

דו"ח לתכנית מחקר מספר 12-0637-857

אדפטציה ממשקית לשינוי אקלים בייעור מדברי

Interface adaptation to climate change in dryland forest

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

נ"י

ארנון קרניאלי המעבדה לחישה מרחוק, המכונים לחקר המדבר ע"ש בלומשטיין אוניברסיטת בן גוריון.

משה שחק המכונים לחקר המדבר ע"ש בלומשטיין אוניברסיטת בן גוריון

אלי צעדי מנהל למחקר החקלאי גילת

טרין פז- כגן המכונים לחקר המדבר ע"ש בלומשטיין אוניברסיטת בן גוריון, המעבדה לחישה מרחוק

Arnon Karnieli, Moshe Shachak, and Tarin Paz-kagan, Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev, Sede Boqer Campus, 84990, Israel karnieli@bgu.ac.il, shachak@bgu.ac.il

Eli Zaady, Department of Natural Resources and Agronomy, Agricultural Research Organization, Gilat Research Center, Mobile Post Negev 2, 85280, Israel zaadye@volcani.agri.gov.il

תקציר

שינויי אקלים ותהליכי מידבור מאופיינים בשינוי במבנה ותפקוד מערכות האקולוגיות הנובעים גם משינוי בכיסוי הנופי. לתהליכים אלו שונות מרחבית ועיתית. מטרת המחקר היא לבצע ניתוח מרחבי-עיתי לזיהוי השינויים בכיסוי הנופי ע"י בחינת שינוי בכיסוי הקרקע, הצומח, והנוף, בעקבות רצף שנות בצורת, במערכות קציר נגר ובמערכת טבעיות ממדוברת בקנה מידה אגני, בצפון הנגב. במחקר זה נעשה שימוש בשיטות ניתוח מרחבי-עיתי בעזרת חישה מרחוק ומערכת מידע גיאוגרפיות. לשם כך נבחרו שלושה מדדים מרכזיים להערכת השינויים (change detection) הכוללים: (1) מדד ספקטרלי של שינויי צמחייה Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) להערכת כיסוי הצומח; (2) מדד ספקטרלי של קרומי קרקע ביולוגיים Crust Index (CI) להערכת כיסוי קרקע; ו-(3) הערכת שינוי הכיסוי הנופי, בין השנים 2003 ל-2010. כמו כן נבחנה ההשפעה של משתנים סביבתיים על כיסוי הצומח וכיסוי הקרקע הכוללים: קרינה סולרית, שיפוע, מרחק מערוצי הנחלים, וכיסוי הנופי. הערכת ההשפעות הסביבתיות והמרחביות נעשו בעזרת שני מודלים גיאוסטטיסטיים (geographically weighted regression (GWR) ו-hot-spot analysis. תוצאות המחקר מראות כי ישנו שינוי שלילי בערכי NDVI (כיסוי צומח מועצה) במרבית אזור המחקר, שינויים חיוביים נמצאו בערוצי הנחלים הגדולים (ערוץ מסדר שלישי), ובמערכת קציר הנגר בין השנים 2010 ל-2003. לעומת זאת, שינוי חיובי נמצא בערכי ה-CI (כיסוי הקרקע) במרבית אזור המחקר בין השנים 2010 ל-2003. בבחינת השינוי בכיסוי הנופי נמצא התמרה של כ-39% בכלל שטח המחקר בכיסוי הנופי. שילוב של כלל המשתנים הסביבתיים הציגו ערכי מתאם גבוהים לחיזוי כיסוי קרקע וצומח. בבחינת ניתוח hot-spot נמצא כי ישנו דפוס ברור של התקבצות בערכי כיסוי הצומח בערוצי הנחלים הגדולים, דפוס אשר מתחזק ב-2010. לעומת זאת הדפוס המרחבי של כיסוי הקרקע אינו מראה מגמת התקבצות אלה התפשטות. מסקנות המחקר הן: (1) ישנה ירידה בכיסוי הצומח המעוצה ועליה בכיסוי הקרקע, דבר מעיד על תהליך מדבור והידלדלות משאבים; (2) שינוי בכיסוי הקרקע הביא לזליגה של משאבים ומים מהמדורנות לערוצי הנחלים הגדולים; (3) נמצא כי מערכת קציר הנגר מאיטה את קצב

הדרדרות המערכת, אך אינה מונעת את זליגת המשאבים ; (4) ניהול וממשק של מערכת קציר נגר הינו תהליך מורכב ודורש הבנה מערכתית בקנה מידה משתנה, בעתיד הקרוב יהיה צורך בהתאמת שיטת הממשק למודלים האקלימיים החוזים עליה בשכיחות הבצורת ואירועי קיצון.

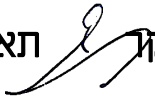
.....
..

הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן/*לא (מחק את המיותר)

***במידה וכן, על החוקר להמציא פרטים על הגוף שבאמצעותו מופץ הידע (כמו: שה"ם)**

חתימת החוקר  תאריך: 03 פברואר 2014

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

Paz-Kagan, T., Panov, N., Shachak, M., Zaady, E. and Karnieli, A. Landscape changes in desertified shrubland and runoff-harvesting systems, spatial - temporal approach in respect to drought years. Submitted to Landscape Ecology.

**משרד החקלאות - דו"ח לתוכניות מחקר
לקרן המדען הראשי**

קוד זיהוי	א. נושא המחקר (בעברית)
857-0637-012	אדפטציה ממשקית לשינויי אקלים בייעור מדברי

ג. כללי	
מוסד מחקר של החוקר הראשי	
אוניברסיטת בן גוריון	
תאריכים	סוג הדו"ח
תקופת המחקר	מסכם
עבורה מוגש הדו"ח	
תאריך משלוח הדו"ח למקורות המימון	התחלה
שנה חודש	שנה חודש
31.1.14	1.2.2013

ב. צוות החוקרים		
שם פרטי	שם משפחה	חוקר ראשי
ארנון	קרניאלי	
חוקרים משניים		
שחק	משה	1
ארבל	שמואל	2
צעדי	אלי	3
משה	יצחק	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

ה. תקציר שים לב - על התקציר להיכתב בעברית לפי סעיף ה' שבהנחיות לכתיבת דיווחים
--

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

23 ינואר 2014



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



ארנון קרניאלי¹, משה שחק¹, אלי צעדי² וטרין פז-כגן¹

¹ארנון קרניאלי המעבדה לחישה מרחוק, המכונים לחקר המדבר ע"ש בלומשטיין אוניברסיטת בן גוריון.

¹משה שחק המכונים לחקר המדבר ע"ש בלומשטיין אוניברסיטת בן גוריון

²אלי צעדי מנהל למחקר החקלאי גילת

¹טרין פז- כגן המכונים לחקר המדבר ע"ש בלומשטיין אוניברסיטת בן גוריון, המעבדה לחישה מרחוק

תקציר

שינויי אקלים ותהליכי מידבור מאופיינים בשינוי במבנה ותפקוד מערכות האקולוגיות הנובעים גם משינוי בכיסוי הנופי. לתהליכים אלו שונות מרחבית ועיתית. מטרת המחקר היא לבצע ניתוח מרחבי-עיתי לזיהוי השינויים בכיסוי הנופי ע"י בחינת שינוי בכיסוי הקרקע, הצומח, והנוף, בעקבות רצף שנות בצורת, במערכות קציר נגר ובמערכת טבעיות ממדוברת בקנה מידה אגני, בצפון הנגב. במחקר זה נעשה שימוש בשיטות ניתוח מרחבי-עיתי בעזרת חישה מרחוק ומערכת מידע גיאוגרפיות. לשם כך נבחרו שלושה מדדים מרכזיים להערכת השינויים (change detection) הכוללים: (1) מדד ספקטרלי של שינויי צמחייה Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) להערכת כיסוי הצומח; (2) מדד ספקטרלי של קרומי קרקע ביולוגיים Crust Index (CI) להערכת כיסוי קרקע; ו-(3) הערכת שינוי הכיסוי הנופי, בין השנים 2003 ל-2010. כמו כן נבחנה ההשפעה של משתנים סביבתיים על כיסוי הצומח וכיסוי הקרקע הכוללים: קרינה סולרית, שיפוע, מרחק מערוצי הנחלים, וכיסוי הנופי. הערכת ההשפעות הסביבתיות והמרחביות נעשו בעזרת שני מודלים גיאוגרפיים (geographically weighted regression (GWR),

1- hot-spot analysis. תוצאות המחקר מראות כי ישנו שינוי שלילי בערכי NDVI (כיסוי צומח מועצה) במרבית אזור המחקר, שינויים חיוביים נמצאו בערוצי הנחלים הגדולים (ערוץ מסדר שלישי), ובמערכת קציר הנגר בין השנים 2010 ל-2003. לעומת זאת, שינוי חיובי נמצא בערכי ה-CI (כיסוי הקרקע) במרבית אזור המחקר בין השנים 2010 ל-2003. בבחינת השינוי בכיסוי הנופי נמצא התמרה של כ-39% בכלל שטח המחקר בכיסוי הנופי. שילוב של כלל המשתנים הסביבתיים הציגו ערכי מתאם גבוהים לחיזוי כיסוי קרקע וצומח. בבחינת ניתוח hot-spot נמצא כי ישנו דפוס ברור של התקבצות בערכי כיסוי הצומח בערוצי הנחלים הגדולים, דפוס אשר מתחזק ב-2010. לעומת זאת הדפוס המרחבי של כיסוי הקרקע אינו מראה מגמת התקבצות אלה התפשטות. מסקנות המחקר הן: (1) ישנה ירידה בכיסוי הצומח המעוצה ועליה בכיסוי הקרקע, דבר מעיד על תהליך מדבור והידלדלות משאבים; (2) שינוי בכיסוי הקרקע הביא לזליגה של משאבים ומים מהמדרונות לערוצי הנחלים הגדולים; (3) נמצא כי מערכת קציר הנגר מאיטה את קצב הדרדרות המערכת, אך אינה מונעת את זליגת המשאבים; (4) ניהול וממשק של מערכת קציר נגר הינו תהליך מורכב ודורש הבנה מערכתית בקנה מידה משתנה, בעתיד הקרוב יהיה צורך בהתאמת שיטת הממשק למודלים האקלימיים החוזים עליה בשכיחות הבצורת ואירועי קיצון.

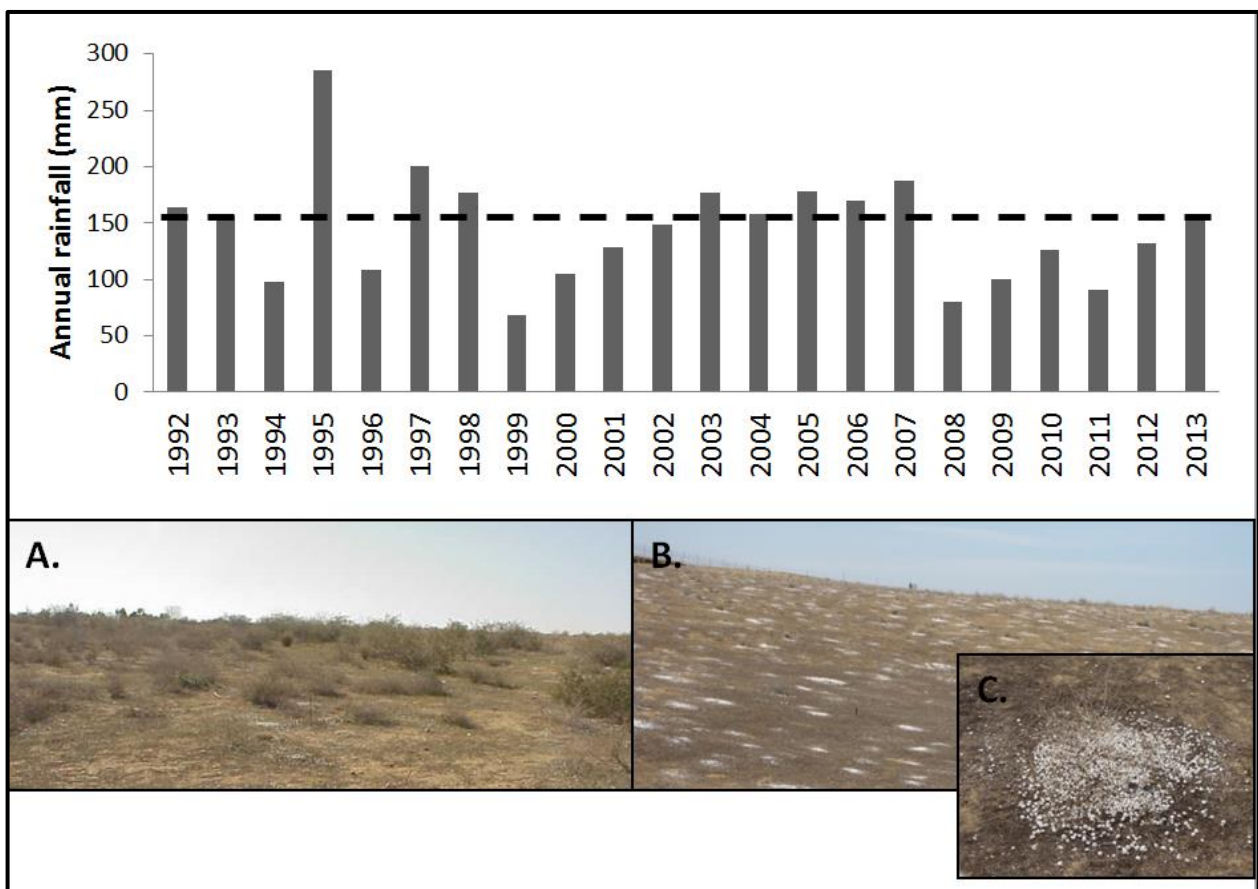
1. מבוא

תהליך מדבור מוגדר כהידלדלות קרקע וצמחייה של אזור מדברי או מדברי למחצה הנובע ממגוון גורמים הכוללים שינוי אקלים ופעילויות אדם. תהליכי המדבור גורמים להפרעה ולהפחתה בפוטנציאל של המערכת לתפקד ולתמוך בשירותי מערכת [1-3]. מדבור נובע מניצול יתר של המשאבים הקיימים במערכת המדברית, כלומר, ניצול מעבר לכושר הנשיאה של המערכת האקולוגית. פעילויות האדם כוללות רעיית יתר, כריתת יער, ושינוי בשימושי הקרקע. השינויים האקלימיים כוללים עלייה בשכיחות בצורות, עלייה באירועים מטאורולוגיים קיצוניים, ובעיקר גשמים, היוצרים שיטפונות באזורים מדבריים ומדבריים למחצה [4]. למרות שקיים קושי להפריד שבין השינויים הנובעים מפעילות אנושיות או משינוי אקלימי, התוצאה אחידה – הידלדלות של משאבי המערכת, סחף קרקע, זליגה של משאבים מהמערכת האקולוגית, והפחתה במגוון הביולוגי, מבנה, ותפקוד המערכת האקולוגית [5].

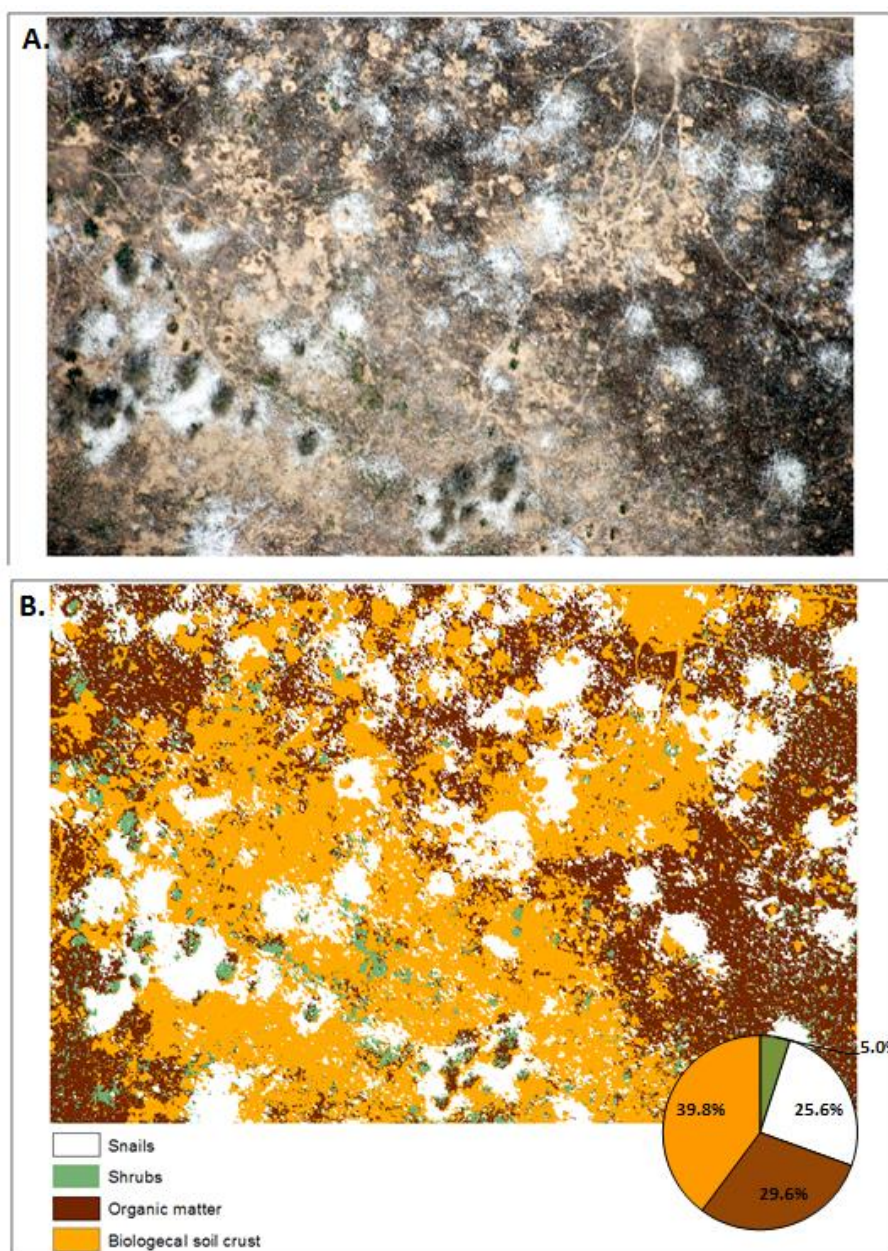
שינויים בתפקוד מבנה המערכת האקולוגית תלויים לרוב בשינוי המבנה הכתימי של המערכת ושינוי הכיסוי הנופי, קרי – שינוי ביחסי הכתם הקרקעי והצמחי. מרבית המערכת המדבריות הינן מערכות דו-כיתמיות של מקור ומבלע. המבלע הינו כתם של הצומח מעוצה (שיח) ואילו המקור הינו כתם הקרקע (קרום הקרקע) [6-9]. ישנה זרימה של משאבים ומים מהמקור אל המבלע. זרימת המשאבים במערכת דו-כיתמית זאת המבוססת על היחסים בין שני מהנדסי הסביבה אלו, ומשפעת מגודלם ורציפותם [10, 11]. בשנים האחרונות ישנן עדויות לעליה בטמפרטורה, תדירות גבוהה יותר של בצורות, ושינוי בדפוסי אירועי הגשם באזור המדברי למחצה של צפון הנגב [12]. בעקבות שינויים אלו נצפתה ירידה בשכיחות השיחים והתפשטות של הכתם הקרקע [11] בקנה מידה קטן. שינויים אלו בכיסוי הקרקע משפיעים בקנה מידה רחב (אגני) על זרימה בערוץ הנחל. הזרימה בערוצים תלויה ביצור הנגר מהכתם הקרקעי וקליטתו בכתם השיחי. תהליכים אלו של הגברת נגר וקליטתו תועדו בקנה מידה קטן ונובעים לרוב משינויים בקצבי החלחול והחדור של המים לקרקע [13]. העוצמה והתדירות של זרימת נגר אל ערוצי הנחלים תלויה ביחס של המבנה הכימי במדרונות. הפחתה בשכיחות הצומח המעוצה בעלת השפעה על זרימת המשאבים במערכת מדבריות אלה. תהליך זה של הידלדלות משאבים מאפיין במערכות עניות הסובלות מזליגה של מים ומשאבים, ומחוסר היכולת של המערכת לעצור אותן בעזרת מחסום פיזי או ביולוגי.

אחת משיטות הממשק במערכת דו כיתמית מדולדלת היא שימוש במערכות קציר נגר. ממשק זה נעשה ע"י הוספה של מבלעים (שקעים) לאיסוף מים ומשאבים. מערכות אלה מאפיינות ביצירת תלוליות אשר מטרתן לעצור את זרימה המשאבים, ושקעים שמטרתם לאגור מים ומשאבים [14]. לרוב באזור השקעים נוטעים מיני צומח מעוצה. במחקר זה בחנו את ההשפעה של בצורות על כיסוי הקרקע, הצומח, והנוף במערכת דו-כיתמית של שיחים, ובמערכת קציר נגר בקנה-מידה אגני על ידי ניתוח השינויים העיתיים- והמרחביים. לשם כך אזור המחקר שנבחר הינו פארק סיירת שקד, בצפון הנגב. באזור זה תועדו רצף של שנות בצורות בין השנים 1999-2013. רצף שנות הבצורת כלל ירידה בממוצע משקעים מ-150 מ"מ גשם ל-100 מ"מ (איור 1). בצורות אלה גרמו לירידה בשכיחות הצומח המעוצה והגברת הזרימה בערוצי הנחלים. הירידה בשכיחות הצומח המעוצה אופיינה בכתמים לבנים סביב השיחים המתים. כתמים אלה הם של שבלולים מתים שניזונו מהשיחים (איור 1). הערכה של ההפחתה בשכיחות הצומח המעוצה היא של כ-83%, כאשר הכיסוי הנופי כולל: 39.8% כיסוי קרקעי, 29.6% חומר אורגני, 25.6% הצטברות של שבלולים, ו-5% שיחים חיים (איור 2). כמו כן, בחלק מאזור המחקר, בפארק סיירת שקד, קק"ל ביצעו בשנת 1995 נטיעות יער במערכת קציר נגר. מטרת הנטיעות לשקם מערכת הנמצאות בסכנה של הידלדלות, ולמנוע זליגה של משאבים וסחף קרקע. השילוב של מערכת טבעיות ממודברות ומערכת קציר נגר תאפשר לנו לבצע הערכה של ממשק אקו-הידרולוגי בקנה מידה אגני, ולבחון את ההשפעה של בצורות במערכת מדברית-למחצה.

איור 1: ממוצע משקעים שנתי באתר המחקר (סיירת שקד). (A) תמונה משטח המחקר בשנת 2003, (B) תמונה משטח המחקר בשנת 2010, (C) הצטברות של שבלולים מתים בסמיכות לשיחים המיובשים.



איור 2: (A) תצלום אוויר המציג את הכיסוי הנופי במערכת המחקר בסיירת שקד, (B) קלסיפיקציה לאחוזי כיסוי הנופי הכולל: שבלולים, חומר אורגני, קרקע, וצומח מעוצה ירוק.



2. מטרת המחקר והשערת המחקר

מטרות המחקר להשתמש בכלים של חישה מרחוק ומערכות מידע גיאוגרפיות בכדי להעריך את השינויים בכיסוי קרקע, צומח, ונוף בעקבות רצף שנות בצורת במערכת טבעיות ובמערכת קציר נגר בצפון הנגב. לשם כך נבחנו השינויים העיתיים ביו השנים 2003 ל-2010 ע"י שלושה מדדים מרכזיים: (1) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) להערכת כיסוי הצומח, (2) Crust Index (CI) להערכת כיסוי קרקעי, ו- (3) הערכת שינוי הכיסוי הנופי, בין השנים 2003 ל-2010. כמו כן נבחנה ההשפעה של משתנים סביבתיים על כיסוי הצומח וכיסוי הקרקע הכוללים: קרינה סולרית, שיפוע, מרחק מערוצי הנחלים, וכיסוי הנופי. הערכת ההשפעות הסביבתיות-מרחביות נעשו בעזרת שני מודלים גיאוסטטיסטיים: (1) geographically weighted regression (GWR), ו- (2) hot-spot analysis. השערות המחקר הן: (1)

המדדים שנבחרו ייצגו באופן מהימן את השינוי בכיסוי קרקע, צומח, ונוף, בעקבות שנות בצורת, ויאפיינו ע"י הפחתה בכיסוי הצומח המעוצה, והתפשטות בכיסוי הקרקעי, (2) שינויים אלו במבנה הדו-כיתמי של המערכת (כיסוי קרקע- צמח) שנצפו בקנה מידה קטן ישפיעו על זרימת המשאבים בכלל אגן הניקוז ונצפה לזרימה מהמדורות לכיוון ערוצי הנחל, (3) השימוש במשתנים סביבתיים יאפשרו הבנה נרחבת של שינוי בכיסוי קרקע והצומח, (4) לפעילות הממשקית תהיה השפעה על יחסי נגר וסחף קרקע ונצפה לשינויים בכיסוי במערכות השונות.

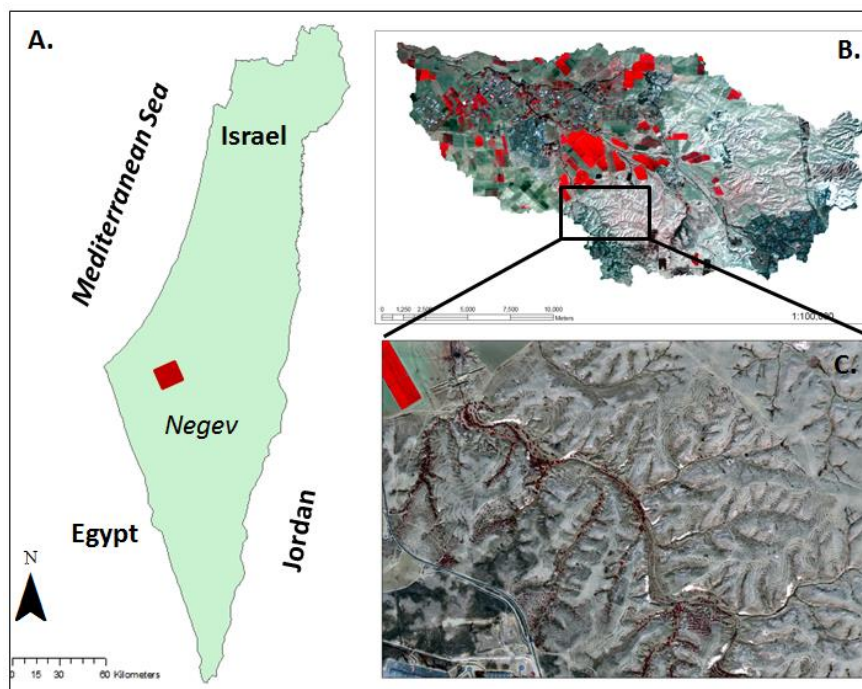
3. מתודולוגיה מחקרית

3.1 שטח המחקר

שטח המחקר ממוקם בצפון הנגב באזור מדברי למחצה, ברצועת המעבר בין האקלים צחיח לאקלים הצחיח למחצה. האתר נמצא צפונית לבאר שבע ($31^{\circ}17' N$, $34^{\circ}37' E$) ומהווה אתר תחנה לניטור ומחקר ארוך-טווח (LTER). ממוצע המשקעים השנתי הוא 150 מ"מ גשם. גובה הטופוגרפי 150-190 מטר מעל פני הים, הקרקע לסית (14% חרסית, 27% סילט, 59% חול- sandy loam texture). המערכת הטבעית הינה מערכת דו-כיתמית של שיחים וקרומי קרקע. השיחים הדומיננטיים הם: *Noaea mucronata*, *Atractylis comosa*, *Thymelaea hirsuta*. כיסוי קרקע בעיקר של קרומי קרקע הכוללים: ציאנובקטריה, אצות, וחזזית. הפארק כולל מערכות קציר נגר (שיחים) שמטרתן לכידה של הנגר, חומר אורגני, ומשאבים להגברת הפוריות של המערכת. השטח המנוהל הכולל הוא של כ- 445 הקטר וכולל מספר שיטות ממשק: (1) מערכת טבעיות ללא רעייה (LTER), (2) מערכת טבעיות המשלבת רעייה, (3) מערכת קציר נגר הכוללת ממשק הנדסי של התלוליות, (4) מערכת קציר נגר ללא ממשק, (5) ערוצי נחלים משלבים בממשק נטיעות.

איור 3: (A) מפת סכמתית של ישראל ושטח המחקר, (B) תצלום לוויין של אגן ההיקוות בנחל

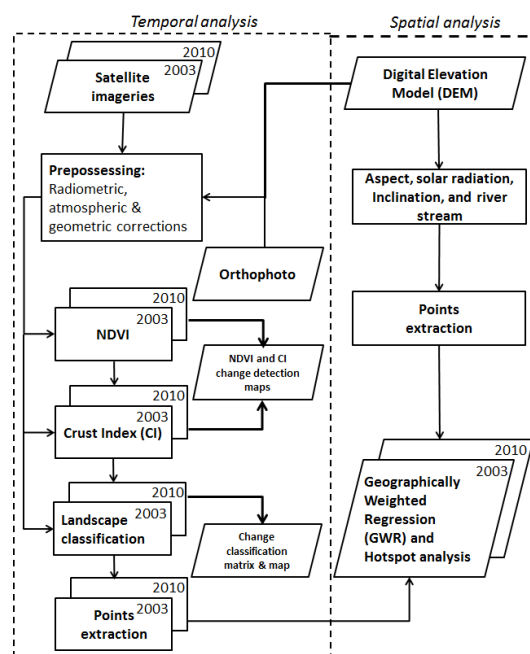
פטיש, ו-(C) תצלום לוויין של האגן הנחקר.



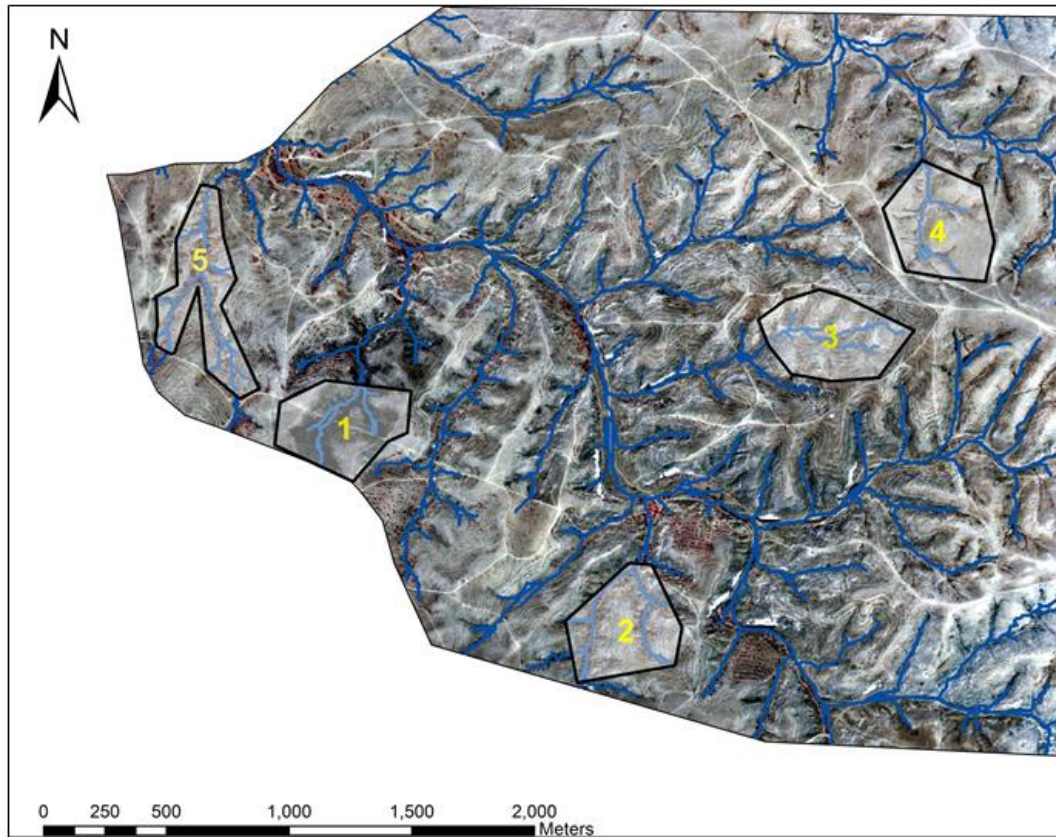
מחקר זה בחן את ההשפעות העיתיות והמרחביות של כיסוי קרקע, צומח, ונוף במערכת קציר נגר ובערכת טבעית מדולדלות. הניתוח עיתי והמרחבי כלל מספר קלטים (inputs) ושלבי עיבוד מקדים. נבחרו שתי הדמאות ברזולוציה מרחבית גבוהה (2 מטר פיקסל), בעלות ארבע אורכי-גל (G,B,R and NIR): (1) הדמאת לוויין Quickbird מהתאריך 17.09.2003, ו- (2) הדמאה WorldView-2 מהתאריך 28.10.2010. בחירת ההדמאות נעשתה לאחר תקופת יובש ארוכה של כ-5 חודשים, זאת בכדי להימנע מהשפעות כגון: צומח עשבוני, קרקע רטובה, או התפתחות של קרומי קרקע כתוצאה מגשמים (איור 4). העיבוד המקדים כולל תיקונים אטמוספרי, רדיומטרי, וגיאומטרי. התיקון הגיאומטרי נעשה ע"י שימוש באורטופוטו ברזולוציה מרחבית גבוהה של 1 מטר. התיקון הרדיומטרי והאטמוספרי נעשו בתוכנת ATCOR3. הערכת השינויים העיתיים נבדקו בעזרת שלושה מדדים: (1) מדד NDVI להערכת השינוי בכיסוי הצומח [15, 16], (2) מדד Crust index (CI) להערכת שינוי בכיסוי הקרקע (קרומי קרקע) [17], ו- (3) מדד להערכת השינוי הנופי נעשה ע"י שימוש בקלסיפיקציה המקוטלגת ל-6 קטגוריות: (1) עצים או שיחים, (2) כיסוי קרקע לבן-מאפיין דרכים ואזורי חציבה, (3) קרקע בהירה- מאפיינת קרומי קרקע לא מפותחים, (4) קרקע כהה – המאפיינת מבלעים ואזורים העשרים בחומר אורגני, (5) קרקע כהה מאוד – המאופיינת בריכוז גבוה של חומר אורגני, ו- (6) צל.

בכדי לבחון את השינויים המרחביים נבחרו ארבע משתנים: (1) קרינה סולרית, (2) שיפוע, (3) מרחק מערוצי הנחלים ו- (4) כיסוי נופי. שכבות אילו פותחו בעזרת (DEM) digital elevation model ברזולוציה מרחבית של 2 מטר, פיתוח נעשה בתכנת ArcGIS. השינויים העיתיים והמרחביים נבחנו בשטח המחקר כולל של כ-445 הקטר, ובאזורים בעלי מאפייני ממשק שונים, שנגזרו מתוך השטח הכולל. פעילויות הממשק אשר נבדקו כללו: (1) מערכת טבעית דו-כיתמית ללא רעייה (LTER), (2) מערכת טבעית דו-כיתמית עם רעייה, (3) מערכת קציר נגר מנוהלת, (4) מערכת קציר נגר לא מנוהלת, (5) וערוץ נחל מנוהל (איור 5). המערכות הממשקית שנבחרו בעלות שטח זהה של 16 הקטר על בסיס ערוצי נחלים מסדר שני.

איור 4: מודל סכמתי של שיטות הניתוח המרחבי והעיתי במחקר



איור 5: אגן ההיקוות הנחקר, כולל מיפוי של ערוצי הנחלים ושטחי ההממשק השונים: (1) שטח טבעי ללא רעייה, (2) מערכת קציר נגר מנוהלת, (3) מערכת קציר נגר ללא ממשק, (4) מערכת טבעית משולבת רעייה, ו- (5) ערוץ נחל.



3.3 מודלים לניתוח שינויים עיתיים

בכדי לזהות את השינויים שחלו בכיסוי הצומח, הקרקע, והנוף נעשה שימוש במודל העוקב אחר שינויים [18]. מודל זה שימושי מאוד בשיטות ניתוח בחישה מרחוק, ומאפשר לזהות את שינויים העיתיים מהדמאות. ישנם מספר שיטות לזיהוי שינוי בכיסוי קרקע [e.g. 18, 19, 20]. בכדי להעריך את השינויים המרכזיים שחלו בכיסוי הקרקע (CI) והצומח (NDVI) נעשה שימוש במודל CD בין ההדמאות מהשנים 2010 ל-2003. לבחינת השינוי בכיסוי קרקע והצומח, ע"י שימוש במודל הבא:

$$\Delta CD = IMAGE_1 - IMAGE_2 \quad (1)$$

כאשר הדמאות 1 ו-2 הן תוצרי המודלים של NDVI או ה-CI בין השנים השונות. לרוב משתמשים בסטיית התקן של המודל לבניית הקטגוריות של מידת השינוי, כאשר המודל שנבנה מאפשר לנו לזהות אזורים שעברו שינוי או שלא השתנו. במקרים בהם יש שינוי שלילי, כלומר הפחתה בערכים, ערך הסף נקבע כ-0 כערך הגבוהה ביותר. כאשר עיקר השינוי הוא חיובי ערך הסף נקבע כ-0 כערך הנמוך ביותר.

בכדי לבחון את השינוי בכיסוי הנופי בקלסיפיקציה (בין הקטגוריות השונות), נבנתה מטריצה לזיהוי השינויים. מודל זה מאפשר לזהות אם הפיקסל המסוים עבר שינוי ולאיזה קטגוריה הוא שונה. התוצרים של מודל זה כוללים מפה להערכת שינויים, ובה מופעים סה"כ האזורים שעברו שינוי. וכן מטריצה קלסיפיקציה, הכוללת את מעבר מקטגוריה מאחת לשנייה [21, 22].

3.4 מודלים לניתוח שינויים מרחביים

בכדי לזהות את ההשפעה של משתנים הסביבתיים על כיסוי הקרקע והצומח בעקבות שנות בצורת נעשה שימוש בשני מודלים גיאוסטטיסטיים. ערכי ה-NDVI וה-CI נבחרו כמשתנים התלויים, ואילו משתני הסביבה כמשתנים המסבירים. נבחרו ארבע משתנים מסבירים: שיפוע, מרחק מערוצי נחלים, קרינה סולרית, וכיסוי נופי. מודלים הגיאוסטטיסטיים דורשים קלט של נקודות אקראיות, לשם כך מתוך שתי מיליון פיקסלים נבחרו באופן אקראי כ-10000 נקודות כגודל מדגם אופטימאלי. המודלים המרחביים שנעשה בהם שימוש הם: [24] hot-spot analysis; [23] geographically weighted regression (GWR).

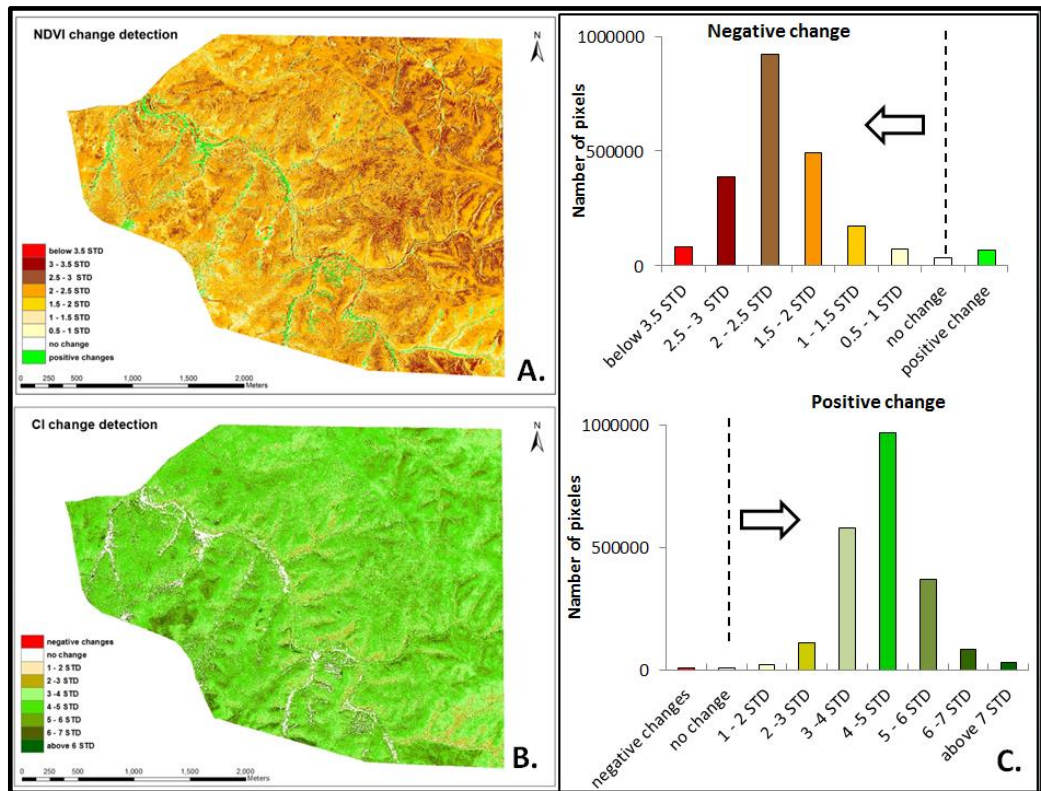
4. תוצאות

4.1 מודלים להערכת השינוי העיתי

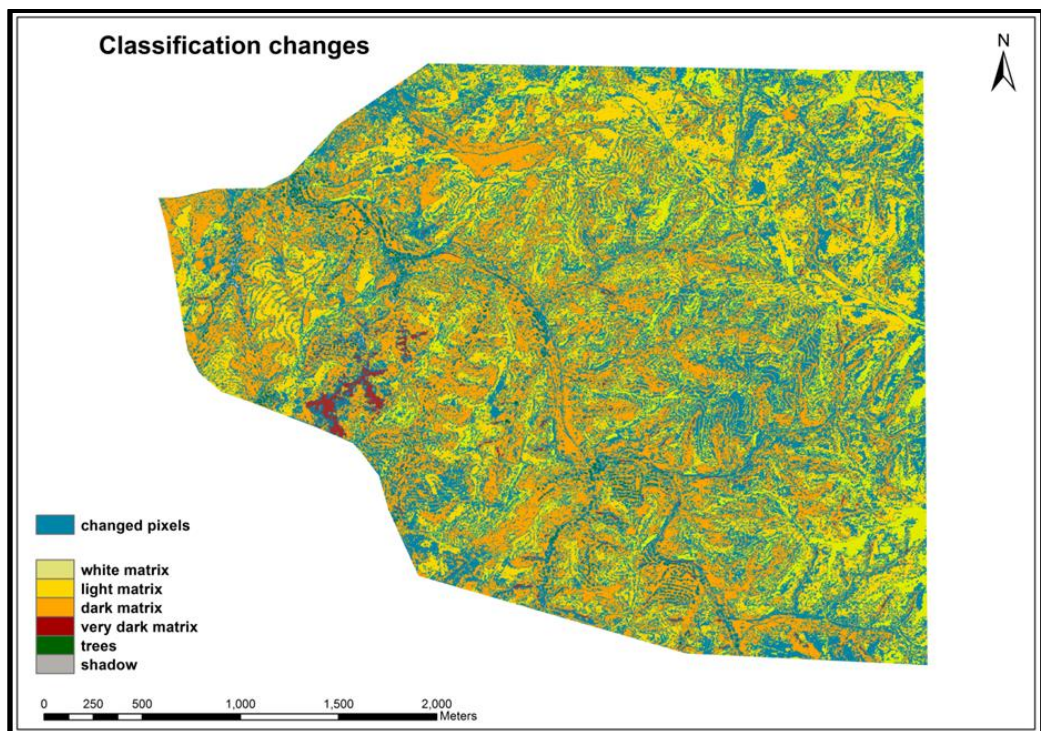
תוצאות מודל ה-CD מוצגות באיור 6 לשינויים שחלו בכיסוי קרקע ובכיסוי צמחייה. ערכי הסף שנקבעו להערכת שינוי ב-NDVI הם חצי סטיית תקן מהמודל ול-CI סטיית תקן אחת מהמודל. מודל להערכת השינוי של ערכי כיסוי הצומח מציג היסטוגרמה שלילית, כלומר השטח כולו עבר הפחתה בערכי ה-NDVI. לעומת זאת מגמה הפוכה נמצאה בערכי השינוי ב-CI, כלומר כלל האזור ישנה עליה והתפשטות של הכיסוי הקרקע (קרומי קרקע). בבחינת השינויים בין שיטת הממשק השונות נמצא כי ערכי השינוי של ה-NDVI גבוהים באופן מובהק בשתי שיטות ממשק: מערכת קציר הנגר המנוהלת, ובערוצי הנחלים (טבלה 1). לעומת זאת לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים השונים בערכי השינוי של CI.

תוצאות המודל לזיהוי השינוי בכיסוי הנופי מופיע באיור 7, התוצאות מציגות שינוי של 39 אחוז בכיסוי הנופי. ישנו שינוי נרחב במערכת הנבדקת כאשר עיקר השינויים נמצא בשקעים במערכת קציר הנגר, אשר מופיעות בהדמאה בצורה של קווי גובהה, ומאפיינות את קווי המתאר של התלוליות והשקעים. טבלה 2 מציגה את השינויים בין הקטגוריות. מתוך ה-39 אחוז השינוי עיקר השינוי נמצא בקרקע בהירה (מאפיינת קרומי קרקע לא מפותחים), וקרקע כהה (המאפיינת מבלעים ואזורים העשירים בחומר אורגני).

איור 6 (A-B) הערכת השינויים בערכי ה NDVI ובערכי ה -CI, ו- (C) היסטוגרמה של ערכי השינוי עבור מודל Change detection של מדדי כיסוי צומח וקרקע.



איור 7 מפת ערכי השינוי מתוך הקלסיפיקציה לכיסוי הנופי



טבלה 1 ערכי השינוי הממוצע וסטיית התקן עבור מודל ה-NDVI וה- CI על פי שיטות הממשק השונות

Polygons for management regime	$\Delta NDVI$		ΔCI	
	Mean	STDV	Mean	STDV
Desertified shrubland with no grazing (LTERs)	-0.086 ^a	0.021	0.149 ^a	0.031
Desertified shrubland with grazing	-0.098 ^a	0.025	0.135 ^a	0.025
Unmanaged RHS	-0.094 ^a	0.028	0.133 ^a	0.032
Managed RHS	-0.061^b	0.027	0.137 ^a	0.034
River stream	-0.061^b	0.025	0.141 ^a	0.034

טבלה 2 מטריצת שינויים עבור כיסוי הנופי, הטבלה מציגה את הפיקסלים שלא עברו שינוי (מסומן באפור) והפיקסלים שעברו שינוי.

Classes	Trees	White matrix	Light matrix	Dark matrix	Shadow	Very dark matrix
Trees	10445	119	459	6741	3497	1836
White matrix	247	140605	79989	10239	67	587
Light matrix	1701	138631	590013	221439	672	6380
Dark matrix	13835	25539	259654	587707	8155	57152
Shadow	2741	98	188	3461	2684	1760
Very dark matrix	1342	720	1967	27961	1773	17667
Unchanged pixels						1349121
Change pixels						878950

4.2 מודלים להערכת השינוי המרחבי

בבחינת המשתנים הסביבתיים המסבירים את השינוי בערכי כיסוי צומח ע"י מודל ה- GWR נמצא הבדל בין השנים 2003 ו-2010. טבלה 3 מציגה את ערכי המתאם עבור ה-NDVI. נמצא כי בשנת 2003 המשתנה המסביר הגבוה ביותר הוא הכיסוי הנופי ($R^2=0.58$ and $R^2_{adjusted}=0.52$), ואילו המשתנה המסביר בשנת 2010 הוא המרחק מערוץ הנחל ($R^2=0.82$ and $R^2_{adjusted}=0.74$). שילוב של מספר משתנים סביבתיים הציגו את המתאם הגבוה ביותר לערכי ה-NDVI ($R^2=0.95$ and $R^2_{adjusted}=0.93$).

לעומת זאת בבחינת המשתנים הסביבתיים המסבירים את השינוי בערכי כיסוי קרקע ע"י מודל ה- GWR נמצא כי אין הבדל בין השנים 2003 ו-2010. טבלה 4 מציגה את ערכי המתאם עבור ה-CI. נמצא כי בשנת 2003 וב-2010 המשתנה המסביר הגבוה ביותר הוא הקרינה הסולרית ($R^2=0.63$ and $R^2_{adjusted}=0.55$, and

הציגו את המתאם הגבוהה ביותר לערכי ה- CI ($R^2=0.81$ and $R^2_{\text{adjusted}}=0.70$, and $R^2=0.79$ and $R^2_{\text{adjusted}}=0.72$).
 בהתאמה. גם ב- CI כמו ב- NDVI שילוב של מספר משתנים סביבתיים ($R^2=0.47$ and $R^2_{\text{adjusted}}=0.36$).

טבלה 3 מודלים של GWR עבור NDVI ומשתנים הסביבתיים בשנת 2003 ו-2010

Dependent Field and explanatory Field	R^2 (2003)	R^2_{adjusted} (2003)	R^2 (2010)	R^2_{adjusted} (2010)
NDVI versus Landscape classification	0.58	0.52	0.65	0.60
NDVI versus Distance from stream	0.47	0.37	0.69	0.62
NDVI versus Inclination	0.48	0.35	0.68	0.59
NDVI versus Solar radiation	0.44	0.33	0.62	0.52
NDVI versus Landscape classification and inclination	0.706	0.60	0.76	0.68
NDVI versus Landscape classification and solar radiation	0.73	0.64	0.77	0.76
NDVI versus Solar radiation and inclination	0.49	0.33	0.88	0.82
NDVI versus Landscape classification, distance from stream and solar radiation	0.711	0.604	0.83	0.76
NDVI versus Distance from stream and solar radiation	0.52	0.43	0.95	0.93
NDVI versus Landscape classification, solar radiation, inclination and distance from stream	0.82	0.74	0.77	0.71

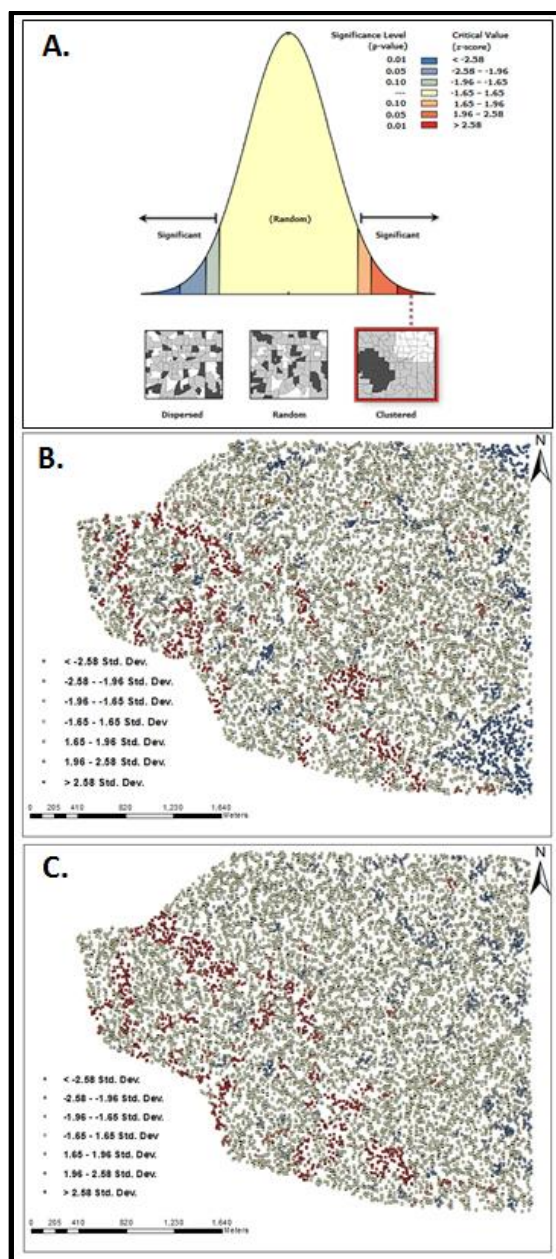
טבלה 4 מודלים של GWR עבור CI ומשתנים הסביבתיים בשנת 2003 ו-2010

Dependent field and explanatory Field	R^2 (2003)	R^2_{Adjusted} (2003)	R^2 (2010)	R^2_{Adjusted} (2010)
CI versus Landscape classification	0.46	0.39	0.38	0.27
CI versus Distance from stream	0.47	0.37	0.28	0.17
CI versus Inclination	0.34	0.28	0.25	0.144
CI versus Solar radiation	0.63	0.55	0.47	0.36
CI versus Landscape classification and inclination	0.61	0.46	0.52	0.35
CI versus Landscape classification and solar radiation	0.70	0.60	0.62	0.47
CI versus Solar radiation and inclination	0.59	0.46	0.49	0.30

CI versus Landscape classification, Distance from stream and solar radiation	0.75	0.64	0.76	0.69
CI Distance from stream and solar radiation and inclination	0.78	0.71	0.77	0.71
CI versus Landscape classification, Distance from stream, solar radiation and inclination	0.79	0.70	0.81	0.72

המודל המרחבי השני אשר נעשה בו שימוש במחקר זה, הוא hot spot , מודל זה מציג את דפוס התקבצות או התפשטות במרחב. איור 8 מציג את תוצאות המודל. מתוך התוצאות עולה כי ישנו דפוס התקבצות בערוצי הנחלים בשנת 2003, דפוס זה מתחזק בשנת 2010 ומוצג כ-hot-spot. לעומת זאת כיסוי הקרקעי מציג כי ישנו דפוס התקבצות בשנת 2003 אשר מתעמעם בשנת 2010. דפוס זה מוצג כ-cold spot.

איור 8: מודל hot spot עבור ערכי ה-NDVI בשנים 2003 ו-2010



5. דיון ומסקנות

מספר מודלים אקלימיים חזו הגברה בתהליך מדבור באזורים מדבריים ומדבריים למחצה [1, 3, 25, 26]. שינויים אקלים אלו הציבו את האזורים הללו בחזית המחקר, מאחר והם בעלי הרגישות גבוהה לשינויים [27]. פעילות אנושית ושינוי האקלים הביאו לשינוי במבנה ותפקוד של מערכות אקולוגיות בשטחים מדבריים נרחבים בעולם. שינוי זה משפיע על הכיסוי הנופי. שינוי בכיסוי הנופי משפיע על יחסי מקור מובלע באזורים מדבריים אלו, כמערכת דו-כיתמית, ועל זרימת אנרגיה, מים, ומשאבים בתוך המערכת [28-31]. שינוי בכיסוי הנופי משפיע על זרימת המשאבים מהמדורות לכיוון ערוצי הנחלים. באזור המחקר, פארק סיירת שקד, נמצאה ירידה בשכיחות הצומח המעוצה במערכת הטבעית. אחת משיטות הממשק היא יצירה של מערכת קציר נגר, זאת שיטה ידועה לטיפול באזורים מדולדלים בעולם, [e.g. 32, 33-35]. מחקרים קודמים הראו כי מערכת קציר נגר מגבירה איסוף חומר אורגני בשקעים, משפרת את היצור הראשוני, מגוון מיני צומח, ומצמצמת זליגה של משאבים [14, 28, 36]. מחקרים אלה בחנו את השפעת ממשק מערכת קציר הנגר בקנה מידה קטן. במחקר זה אנו בחנו את ההשפעה של רצף שנות בצורת על מערכת קציר נגר ומערכת טבעית ממודברת, בקנה מידה אגני, תוך בחינת השינויים בכיסוי קרקע, צומח, ונוף.

5.1 שינויים עיתיים ומרחביים בכיסוי צומח

תוצאות המחקר מציגות כי ישנה ירידה בכיסוי הצומח וכלל המערכת נמצאת בתהליך הידלדלות. נמצאה עלייה מובהקת בערכי ה-NDVI בשתי שיטות הממשק: (1) מערכת קציר נגר מנוהלות ו- (2) בערוצי נחלים. ערכי ה-NDVI הגבוהים במערכת קציר הנגר מעידה על יכולת של מערכות אלה לצמצם את זליגת המשאבים ולשמרם בשקעים. מצד שני, עלייה בערכי ה-NDVI בערוצי הנחלים מעידה על זליגה של משאבים. כלומר למרות שיטת הממשק, עדין ישנו איבוד של מים ומשאבים וזליגתן מהמדורות ולערוצי הנחלים. תוספת זאת של מים ומשאבים הביאה לשיפור חיובי בערכי ה-NDVI בערוצי הנחלים הגדולים (מסדר שלישי). לעומת זאת, פעילות הממשק של מערכת קציר הנגר ללא ממשק, המערכת טבעית ללא רעייה ועם רעייה לא הראו הבדל מובהק בערכי ה-NDVI. ניהול של מערכת קציר נגר דורש תחזוקה וטיפול בכדי למנוע את הידלדלות המערכת. נטישת פעילות הממשק תשיב את המערכת למצבה התפקודי הקודם. מידת זרימת המשאבים וזליגתם, תלויה במבנה הכיתמי של המערכת הטבעית והמנוהלת, כמערכת אינטגרטיבית. המודל המרחבי מציג שונות בין השנים 2003 ל-2010 במשתנים הסביבתיים המסבירים. שינויים אילו נובעים ככול הנראה מהשתנות בכיסוי הנופי הנרחב (39%) באזור המחקר. נמצא דגם התקבצות במודל ה-hot-spot המציג מגמת התקבצות בערוצי הנחלים, מגמה אשר מתחזקת בשנת 2010. תוצאה זאת מתאימה לתוצאות המחקר המציגות שינויים בכיסוי הצומח בין הטיפולים השונים.

5.2 שינויים עיתיים ומרחביים בכיסוי קרקע

תוצאות המחקר מציגות כי ישנה עלייה בכיסוי הקרקע ובכלל המערכת ישנה התפשטות של קרומי קרקע. התפשטות קרומי קרקע משפיעה על יציבות קרקע, פוריות, ותכולת מים בקרקע [10, 11, 14, 37]. לכן התפשטות או צמצום בכיסוי קרקע (קרומי הקרקע) הינה בעלת חשיבות מכרעת בהבנת תהליכי מדבור [17, 38]. בתוצאות המחקר לא נמצאה עלייה מובהקת בערכי ה-CI בשיטות הממשק השונות, ויתכן והדבר נובע מקצב ההתפשטות המהיר של קרומי הקרקע ביחס להיווצרות צומח מעוצה [39]. המודל

המרחבי אינו מציג שונות במשתנים הסביבתיים המסבירים בין השנים 2003 ל-2010. המדד המשפיע ביותר קרינה סולרית. מחקרים קודמים הציגו כי לקרינה ולמפנה ההשפעה מכרעת על התפתחות קרומי הקרקע ועל הרכב המינים של קרומי הקרקע [40]. הרכב המינים של קרומי הקרקע משפיע על אופן הזרימה של משאבים, מים, וזרעים במרחב [41-43]. דגם ההתקבצות במודל ה-hot-spot מציג מגמת התקבצות בשנת 2003. מגמה זאת נחלשת בשנת 2010. תוצאה זאת מתאימה לתוצאות שינוי בכיסוי הקרקע שכן ישנה התפשטות של קרומי קרקע ללא הבדל מובהק בין טיפולי הממשק השונים.

5.3 שינויים עיתיים ומרחביים בכיסוי הנופי

מחקר זה מציג את החשיבות בזיהוי השינויים בכיסוי הנופי כאינדיקטור להערכת בריאות המערכת האקולוגית, תהליכי דלדול, והידרולוגיה בקנה מידה אגני. תפקוד מערכת אקולוגית הינה שילוב של זרימת אנרגיה ומשאבים בין כתמים, מקור- ומבלע, ואינטראקציות בניהם. במחקר זה, התנועה של מים וחומר היא בין מערכת קציר הנגר והמערכת הטבעית. במערכת קציר הנגר התנועה היא בין האזור התורם, והתלוליות אל השקעים, ובמערכת הטבעית בין קרום הקרקע וכתם השיח. האינטראקציות הללו מהוות נתיב מרכזי בהסעת משאבים ומים. עקרון של הסעת משאבים ומים במערכת מדברית הינה בזרימה בפעימה [44], ועוצמתה ותדירותה תלוי בקנה המידה. מחקרים הראו שבקנה מידה אגני, נגר בערוצי נחלים הוא בעל קשר הפוך לגודל אגן ההיקוות [45] בעוד העוצמת הזרימה היא ביחס חיובי לגודל אגן ההיקוות [45, 46]. עקרון זה מוצג במקרה המחקר שלנו, מאחר שבערוצי נחלים מסדר ראשון ושני ישנה הסעה מים ומשאבים לכיוון ערוצי הנחלים מסדר שלישי. בערוצים אלה ישנה הצטברות של מים ומשאבים המשפרת את מצב הצומח באזור זה.

מתוצאות המחקר עולה כי ממשק של מערכת קציר נגר מצמצם את זליגת המשאבים, מאחר והן ממוקמים במדרון שם עוצמת הנגר היא נמוכה. ויסות נגר מדרוני במערכת קציר נגר תלויה ב: (1) מרחק שיש בין הקווי המתאר של התלוליות, (2) מספר קווי המתאר, ו-(3) היחס בין האזור התורם ואזורי השקעים. ישנה פשרה בין הפחתת הנגר מהמדרון והסעת משאבים לערוצי נחלים. שימוש יתר במערכת קציר נגר יכול להביא לפגיעה בערוצי הנחלים וביצרנותם, ותלוי בעיקר בצורכי הממשק הצומח במערכות אילו. ככל שישנה דרישה למים ומשאבים מכתם הצומח, כך האזור התורם צריך להיות גדול יותר. ישנה מורכבות בניהול מערכות כיתמיות ולניהול מערכת יחסי נגר סחף בין מדרונות וערוצי הנחלים באזורים מדבריים. מורכבות זאת תגדל ככול שהמערכת תחווה עליה בתדירות הצורות, ותדרוש התאמה של המערכות המנוהלות.

5.4 מסקנות המחקר

מתוצאות המחקר והדיון, הממצאים העיקריים שלנו הם:

1. ישנה ירידה בכיסוי הצומח ועליה בכיסוי הקרקע במערכת הנבדקת. מגמות אילו מעידות על כך שהמערכת כולה נמצאת במצב של הידלדלות.
2. ישנו שינוי בכיסוי הנופי בעקבות רצפי שנות הבצורת (39%), שינוי זה נובע מהתמרה ביחסי מקור מובלע במערכת מדברית.
3. ישנו דגם התקבצות ברור בערוצי הנחלים של כיסוי הצומח, והתפשטות של קרומי הקרקע. דפוס זה מעיד על זרימה של משאבים ומים ממדרונות לכיוון ערוצי הנחלים הגדולים (מסדר שלישי).

4. מערכת קציר הנגר מאיטות את תהליך זליגת המשאבים, אך אינן מונעות אותן. זהו ממשק יעיל, אך דורש פעילות ממשקית רציפה. ניהול של מערכת שכזאת דורשת הבנה מעמיקה של יחסי מקור – מובלע בקנה מידה משתנה.

5. ניתוח מרחבי ועיתי כפי שנעשה במחקר זה, בעזרת מערכות מידע גאוגרפיות וחישה מרחוק מאפשר הבנה של הדינמיקה בכיסוי קרקע, צומח, ונוף במערכות מדולדלות. זהו כלי מחקרי חשוב לניתוח תהליכים הידרולוגיים ובחינת שינויים הנובעים מפעילות אנושית או אקלימית בקנה מידה משתנה.

מקורות

1. Glantz, M.H. and N. Orlovsky, *Desertification: a review of the concept* Desertification Control Bulletin, 1983. **9**: p. 15-22.
2. Kassas, M., *Desertification: a general review*. . Journal of Arid Environments 1995. **30**: p. 115-128.
3. Verstraete, M.M. and S.A. Schwartz, *Desertification and global change* Vegetation, 1991. **91**: p. 3-13.
4. Le Hou´erou, H.N., *Climate change drought and desertification*. Arid Environments, 1996. **34**: p. 133-185.
5. Adeel, Z., et al., *Millennium Ecosystem assessment, Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. 2005: World Resources Institute, Washington, DC.
6. Noy-meir, I., *Structure and function of desert ecosystems* Israel Journal of Botany, 1980. **28**(1): p. 1-19.
7. Noy-Meir, I. and N.G. Seligman, *Management of Semi-Arid Ecosystems in Israel*. Management of Semi-Arid Ecosystems, ed. B.H. Walker 1979, Amsterdam: Elsevier.
8. Segoli, M., D.U. Ungar, and M. Shachak, *Shrubs enhance resilience of semi-arid ecosystem by engineering regrowth*. Ecohydrology 2008. **1**: p. 330-339.
9. Segoli, M., E.D. Ungar, and M. Shachak, *Fine-Scale Spatial Heterogeneity of Resource Modulation in Semi-Arid "Islands of Fertility"*. Arid Land Research and Management, 2012. **26**(4): p. 344-354.
10. Shachak, M. and S.T.A. Pickett, *Linking ecological understanding and application: patchiness in a dryland system*. Heterogeneity, ecosystems and biodiversity: the ecological basis for conservation. . Vol. 466. 1997, New York: Pickett STA, Ostfeld.
11. Shachak, M., M. Sachs, and I. Moshe, *Ecosystem Management of Desertified Shrublands in Israel*. Ecosystems, 1998. **1**(5): p. 475-483.
12. Easterling, D.R., et al., *Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts*. Science, 2000. **289**(5487): p. 2068-2074.
13. Boeken, B. and D. Orenstein, *The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid shrubland*. Journal of Vegetation Science, 2001. **12**(6): p. 825-832.
14. Eldridge, D., J., E. Zaady, and M. Shachak, *Microphytic crusts, shrub patches and water harvesting in the Negev Desert: the Shikim system*. Landscape Ecology, 2002. **17**(6): p. 587-597.
15. Ichii, K., A. Kawabata, and Y. Yamaguchi, *Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982-1990*. International Journal of Remote Sensing, 2002. **23**(18): p. 3873-3878.
16. Volcani, A., A. Karnieli, and T. Svoray, *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*. Forest Ecology and Management, 2005. **215**(1-3): p. 239-250.
17. Karnieli, A., et al., *Spectral characteristics of cyanobacteria soil crust in semiarid environments*. Remote Sensing of Environment, 1999. **69**(1): p. 67-75.

- .18 Mas, J.F., *Monitoring land-cover changes: A comparison of change detection techniques*. International Journal of Remote Sensing, 1999. **20**(1): p. 139-152.
- .19 Lambin, E.F. and A.H. Strahlers, *Change-vector analysis in multitemporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data*. Remote Sensing of Environment, 1994. **48**(2): p. 231-244.
- .20 Johnson, R.D. and E.S. Kasischke, *Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition*. International Journal of Remote Sensing, 1998. **19**(3): p. 411-426.
- .21 Congalton, R.G., *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data*. Remote Sensing of Environment, 1991. **37**(1): p. 35-46.
- .22 Foody, G.M., *Status of land cover classification accuracy assessment*. Remote Sensing of Environment, 2002. **80**(1): p. 185-201.
- .23 Reese, D.C. and R.D. Brodeur, *Identifying and characterizing biological hotspots in the northern California Current*. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2006. **53**(3-4): p. 291-314.
- .24 Foody, G.M., *Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: An example focused on the NDVI-rainfall relationship*. Remote Sensing of Environment, 2003. **88**(3): p. 283-293.
- .25 Kefi, S., et al., *Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems*. Nature, 2007. **449**(7159): p. 213-217.
- .26 Reynolds, J.F., et al., *Global Desertification: Building a Science for Dryland Development*. Science, 2007. **316**(5826): p. 847-851.
- .27 Ravi, S., et al., *Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic-aolian erosion and vegetation dynamics*. Geomorphology, 2010. **116**(3-4): p. 236-245.
- .28 Boeken, B. and M. Shachak, *Colonization by annual plants of an experimentally altered desert landscape: source-sink relationships*. Journal of Ecology, 1998. **86**(5): p. 804-814.
- .29 Imeson, A.C. and H.A.M. Prinsen, *Vegetation patterns as biological indicators for identifying runoff and sediment source and sink areas for semi-arid landscapes in Spain*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004. **104**(2): p. 333-342.
- .30 Li, X.J., et al., *Effects of crust and shrub patches on runoff, sedimentation, and related nutrient (C, N) redistribution in the desertified steppe zone of the Tengger Desert, Northern China*. Geomorphology, 2008. **96**(1-2) :p. 221-232.
- .31 Porporato, A., et al., *Ecohydrology of water-controlled ecosystems*. Advances in Water Resources, 2002. **25**(8-12): p. 1335-1348.
- .32 Mbilinyi, B.P., et al., *Indigenous knowledge as decision support tool in rainwater harvesting*. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2005. **30**(11-16): p. 792-798.
- .33 Critchley, W. and K. Siegert, *A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production* 1991, Rome, Italy: Food and agriculture organization of the United Nations.
- .34 Falkenmark, M., et al., *Water harvesting for upgrading of rainfed agriculture. Problem Analysis and Research Needs.* , 2001, SIWI Report II Sweden.
- .35 Zhang, S., G. Carmi, and P. Berliner, *Efficiency of rainwater harvesting of microcatchments and the role of their design*. Journal of arid environments, 2013. **95**(0): p. 22-29.
- .36 Eldridge, D.J., E. Zaady, and M. Shachak, *Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev, Israel*. Catena, 2000. **4** :op. 323-336.
- .37 Shoshany, M., H. Lavee, and P. Kutiel, *Seasonal vegetation cover changes as indicators of soil types along a climatological gradient: a mutual study of environmental patterns and controls using remote sensing*. International Journal of Remote Sensing, 1995. **16**(12): p. 2137-2151.
- .38 Grishkan, I., E. Zaady, and E. Nevo, *Soil crust microfungi along a southward rainfall gradient in desert ecosystems*. European Journal of Soil Biology, 2006. **42**(1): p. 33-42.

- .39 Shachak, M. and G.M. Lovett, *Atmospheric deposition to a desert ecosystem and its implications for management*. Ecological Applications, 1998. **8**(2): p. 455-463.
- .40 Nevo, E., "*Evolution Canyon*": *A Microcosm of Life's Evolution Focusing on Adaptation and Speciation*. Israel Journal of Ecology & Evolution, 2006. **52**(3-4): p. 501-506.
- .41 Belnap, J., *The world at your feet: desert biological soil crusts*. Frontiers in Ecology and the Environment, 2003. **1**(4): p. 181-189.
- .42 Belnap, J., *The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles*. Hydrological Processes, 2006. **20**(15): p. 3159-3178.
- .43 Belnap, J. and O.L. Lange, *Biological soil crusts: structure, function, and management*, ed. J. Belnap and O.L. Lange 2003, New York, : Springer Berlin.
- .44 Noy-Meir, I., *Desert Ecosystems: Environment and Producers*. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973. **4**(ArticleType: research-article / Full publication date: 1973 / Copyright © 1973 Annual Reviews): p. 25-51.
- .45 Karnieli, A., et al., *An empirical approach for predicting runoff yield under desert conditions*. Agricultural Water Management, 1988. **14**(1-4): p. 243-252.
- .46 Evenari, M., L. Shanan, and N. Tadmor, *The Negev: the challenge of a desert* 1983, London: Oxford University Press.

סיכום עם שאלות מנחות

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).

שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.

הערה: נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת המחקר היא לבצע ניתוח מרחבי-עיתי לזיהוי השינויים בכיסוי הנופי ע"י בחינת שינוי בכיסוי הקרקע, הצומח, והנוף, בעקבות רצף שנות בצורת, במערכות קציר נגר ובמערכת טבעיות ממדוברת בקנה מידה אגני, בצפון הנגב
עיקרי התוצאות.
ישנו שינוי שלילי בערכי NDVI (כיסוי צומח מועצה) במרבית אזור המחקר, שינויים חיוביים נמצאו בערוצי הנחלים הגדולים (ערוץ מסדר שלישי), ובמערכת קציר הנגר בין השנים 2010 ל-2003. לעומת זאת, שינוי חיובי נמצא בערכי ה-CI (כיסוי הקרקע) במרבית אזור המחקר בין השנים 2010 ל-2003. בבחינת השינוי בכיסוי הנופי נמצא התמרה של כ-39% בכלל שטח המחקר בכיסוי הנופי. שילוב של כלל המשתנים הסביבתיים הציגו ערכי מתאם גבוהים לחיזוי כיסוי קרקע וצומח. בבחינת ניתוח hot-spot נמצא כי ישנו דפוס ברור של התקבצות בערכי כיסוי הצומח בערוצי הנחלים הגדולים, דפוס אשר מתחזק ב-2010. לעומת זאת הדפוס המרחבי של כיסוי הקרקע אינו מראה מגמת התקבצות אלה התפשטות.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
(1) ישנה ירידה בכיסוי הצומח המעוצה ועליה בכיסוי הקרקע, דבר מעיד על תהליך מדבור והידלדלות משאבים; (2) שינוי בכיסוי הקרקע הביא לזליגה של משאבים ומים מהמדרונות לערוצי הנחלים הגדולים; (3) נמצא כי מערכת קציר הנגר מאיטה את קצב הדרדרות המערכת, אך אינה מונעת את זליגת המשאבים; (4) ניהול וממשק של מערכת קציר נגר הינו תהליך מורכב ודורש הבנה מערכתית בקנה מידה משתנה, בעתיד הקרוב יהיה צורך בהתאמת שיטת הממשק למודלים האקלימיים החוזים עליה בשכיחות בצורת ואירועי קיצון.
בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך
יישום השיטה המוצעת על אגנים נוספים.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטוט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;
מאמר אשר שמו Landscape changes in Desertified Shrubland and Runoff-Harvesting systems, Spatial-Temporal Approaches in Respect to Drought Years נמצא בשלבי עריכה אחרונים ואמור להשלח לכתב העת- Landscape Ecology
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
< ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
חסוי - לא לפרסום: יש לצרף אישור ומידע ממוסד המחקר
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -

*יש לענות על שאלה זו רק בדו"ח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדו"ח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים