין בתי הגידול. ממ"ג מאפשרות להתאים למידע המרחבי מידע אקלימי עיתי מתוך סידרה של נתונים במקום שימוש בנתונים ממוצעים. לכן הן מאפשרות למשל לחשב ולתאר את השפעת תסריטים שונים של שינויי אקלים על תנאי לחות הקרקע.

(ג) מעטים המחקרים הבודקים במרחב ובזמן, ברזולוציה גבוהה, את ההשפעה של שינויי אקלים על הייצור הראשוני זאת מאחר והמודלים החוזים ייצור ראשוני מתייחסים למיקרו-סביבה בעוד שמודלים החוזים שינויי אקלים הם בקנה המידה הרגיונלי או הגלובלי. אזורינו מושפע משינויים גלובליים ומקומיים המאפיינים הרמה הסוב-טרופית בקווי הרוחב הבינוניים. מסיבה זו, מודלים מרחביים מאוד רגישים לשינויים קלים ביותר מה שמשפיע על תוצאות החיזוי. בניגוד לאזורים אחרים בעולם, לא ניתן למעשה להיעזר במודלים ברזולוציה גלובלית בישראל. זאת בנוסף לעובדה שחישוב וניתוח מודלים גלובליים מלווה באי-ודאות גדולה באזור ששטחו קטן והוא מאופיין בשונות אקלימית רבה. לכן, ניתן לראות מתוך הספרות כי על מנת להבין את השפעת שינויי האקלים על יציבות של בית הגידול העשבוני ועל הייצור הראשוני, יש צורך בכלי המכמת את השינוי בבית הגידול ובייצור כתוצאה מהשינוי בכמות המשקעים ובטמפרטורה.

2. חשיבות המחקר

ההיבט היישומי

(1) ייצור ראשוני הוא גורם ראשון במעלה המשפיע על ניהול שטחי מרעה ועל גידולים חקלאיים (Fynn and O'connor, 2000). מובן כי יכולת הערכת התגובה בייצור הראשוני לשינויי אקלים תוכל להעיד על כושר הייצור של קהילות המתבססות על רעייה ועל גידולי בעל, בעיקר באזור הנגב והגליל.

(2) במדינה צפופה בה יש לחצים כבדים על שימושי קרקע חקלאיים ועל השטחים הפתוחים, כימות פוטנציאל הייצור ומידת ההטרוגניות בזמינות המים לאורך זמן מאפשר הקצאה מושכלת של קרקעות לשימור, חקלאות או בינוי תוך התחשבות גם בתכונות בית הגידול ומגוון המינים, ולא דווקא רק בצורכי הבינוי (Svoray et al., 2005).

(3) לזיהוי כושר ייצור של בתי גידול יש חשיבות רבה כאשר מדובר בתיאור שטחים עם פוטנציאל חקלאי ושטחי פתוחים הנמצאים בסכנת דלדול קרקע, שכן כיסוי צומח מונע סחיפת קרקע (Lavee et al., 1998).

(4) מאחר וזמינות המים היא הגורם המגביל העיקרי לייצור הראשוני. למודל החוזה את פוטנציאל הייצור המשתנה במרחב ובזמן, יש חשיבות רבה לחיזוי תסריטים שונים של שינויי אקלים (Coughenour and Chen, 1997).

ההיבט המדעי

(1) למיפוי אזורים בהם קיימת שונות בפוטנציאל הייצור הראשוני בזמן ובמרחב, יש חשיבות רבה לחקר ותיאור שינויים במחזור הפחמן ברמה הלאומית וברמה העולמית. שכן הייצור הראשוני הוא מדד ישיר לשינויים אלה (Scurlock et al., 2002).

(2) הגדרת המושג המעורפל בית גידול ותכונותיו. באזורים בהם גבולות בית הגידול אינם רציפים ובורורים, יש חשיבות רבה, ברמה התיאורטית, להבנת והמחשת מושג בית הגידול אשר עבורו הייצור הראשוני מהווה מדד כמותי ישיר (אונגר ושותפיו, 1999).

(3) יישום המודל לבעיה שפתרונה מבוסס תסריטים, כמו תגובה לשינויי אקלים, יתרום לחיזוק האינטגרציה בין בסיסי נתונים ממ"גיים ומודלים של לוגיקה עמומה ובאופן מיוחד לשילוב של מימד הזמן בממ"ג.

3. אזור המחקר

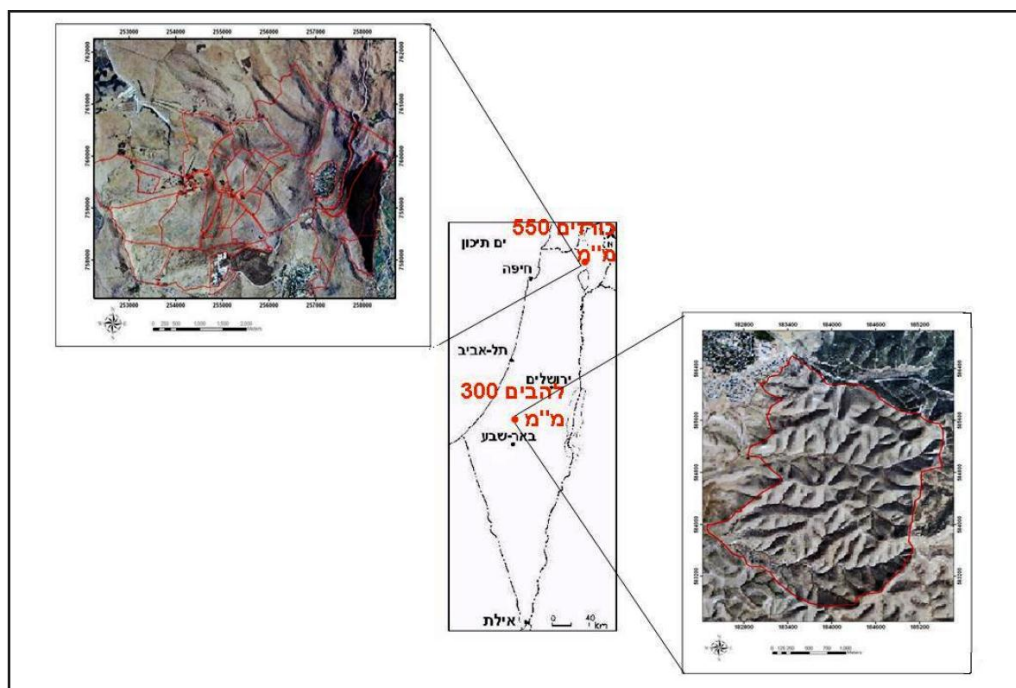
3.1 אתר כורזים

רמת כורזים שוכנת מצפון לכנרת. המחקר בוצע בחוות המחקר כרי דשא בקו רוחב $35^{\circ} 35'E$ וקו אורך, $32^{\circ} 55'N$, בגובה 80-150 מטר, מעל פני הים. הטופוגרפיה היא גבעית המכוסה בכיסוי אבני ברמות שונות, מבולדרים גדולים וצפופים ועד אבנים קטנות (Svoray et al., 2004) בשיפועים מתונים מתחת ל-10 מעלות (Sternberg et al., 2000). האקלים הוא חצי-צחיח, ומאופיין בחורף לח ומתון, עם כמות משקעים שנתית ממוצעת של 550 מ"מ גשם (מאוקטובר עד אפריל) וטמפרטורות מינימום ומקסימום בחורף $7^{\circ}C$ עד $14^{\circ}C$ בהתאמה. הקיץ יבש וחם, טמפרטורות המינימום והמקסימום הן $19^{\circ}C$ עד $32^{\circ}C$, בהתאמה (Sternberg et al., 2000). עונת הצימוח מתחילה עם תחילת העונה הלחה. נביטה של צומח עשבוני חד-שנתי מתרחשת מיד אחרי אירוע הגשם הראשון בעונה. הצימוח איטי בתחילת העונה (דצמבר וינואר) אך בסוף ינואר הצומח בדרך כלל מספיק מבוסס. עד סוף אפריל/אמצע מאי כאשר הלחות יורדת ב-20% (זליגמן וגוטמן, 1976), רוב הצומח העשבוני מתייבש והזרעים הופצו (Noy-Meir, 1989; Sternberg et al., 2000). חבורת הצומח היא עשבונית הנשלטת על ידי רב-שנתיים כגון: שעורת

הבולבוסין (*Hordeum bulbosum* L.), קיפודן (*Echinops* spp), שרעול מצוי (*Psoralea bituminosa* L.) וצומח עשבוני חד-שנתי כגון: שיבולת שועל נפוצה (*Avena sterilis* L.) ברומיות (*Bromus* spp) תלתנים (*Trifolium* spp) (Zohary, 1973).

3.2 אתר להבים

הטופוגרפיה מאופיינת במדרונות מתונים, מכוסים בכיסוי אבני בגודל הנע מאבנים קטנות ועד חצץ וחלוקים (Yair and Kossovsky, 2002). האקלים חצי-צחיח; העונה הלחה בין דצמבר למרץ (Osem et al., 2002). כמות המשקעים הממוצעת 296.3 מ"מ (Yair and Kossovsky, 2002), טמפרטורה שנתית ממוצעת 20.5°C הטמפרטורה הממוצעת לחודש החם ביותר 27.5°C , וטמפרטורה לחודש הקר ביותר 12.5°C . שכיחות השנים היבשות, שכמות המשקעים יורדת בהן ב-75% מהממוצע הרב שנתי הוא 1:4.4 (אונגר ושותפיו, 1999). הצומח בשטח המחקר מאופיין בשיחים בכיסוי מפורז, ובכתמי צומח עשבוני, חד-שנתי ברובו, הפזורים בין כתמי סלע ושיחים. במפנה הצפוני שולטת סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*) ונלווה אליה מתנן שעיר (*Thymilea hirsute*). במפנה הדרומי שולטת הקורנית המקורקפת (*Coridothymus capitatus*) (אונגר ושותפיו, 1999). הצומח העשבוני מופיע מיד אחרי הגשמים הראשונים למשך 2-5 חודשים, בתלות בכמות המשקעים (Danin and Orshan, 1990). איור 1 הוא מפה של שני האתרים.

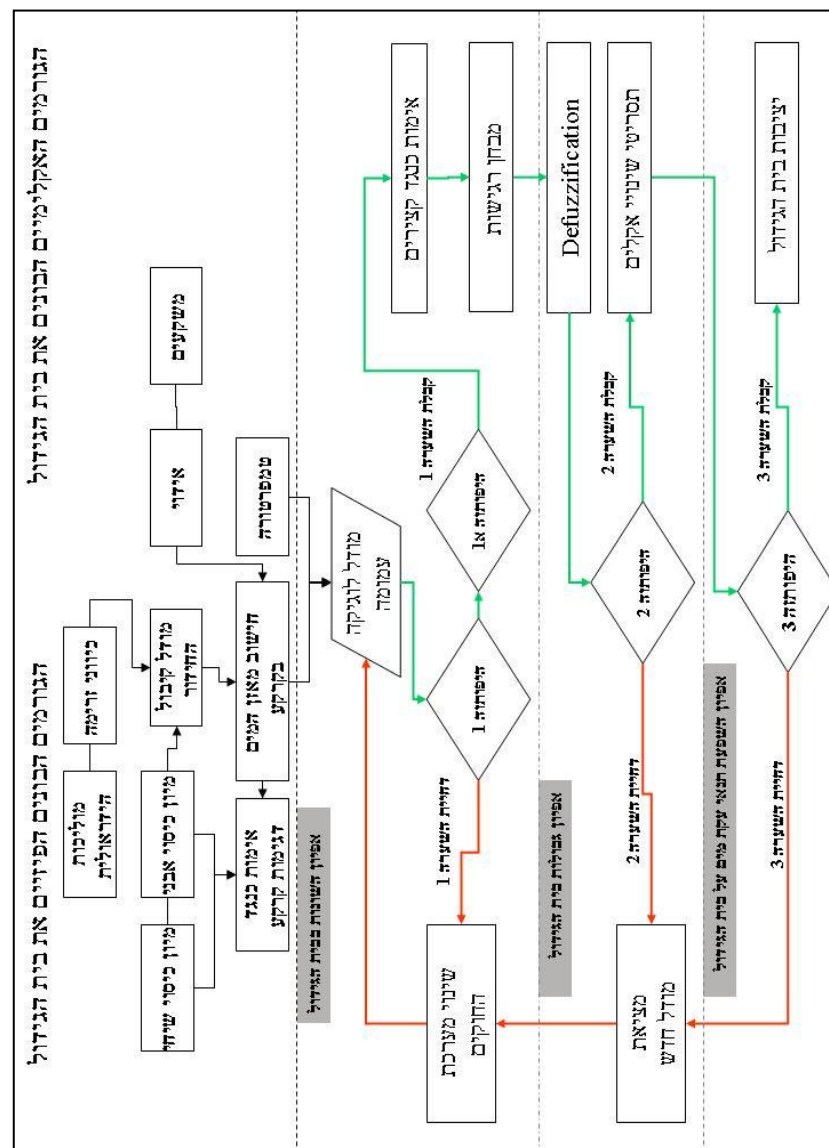


איור 1 : אתר להבים (במפה הימנית, האזור המסומן באדום מראה את שטח המחקר באתר זה) ואתר כורזים (במפה השמאלית, האזור המסומן באדום מראה את אזור המחקר וחלקות הדיגום).

4. שיטות

הפרקים הבאים מציגים את מהלך העבודה המבוסס על מיפוי ואימות המשתנים העקיפים, חישוב מודל לחיזוי נביטה ופוטנציאל ייצור ראשוני של צומח עשבוני חד-שנתי, ביצוע סקרי שדה על מנת לאמת את המודל. מהלך העבודה מוצג באיור 2:

- הקמת בסיסי הנתונים המרחביים (מ"ג).
- הגדרת חוקי המודל וניסוח מתמטי.
- הרצת המודל לבדיקות יציבות המשקולות.
- בדיקת המודל מול נתוני ייצור ראשוני מהשדה.
- בחינת תסריטי שינויי אקלים.



איור 2: תרשים זרימה של מהלך המחקר

4.1 בסיס נתונים

בסיס הנתונים מכיל שבעה משתנים בלתי תלויים (איור 2): שלושה משתנים סביבתיים: קרינה $[MJ/m^2]$, כיסוי אבני [%] ומחסור באוגר המים בקרקע $[cm]$. וכן ארבעה משתנים אקלימיים: גשם יומי

[מ"מ], אידוי יומי [מ"מ], טמפרטורה יומית [$^{\circ}\text{C}$] וכמות המים שנשארה במערכת בימים הקודמים (כמות נכנסת פחות כמות יוצאת) [מ"מ].

4.2 תסריטים לחיזוי שינוי אקלים

קיימות מספר הצעות לגבי דגם השינויים בתנאי האקלים אשר התרחשו באזורנו בעבר ובהווה (שינויים מדודים) ושינויים חזויים עבור העתיד. הבחירה של הדגמים אשר ישמשו לבחינת המודל שפיתחנו נובעת משני תנאים: (א) לא ניתן לבודד את הגורמים האקלימיים אחד מהשני; (ב) לא ניתן לאגור תנאים מעונות קודמות מאחר וצומח עשבוני חד שנתי מתחיל בכל עונה לחה את מחזור חייו מחדש.

בשלב זה של המחקר, נבדקה ההשפעה של שינויים בכמות, בתדירות ובעוצמה של המשקעים בנוסף לעלייה בטמפרטורה ובאידוי על תהליכי הייצור הראשוני על מנת לקבוע האם שינויים אלו, לאורך זמן, ישנו את יציבות בית הגידול העשבוני החד-שנתי.

השפעה זו נבדקה על ידי יצירת עונות היפותטיות אשר מדמות את תנאי האקלים החזויים או הצפויים על פי הספרות המדעית כך שנבדקו שישה תסריטים: (1) תסריט בו כמות הגשם ירדה בכל פעם ב-5% מהכמות הממוצעת (7 הרצות בהן ירדה הכמות 5-35%); (2) תסריט בו מספר האירועים בעונה בהם ירד גשם אפקטיבי (מעל 10 מ"מ) גדל לעומת ירידה בתדירות הופעת אירועי הגשם (תסריט זה חושב 4 פעמים כאשר כמות הגשם ירדה בין 20-35% מהכמות המשקעים הממוצעת); (3) תסריט בו הטמפרטורה העונתית עלתה ב- 1.5°C והאידוי העונתי ב-10% כאשר כמות המשקעים העונתית ירדה 20-35% מהכמות המשקעים העונתית הממוצעת (4 הרצות); (4) העונה התחילה בסוף דצמבר- תחילת ינואר (תסריט זה חושב 4 פעמים כאשר כמות הגשם ירדה 20-35% מכמות המשקעים הממוצעת); (5) התרחשה עצירת גשמים באמצע העונה לאורך 43 ימים (תסריט זה חושב 4 פעמים כאשר כמות הגשם ירדה 20-35% מהכמות המשקעים הממוצעת); (6) העונה נגמרה מוקדם בסוף חודש פברואר (תסריט גם כן חושב 4 פעמים כאשר כמות הגשם ירדה בין 20-35% מהכמות המשקעים הממוצעת).

על מנת לאכלס את ששת התסריטים נבחנו נתוני כמויות הגשם בכל חודש בכל שנה. הגשם חולק לשתי קבוצות: גשם אפקטיבי וגשם לא אפקטיבי. גשם אפקטיבי לצומח באזור החצי-צחיח, הוגדר על ידי Noy (1973) ככמות גשם העולה על 10 מ"מ. מצאנו, שלתקופה הנתונה, 65% מן האירועים בלהבים הם אירועי גשם אפקטיבי ואילו בכורזים כ-67% מן האירועים. כמו כן נספרו מספר ימי הגשם הממוצע בכל חודש. בלהבים נמדדו 50 ימי גשם בממוצע בעונה ואילו בכורזים 58 ימי גשם בממוצע לעונה. נתון זה נמצא בהסכמה עם Noy-Meir (1973) שמצא כי האזור החצי-צחיח מאופיין ב-50 ימי גשם בממוצע לעונה. לאחר מכן אופיינו ערכי הטמפרטורה והאידוי הממוצעים לערכים המזעריים והמרביים בכל חודש בעונה. בעזרת נתונים אלו נבנה לכל חודש דגם פיזור של ימים גשומים ויבשים. באופן דומה נבחנו נתוני המשקעים הממוצעים לעונה, בכל חודש לאורך העונה, ונבחנו ערכי מקסימום ומינימום של כמויות המשקעים בכל חודש.

מספר ימי הגשם בכל חודש נקבע על ידי פונקציית RAND, וכך גם כמות הגשם, הטמפרטורה והאידיוי הנבדקים על פי התסריט. נתונים אלה "הוגרלו" מתוך טווחי הממוצעים החודשיים. לאחר מכן נבחרו נתוני הטמפרטורה והאידיוי לאותם ימים בהם לא ירד גשם בכל חודש.

4.3 שינויים ארוכי טווח בתנאים ומשאבים

שינויים בדגמים המרחביים נבדקו בשני אזורי מחקר באזור חוות המחקר כרי דשא (רמת כורזים) לאורך 21 שנה ובאזור גבעות גורל (להבים) לאורך 30 על ידי מודל ממ"ג ברזלוציה מרחבית (25 מ' לתא) ועיתית גבוהה (יום). הפורמולציה המתמטית של מודל פורטה בדוחות הקודמים וכן פורסמה בכתב עת מדעי. לצורך מעקב אחר שינויים בדפוסים המרחביים השתמשנו בשלושה משתנים אוביקטביים לתיאור היחסים המרחביים בין התאים במודל (כל תא מייצג כמות ביומסה עשבונית ג'מ²): כיסוי צומח של רמות ביומסה עשבונית שונות, הטרוגניות מרחבית של כיסוי הצומח העשבוני ואחידות הכיסוי.

(1) כיסוי צומח- הביומסה החזויה על ידי המודל חולקה לתשע קבוצות שכל קבוצה מייצגת כמות ביומסה שונה בלהבים כל 50 ג'מ² בלהבים (מ-0-50 עד- ג'מ² 400 >) ואילו בכורזים כל 100 ג'מ² (מ-0-100 ועד- ג'מ² 1000 >) בגלל ההבדלים בכושר הייצור הראשוני של כל אזור מחקר. השטח הכולל שכל רמת ביומסה מכסה בשטח המחקר בכל שנה חושב על היישום הממ"ג zonal cross-tabulate area tool.

(2) הטרוגניות המרחבית בייצור ראשוני (H') בכל שנה נבדקה על ידי האינדקס הפשוט Shannon-Weaver diversity index ערכים גבוהים של אינדקס זה משקפים את היכולת של שטח המחקר לכסות שטח גדול יותר. H מייצג את מספר רמות הביומסה המייצרות באותה שנה ו-pi מייצג את הכיסוי שכל רמת ביומסה ith מכסה בשטח ביחס לשאר לכיסוי של שאר רמות הביומסה.

$$H' = - \sum_{i=1}^H P_i \ln P_i$$

(3) אחידות הכיסוי הצומח (D) בכל שנה נבדקה על ידי Dominance index אינדקס זה בודק את מידת ההשפעה שיש לכל צבר תאים המייצג רמת ביומסה על התאים האחרים המייצגים רמות ביומסה אחרות במרחב. קבוצות דומיננטיות מייצגות על ידי צברים גדולים של תאים ישפיעו יותר על קבוצות להן צברי תאים קטנים. אינדקס כאשר H מייצג את רמות הביומסה המייצרות באותה שנה ו-pi מייצג את אחידות הכיסוי של כל רמת ביומסה ith ביחס לשאר רמות הביומסה במרחב.

$$D = \left| \ln H - \sum_{i=1}^H P_i \ln P_i \right|$$

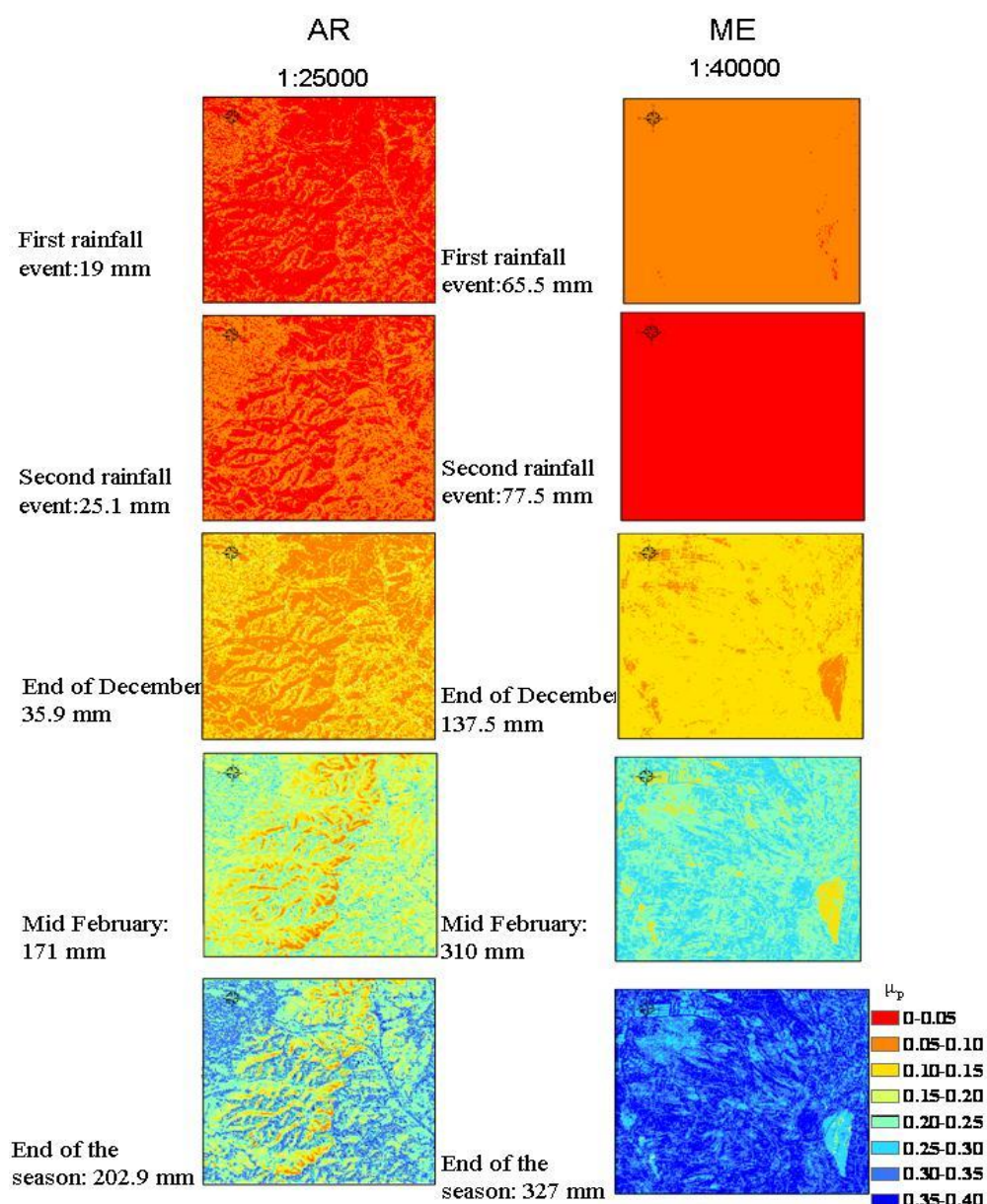
5. תוצאות ודיון

5.1 חיזוי עונתי ואימות המודל כנגד קצירי צומח עונתיים

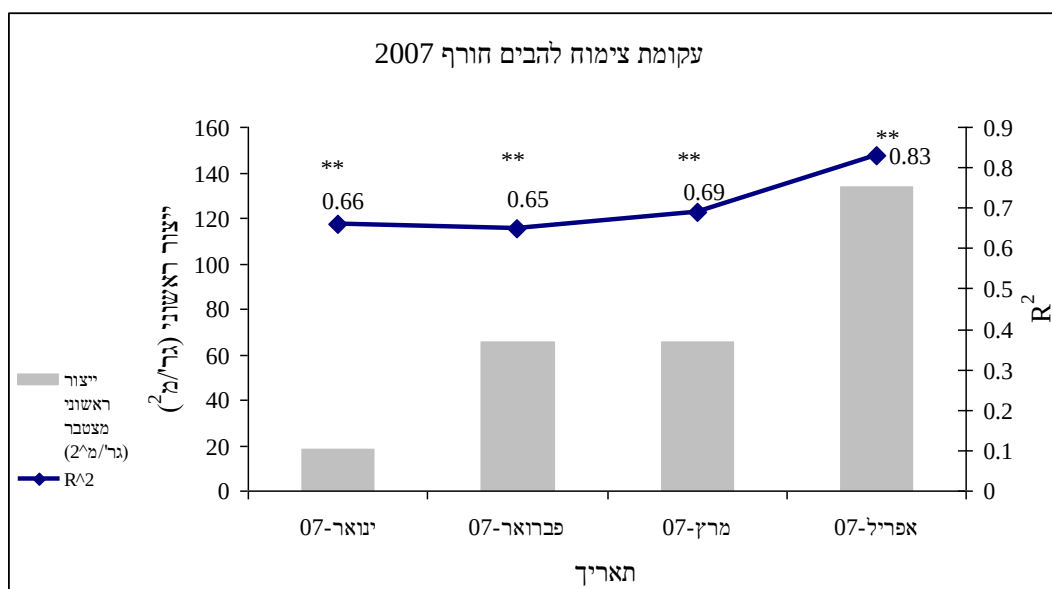
הקשרים בין תהליכים אקולוגיים והידרולוגיים נמצאים כיום במרכז ההתעניינות המדעית כאשר מדובר באזורים המוגבלים במשאבי מים (Wilcox and Newman., 2005), לכן, מידול של קשרים אלו מאפשר הבנה טובה יותר של תהליכים אקולוגיים מורכבים. יכולתו של מודל זה על פני מודלים אחרים נובע מכך ש: (1) הוא לוקח בחשבון משתנים סביבתיים כגון כיסוי אבני אשר משפעים מאוד על יכול הקרקע לאגור מים. (2) הוא לוח בחשבון שהזרימה באזורי אקלים אלה איננה רציפה לאורך המדרון ולכן הוא מדמה מנגנון נגר-חידור של מקור-מבלע (Yair and Kossovsky., 2002). (3) המודל מדמה את השונות העונתית והיומית בתפרוסת ובעוצמות הגשם וכן את התרומה המשתנה של הטמפרטורה לתהליכי נביטה וייצור ראשוני (Noy-Meir, 1973). במחקר זה מודל מבוסס תהליך חושב עבור שלושת השנים בהן בוצע המחקר כך שניתן לראות כי המודל מסוגל לחזות בצורה טובה את השינויים בכמות הייצור הראשוני בין שני אזורי המחקר לדוגמא: איור 3, אשר מראה את חורף 2007-2008 שנחשב לעונה שחונה מבחינת כמויות המשקעים. ניתן לראות כי בחורף זה כמות המשקעים הייתה נמוכה בשני האזורים ובתחילת עונת הצימוח ערכי הייצור הראשוני היו דומים בשני אזורי המחקר, אך לקראת סוף העונה ניתן לראות כי באזור להבים עדיין יש אזורים בהם הייצור הראשוני נמוך ואילו באזור כורזים יש עלייה לערכים גבוהים המאפיינים שנה זו. יש לציין כי למרות שחורפים 2008 ו-2009 היו שנות בצורת קשה המודל מידת החיזוי של המודל לא השתנתה (טבלה 1), אך מתוך איור 4 ניתן לראות כי החיזוי בתחילת ובאמצע העונה היא נמוך יותר והוא מתחיל להשתפר לקראת שיא עונת הצימוח.

טבלה 1: מראה את ההבדל הקיים בין עונת הצימוח 2007 לעונת הצימוח 2008 שבה תנאי האקלים העונתיים מאפיינים בצורת

	R^2	p	a	b	n
להבים					
2007	0.83	**	802.91	-111.36	12
2008	0.79	**	485.11	-70.58	12
כורזים					
2007	0.64	**	3883	-1572.5	26
2008	0.65	**	3584.2	-889.71	21



איור 3: חיזוי המודל של שלבים פנולוגיים שונים בייצור הראשוני של צומח עשבוני לאורך עונת הצימוד 2007-2008 בשני אתרי המחקר: כורזים (ME) ולהבים (AR).



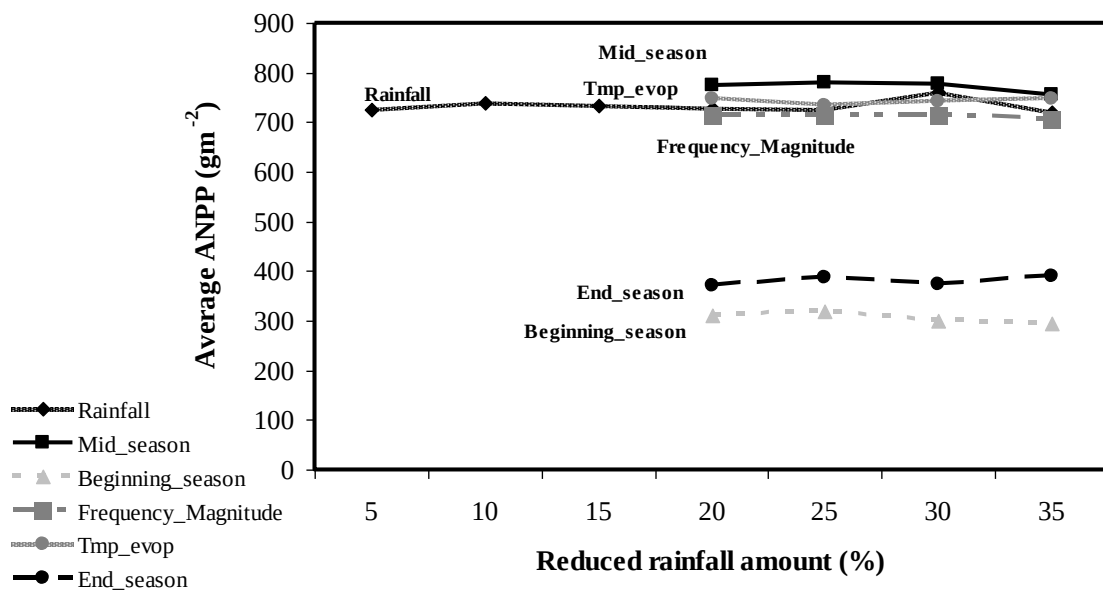
איור 4: עקומת צימוח של אזור להבים בעונת הצימוח 2007 העמודות האפורות מראות את כמות הייצור הראשוני הממוצע לאזור כפי שנחזה על ידי המודל והעקומה הכחולה מסמנת את הקשר בין קצירי ביומסה אשר נקצרו באותו תאריך בשדה לחיזוי המודל.

5.2 תוצאות תסריטים החזים שינויי אקלים

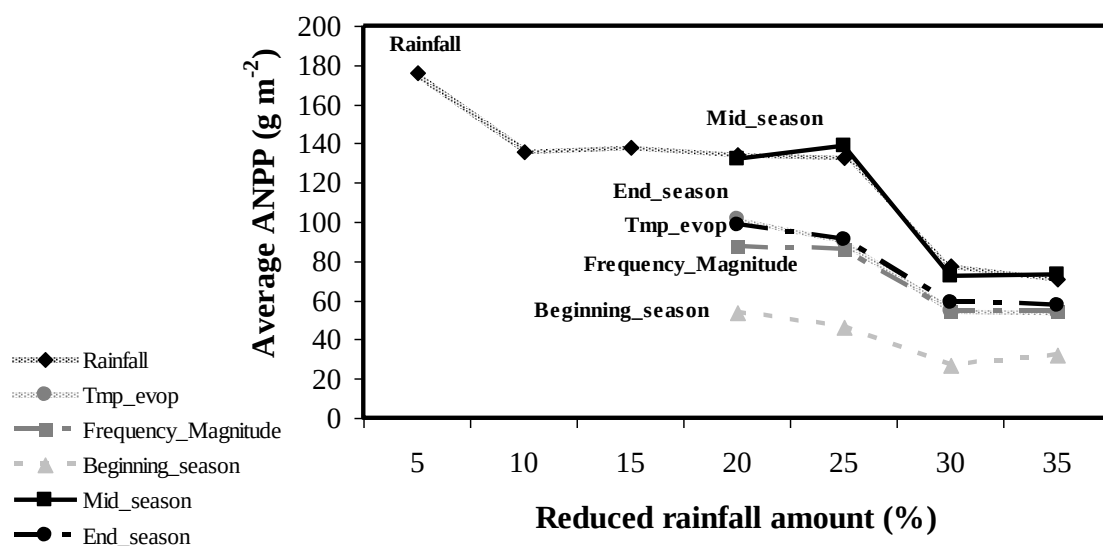
תוצאות שינויי האקלים השוו לתוצאות הייצור הראשוני הרב-עיתי שהוצגו בדוח הקודם במטרה לקבוע האם הייצור הראשוני מגיב לשינויים החזויים והצפויים בדומה לשנים אמיתיות או שניתן לראות תגובה חדשה שלא נצפתה באזורי המחקר.

תוצאות תסריטי שינויי אקלים בכורזים (איור 5) מראה כי ברוב התסריטים (ירידה בכמות הגשם, עליה בטמפרטורה והאידיוי העונתיים, עלייה בעוצמת אירועי הגשם לעומת ירידה בתדירות הסופות ועצירת גשמים לאורך תקופה ארוכה באמצע העונה) הייצור הראשוני המצטבר בסוף העונה לא רק שלא קטן כתוצאה מירידה בכמות המשקעים בכל הרצה אלא הראה תוצאות הדומות לשנים לחות אמיתיות ורק כאשר העונה התחילה בסוף חודש דצמבר-תחילת ינואר וכאשר העונה הסתיימה בסוף פברואר-תחילת מרץ הייצור הראשוני ירד אומנם לרמה הנמוכה שנראתה בשנים אמיתיות אך עדיין לא הראה ירידה לערכים שטרם נראו באזור זה.

באזור להבים (איור 6) ניתן לראות כי בכל ששת התרחישים ירידה בכמות המשקעים מתחת ל-25% הייצור הראשוני ירד לרמה הנמוכה של הייצור הראשוני בשנים אמיתיות בשילוב שינויים בתפרוסת, עוצמה או תדירות המשקעים. כאשר בתסריטים סוף-העונה, טמפרטורה-אידיוי, עוצמה תדירות ותחילת-העונה הייצור הראשוני הראה ירידה לרמת הייצור הנמוכה כבר לאחר ירידה של 20% מכמות המשקעים השנתית הממוצעת. אך גם באזור זה כמו בכורזים הייצור הראשוני לא הראה ירידה לערכים הנמוכים מאלו שנראו בשנים אמיתיות. יש לציין כי במחקרים קודמים הראו כי ירידה בערכי ייצור ראשוני לרמת הייצור הנמוכה מלווה בשינויים בדפוסים המרחביים של הייצור הראשוני.



איור 5: תוצאות התסריטים שחושבו בכורזים. ציר X מראה על כמות המשקעים שירדה מכמות המשקעים השנתית באחוזים, ציר Y מראה את הייצור הראשוני השנתי הממוצע לכל אזור המחקר.



איור 6: תוצאות התסריטים שחושבו בלהבים. ציר X מראה על כמות המשקעים שירדה מכמות המשקעים השנתית באחוזים, ציר Y מראה את הייצור הראשוני השנתי הממוצע לכל אזור המחקר.

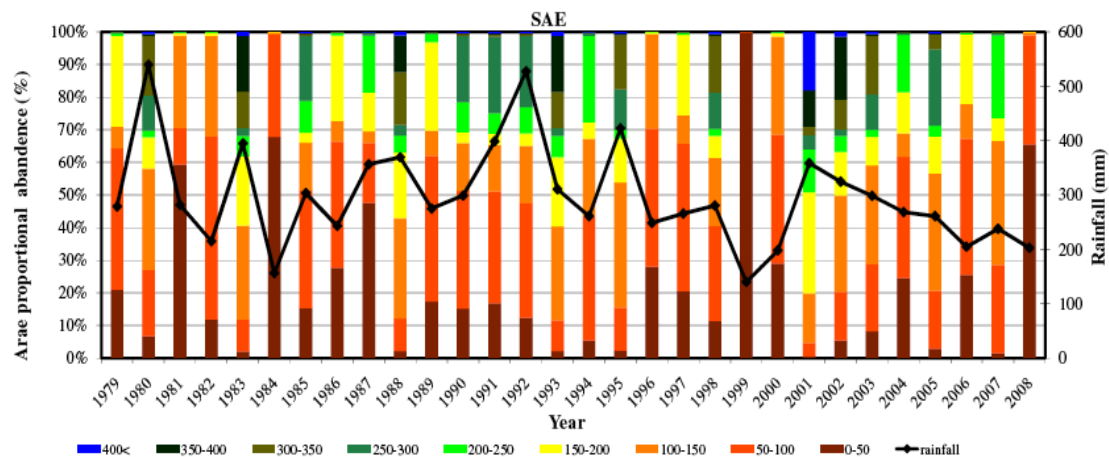
5.3 תוצאות ניתוח התנאים והמשאבים והשפעתם על הייצור הראשוני

שתי המערכות אקולוגיות חצי-צחיחות אשר נבחנו במחקר זה הראו גמישות לשינויים בכמות הגשם השנתית. למרות שהמערכת האקולוגית באזור כורזים הראתה יכולת עמידות טובה יותר עם הירידה בכמות הגשם. כאשר ניתן לראות באזור להבים (איור 7א') כי רמת הבימוסה הנמוכה ביותר המייצגת אזור חשוף עד כסוי נמוך (0-50 ג'מ²) מייצגת בין 10% בשנים בהן כמות המשקעים בין 300-400 מ"מ ועד 100% בשנת 1999 בה כמות המשקעים היתה הנמוכה ביותר כ-140 מ"מ ב-30 שנה האחרונות. הכיסוי המירבי

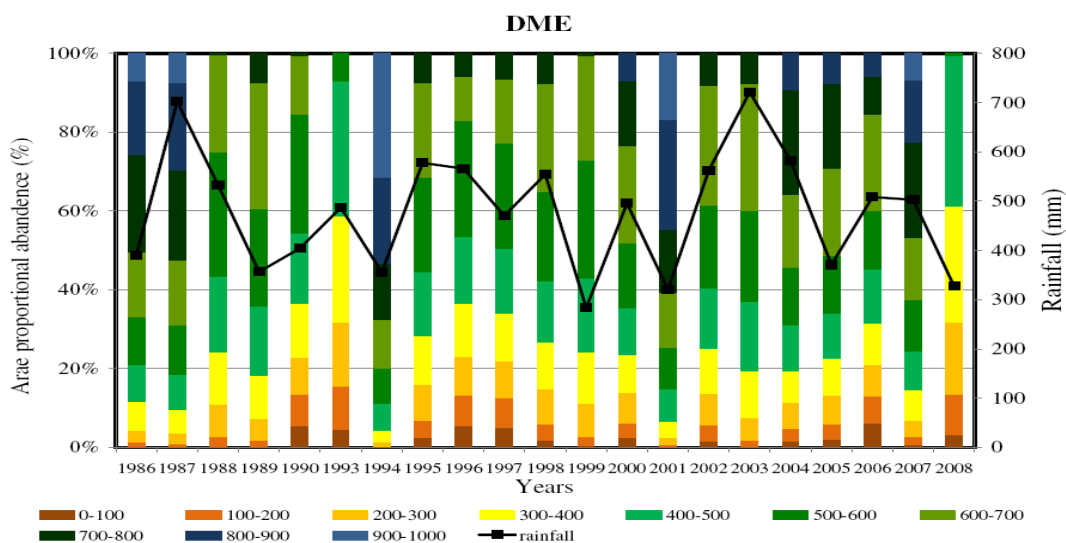
של רמות הבימסה הגבוהות נראה בשנים בהן כמות המשקעים היתה בין 300-400 מ"מ, בשנים בהן כמות המשקעים היתה גבוהה מ-400 מ"מ הכיסוי היה נמוך יותר. לעומת זאת, אזור כורזים (איור 7ב') הראה עמידות רבה לשינויים בכמות המשקעים כאשר בכל השנים, גם באלו שקיימת בהן ירידה של כמעט 150 מ"מ מהממוצע הרב שנתי (500 מ"מ) השטח מכוסה בכיסוי צימחי בינוני-גבוה 500-1000 ג'מ². גם כאשר מדובר בהטרונגניות המרחבית קיים נמצא קשר חזק ומובהק באזור להבים ($R^2=0.74$; $p<0.05$) בין כמות הגשם להטרונגניות המרחבית של הייצור הראשוני במרחב (איור 8א'). כאשר גם במקרה זה נראה כי ההטרונגניות המרחבית עולה עם כמות המשקעים המצטברת השנתית עד אשר כמות המשקעים היא בין 300 ל-400 מ"מ. כאשר כמות הגשם השנתית עלתה מעל 400 מ"מ ההטרונגניות המרחבית עולה. מגמה דומה נמצאה בהשפעה של כמות הגשם המצטברת השנתית על אחידות הכיסוי באזור זה (איור 3א'; $R^2=0.75$; $p<0.05$). באזור כורזים (איור 8ב') לעומת זאת, נמצא קשר חלש ($R^2=0.17$; $p<0.05$) בהשפעת כמות הגשם המצטברת השנתית על ההטרונגניות המרחבית ואף קשר חלש יותר בין כמות הגשם לאחידות הכיסוי הצימחי ($R^2=0.06$; $p<0.05$) אשר מעיד כי קיים מנגנון אחר מלבד הגשם אשר מניע וקובע את ההטרונגניות המרחבית.

במחקר זה אנו מציעים כי היכולת של הקרקע לאגור מים בשני אזורי המחקר היא המנגנון הקובע את היכולת של להראות עמידות כנגד שינויים בכמות הגשם השנתית, עמידות זו באה לידי ביטוי בדגמים המרחביים של הייצור הראשוני אשר עוקבים אחרי אזורים בהם זמינות המים לצמח משופרת. אך למרות שאזור להבים הראה עמידות נמוכה בשנים בהן כמות הגשם השנתית נמוכה לאורך 30 שנה ניתן לראות שגם לאחר מספר שנים שבהן יש הדלדלות בכיסוי הצימחי, קיים תהליך של התאוששות והופעה של רמות בימסה גבוהות.

א'7

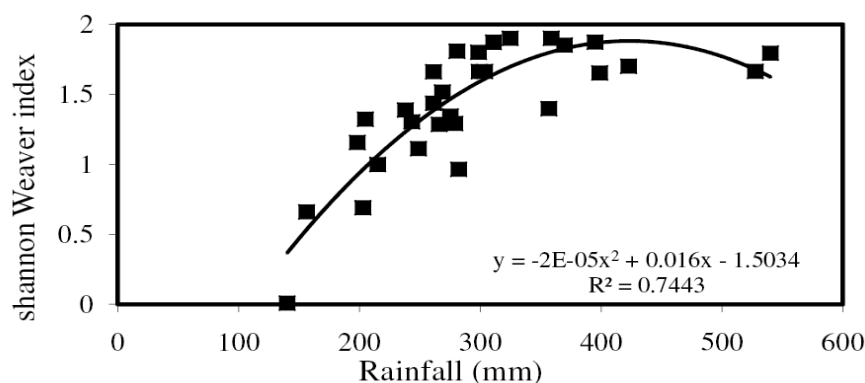


ב'7

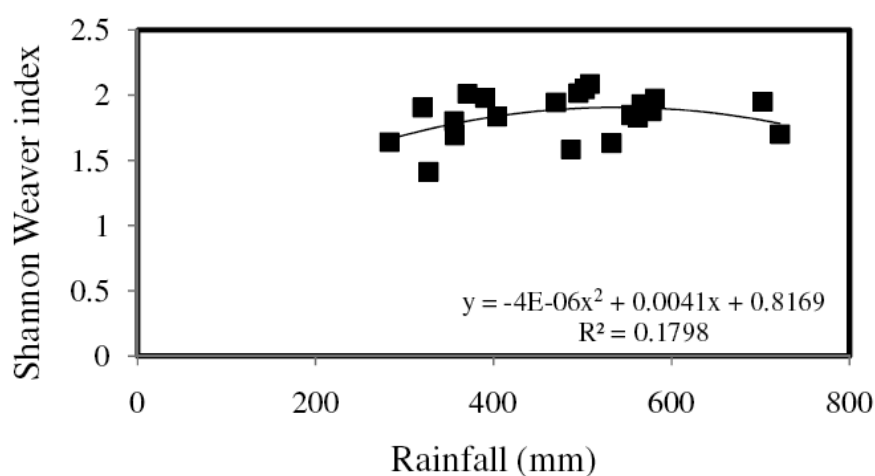


איור 7 : זה מראה את כיסוי הצומח של כל רמת ביומסה (%) בכל שטח מחקר בלהבים לאורך 30 שנה (7א') ובכורזים לאורך 21 שנה (7ב') כאשר 100% באזור להבים מייצג שטח של 25 קמ"ר ובאזור כורזים 50 קמ"ר. העקומה השחורה מייצגת את כמות הגשם המצטברת בכל שנה.

א'8



ב'8



איור 8: הקשר בין כמות המשקעים המצטברת העונתית להטרוגניות המרחבית של הקבוצות המייצרות באזור להבים (א'8) ובאזור כורזים (ב'8).

6. סיכום ומסקנות

במחקר זה פותח מודל מרחבי-עיתי מבוסס תהליך על מנת לחזות את התנאים היומיים לנביטה וייצור ראשוני לצומח עשבוני חד-שנתי על פי נתוני אקלים יומיים ונתונים מתת-מודלים סביבתיים אשר מדמים את תנאי זמינות המים היומיים לצמח. המודל חושב עבור שני אזורי אקלים המציינים את הגרדיאנט שבין הגבול העליון ותחתון של האזור החצי-צחיח.

(1) תוצאות אימות החיזוי של המודל עם קצירים באזור המחקר הראו קשר חזק בין קצירים

לייצור ראשוני. באזור החצי-צחיח נראה קשר חזק יותר מאשר באזור הים תיכוני.

(2) מבחן הרגישות הראה כי הגשם היומי הוא המשתנה התורם באופן מירבי לתהליך הייצור

הראשוני. בנוסף, לגורמים היוצרים את זמינות המים לצמח: טופוגרפיה (מחסור באוגר

המים) וכיסוי האבני יש תרומה גדולה לתהליך זה.

(3) הטמפרטורה היומית לנביטה ולייצור ראשוני נמצאה כגורם הכי פחות חשוב בתהליך

היצרנות.

- 4) תוצאות חיזוי השפעת שינויי אקלים חזויים וצפויים מראים כי שינויים בתפוצת המשקעים לאורך עונת הצימוח כגון: איחור בהתחלת העונה (העונה מחילה בסוף-דצמבר תחילת ינואר) או הקדמת סיום העונה (העונה מסתיימת בסוף-פברואר תחילת מרץ), ביאו לירידה הגדולה ביותר בכמות הייצור הראשוני בשני אזורי המחקר.
- 5) באזור הלהבים (300 מ"מ) ירידת כמות המשקעים השנתית מתחת ל-25% בכל התרחישים הביאה לירידה בכמות ייצור הראשוני בכל התסריטים.
- 6) באזור כורזים (550 מ"מ) ירידה בכמות המשקעים לא השפיעה על הייצור הראשוני ברוב התסריטים והכמות שהתקבלה הייתה גבוהה גם כאשר כמות המשקעים הייתה פחות מ-35% מכמות המשקעים הממוצעת השנתית.

7. רשימת ספרות

- אונגר, י. ד., א. פרבולוצקי, ר. יהונתן, ד. ברקאי, י. חפץ, וברעם, ח., 1999. ייצור ראשוני של המראה הטבעי בגבעות הנגב הצפוני- גורמים משפיעים והשלכות ממשקיות. אקולוגיה וסביבה 5: 130-138.
- זליגמן, ג., ומ. גוטמן, 1976. השפעת שיטות רעייה על הפיריון של מרעה טבעי באזור הים תיכוני של ישראל, בולטין 151, המחלקה לפירסומים מדעיים, מרכז וולקני, בית דגן.
- Cadenasso, M.L. et al., 2003. An interdisciplinary and synthetic approach to ecological boundaries. *Bioscience*, 53(8): 717-722.
- Coughenour, M.B. and Chen, D.X., 1997. Assessment of grassland ecosystem responses to atmospheric change using linked plant-soil process models. *Ecological Applications*, 7(3): 802-827.
- Danin, A. and Orshan, G., 1990. The Distribution of Raunkiaer Life Forms in Israel in Relation to the Environment. *Journal of Vegetation Science*, 1(1): 41-48.
- Fynn, R.W.S. and O'Connor, T.G., 2000. Effect of stocking rate and rainfall on rangeland dynamics and cattle performance in a semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Applied Ecology*, 37(3): 491-507.
- Grimm, V. et al., 1996. Pattern-oriented modelling in population ecology. *Science of the Total Environment*, 183(1-2): 151-166.
- Holling, C.S., 1992. Cross-Scale Morphology, Geometry, and Dynamics of Ecosystems. *Ecological Monographs*, 62(4): 447-502.
- Huenneke, L.F., Clason, D. and Muldavin, E., 2001. Spatial heterogeneity in Chihuahuan Desert vegetation: implications for sampling methods in semi-arid ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 47(3): 257-270.
- Jeltsch, F., Milton, S.J., Dean, W.R.J. and VanRooyen, N., 1996. Tree spacing and coexistence in semiarid savannas. *Journal of Ecology*, 84(4): 583-595.
- Lavee, H., A. C. Imeson, and P. Sarah., 1998. The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean-arid transect. *Land Degradation and Development*, 9(5): 407-422.
- Moloney, K.A. and Levin, S.A., 1996. The effects of disturbance architecture on landscape-level population dynamics. *Ecology*, 77(2): 375-394.
- Moorcroft, P.R., Hurtt, G.C. and Pacala, S.W., 2001. A method for scaling vegetation dynamics :The ecosystem demography model (ED). *Ecological Monographs*, 71(4): 557-585.
- Noy-Meir, I., 1973 Desert Ecosystems: Environment and producers. *Annual review of Ecology and Systematics*, 4: 25-51.
- Noy-Meir, I., M. Gutman, Y. Kaplan. , 1989. Responses of Mediterranean grassland plants to grazing and protection. . *Journal of Ecology* 77: 290-310.
- Osem, Y., Perevolotsky, A. and Kigel, J., 2002. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *Journal of Ecology*, 90(6): 936-946.
- Portoghesi, I., Uricchio, V. and Vurro, M., 2005. A GIS tool for hydrogeological water balance evaluation on a regional scale in semi-arid environments. *Computers & Geosciences*, 31(1): 15-27.
- Scurlock, J. M. O., Johnson, K., and Olson, R. J., 2002, Estimating net primary production from grassland biomass dynamic measurements. *Global Change Biology*, 8(8): 736-753.

- Sternberg, M., Gutman, M., Perevolotsky, A., Ungar, E.D. and Kigel, J., 2000. Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: a functional group approach. *Journal of Applied Ecology*, 37(2): 224-237.
- Svoray, T., Gancharski, S.B.Y., Henkin, Z. and Gutman, M., 2004. Assessment of herbaceous plant habitats in water-constrained environments: predicting indirect effects with fuzzy logic. *Ecological Modelling*, 180(4): 537-556.
- Svoray, T., Bar (Kutiel), P., and Bannet, T., 2005, The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. *Landscape and Urban Planning*, 72(4): 337-351.
- Wilcox, B.P., 2005. Ecohydrology of semi-arid landscape. *Ecology* 86: 275-276.
- Wilcox, B.P., and Newman, B.D., 2005. Introduction to Ecology Special Feature: Ecohydrology of semiarid landscapes, *Ecology* 86(2): 275-276.
- Wiegand, T., Revilla, E. and Moloney, K.A., 2005. Effects of habitat loss and fragmentation on population dynamics. *Conservation Biology*, 19(1): 108-121.
- Yair, A. and Kossovsky, A., 2002. Climate and surface properties: hydrological response of small and semi-arid watersheds. *Geomorphology*, 42(1-2): 43-57.
- Zohary, M., 1973. *Geobotanical foundations of the Middle East*. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, Germany and Zeitlinger, Amsterdam, the Netherlands.

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
(1) יצירת שכבות הבסיס המתארות את זמינות המים בקרקע: כיסוי אבני, מודל מחסור באוגר המים בקרקע ומודל קרינה; (2) פיתוח מודל החוזה את הייצור הראשוני של הצומח העשבוני; (3) אימות המודל מול נתוני שדה משני אזורי המחקר; (4) בחינת תסריטים החוזים את השפעת שינויי אקלים צפויים וחזויים על הצומח העשבוני החד-שנתי; ניתוח ארוך טווח של תנאים ומשאבים במרעה.
עיקרי הניסויים והתוצאות.
(1) תחזיות המודל אומתו כנגד קצירי צומח (ביומסה עשבונית) (בלהבים $0.66 < R^2 < 0.83$; $p < 0.05$, בכורזים $0.65 < R^2$; $p < 0.05$) וכן הורץ מבחן רגישות אשר בדק את תרומות משתני הקלט הבלתי תלויים על החזוי העונתי של הייצור הראשוני המצטבר בסוף עונת הצימוח. (2) תרומתם של משתני המודל נבדקו במבחן רגישות אשר בדק את מידת תרומתם של הגורמים התורמים לתהליך הייצור הראשוני במודל. תוצאות מבחן זה הראו כי גשם יומי הוא המשתנה התורם ביותר לתהליך הייצור הראשוני ואילו הטמפרטורה היומית היא המשתנה התורם הכי פחות לתהליך זה באזור האקלים החצי-צחיח. (3) דמוי השפעת תרחישי שינויי אקלים חזויים ונצפים בספרות המדעית על הייצור הראשוני מראה כי: (א) בשני אזורי האקלים הייצור הראשוני יפגע באופן מירבי כאשר העונה תחל בסוף דצמבר-תחילת ינואר; (ב) באזור כורזים הייצור הראשוני יפגע רק כאשר תפרוסת המשקעים לאורך עונת הצימוח תשתנה כך שעונת הצימוח תתקצר; (ג) באזור הלהבים בכל תסריטי שינויי האקלים ירידה בכמות המשקעים השנתית מעבר ל-25% בשילוב שינויים בתפרוסת/ עוצמה ותדירות המשקעים תגרום לירידה בכמות הייצור הראשוני לאורך עונת הצימוח.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
(1) השוואת תוצאות המודל עם קצירים באזור המחקר הראו קשר חזק בין קצירים לחזוי ייצור ראשוני. (2) מבחן הרגישות הראה כי הגשם היומי הוא המשתנה בעל התרומה המירבית לייצור הראשוני. בנוסף, לגורמים היוצרים את זמינות המים לצמח: טופוגרפיה (מחסור באוגר המים) וכיסוי האבני יש תרומה יחסית גדולה ליצרנות. (3) הטמפרטורה היומית לנביטה ולייצור ראשוני הייתה גורם פחות חשוב לתהליך הכללי. (4) תוצאות חזוי השפעת שינויי אקלים חזויים וצפויים מראים כי שינויים בתפרוסת המשקעים לאורך עונת הצימוח כגון: איחור בהתחלת העונה (העונה מתחילה בסוף-דצמבר תחילת ינואר) או הקדמת סיום העונה (העונה מסתיימת בסוף-פברואר תחילת מרץ), יגרמו לירידה הגדולה ביותר בכמות הייצור הראשוני בשני אזורי המחקר. (5) באזור הלהבים (300 מ"מ) ירידת כמות המשקעים השנתית מתחת ל-25% בכל התרחישים הביאה לירידה בכמות ייצור הראשוני בכל התסריטים. (6) באזור כורזים (550 מ"מ) ירידה בכמות המשקעים לא השפיעה על הייצור הראשוני ברוב התסריטים והכמות שהתקבלה הייתה גבוהה גם כאשר כמות המשקעים הייתה פחות מ-35% מכמות המשקעים הממוצעת השנתית.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטוט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.

Svoray, T., Shafran-Nathan, R., Henkin, Z., and Perevolotsky, A., 2008. Spatially and temporally explicit modeling of conditions for primary production of annuals in dry environments. *Ecological Modelling*, 218: (3-4) 339-353.

Shafran-Nathan, R., Svoray, T., and Perevolotsky, A., Long-term variation in primary productivity of water-restricted environments: a spatio-temporal analysis. In review.

Shafran-Nathan, R., Svoray, T., and Perevolotsky, A., The resilience of water-limited ecosystems in response to climate change predictions and under dry conditions. In review.

שפרן-נתן, ר., סבוראי, ט., ופרבולוצקי, א., 2009. חיזוי שינויים בייצור של צומח עשבוני כתגובה

לשינויים בתכונות גשם וטמפרטורה. אופקים בגיאוגרפיה, 72, In press.

Shafran-Natan, R., Svoray, T. and A. Perevolotsky., 2007. Spatial modeling for annual grassland response to climate change at the slope level. *ECEM 2007*

שפרן-נתן, ר., סבוראי, ט., ופרבולוצקי, א., 2007. השפעת שינויי אקלים על ייצור ראשוני של צומח

עשבוני: תוצאות מסימולציה ברזולוציה גבוהה. כנס החברה הגיאוגרפית, באר שבע, 2007.

פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)

לפרסם <

האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן