



השפעות של תמורות אקלימיות והידרולוגיות ארוכות טווח על מאפייני צומח באגן ניקוז באזור צחיח למחצה, מקרה מבחן – פארק סיירת שקד

אלי ארגמן¹, רפאל בארט², יצחק משה³, מני בן-חור⁴

¹ התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

University of Applied Forest Sciences, Rottenburg am Neckar, Germany ²

³ מחלקת יער ושימור קרקע, מרחב דרום, קק"ל

⁴ המכון למדעי הקרקע המים וסביבה, מרכז וולקני

eliar@moag.gov.il

המאמר מוקדש לזכרו של אפרים פיזיק ז"ל שליווה את הפרויקט לכל אורכו.

תקציר

מבוא

מודלים אקלימיים חוזים עלייה בטמפרטורה הממוצעת וירידה בכמות המשקעים באזורים צחיחים וצחיחים למחצה, המחריפים את הפגיעה במערכות האקולוגיות באזורים אלה. המאמר הנוכחי מסכם מחקר ארוך טווח, שבחן את השפעת השינויים במאפייני הגשם, הנגר העילי ובגורמי אקלים אחרים על פעילות הצומח העונתי והרב-שנתי באגן ניקוז בלתי מופר מסדר ראשון (ערוץ ראשוני בראש נחל) בתחומי פארק סיירת שקד, הסמוך לאופקים. אזור המחקר היה מבודד מהשפעת האדם על ידי תיחומו בגדר. המידע שנאסף כלל חישובים של ערכי Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), המהווים מדד למצב הצומח, משנת 2000 ועד 2013, כמויות גשם שנתיות משנת 1991 ועד 2013, ערכי אידוי-דיות פוטנציאליים (ET_0), שחושבו מנתונים אקלימיים שנאספו מתחנות מטאורולוגיות באזור משנת 1994 ועד 2013 ומדידות נגר עילי, שנמדדו מחלקות נגר בגודל של 4×15 מ"ר לחלקה משנת 1991 ועד 2011. התפתחות הצומח העונתי בשנה נתונה הושפעה בעיקר מכמות הגשם באותה שנה, שסיפקה לו את מרבית המים במהלך גדילתו, ופחות מכמויות הגשם השנתיות בשנים קודמות. לעלייה ממוצעת שנתית של 0.01 מ"מ בערכי ה- ET_0 עם השנים הייתה השפעה שולית על התפתחות צומח זה. לעומת זאת, הצומח הרב-שנתי, מלבד רגישותו לכמות הגשם השנתית, הושפע באופן משמעותי גם מהרציפות בשנות הבצורת ומפחיתה בכמויות הנגר העילי בשנים אלה, המהוות מקור מים עבורו.

בעשורים האחרונים קיימת מגמת התחממות גלובלית (IPCC, 2007), אשר באה לידי ביטוי בתנודות משמעותיות של טמפרטורה וגשם, במיוחד באזורים רגישים, כגון אגן הים התיכון (Smiatek, Kunstmann, & Heckl, 2011). המודלים האקלימיים המותאמים לאגן זה חוזים עלייה בטמפרטורה, ירידה בכמות המשקעים, עלייה בעוצמות הגשם והתארכות משך הזמן בין סופות הגשם. סמיאטק ואחרים וגם זיו ואחרים (Smiatek, Kunstmann, & Heckl, 2011; Ziv, Saaroni, Pargament et al., 2013) הבחינו במגמת ירידה בכמות המשקעים בישראל, שהייתה מובהקת בנגב הצפוני, ובמגמת ירידה לא מובהקת באורך העונה הגשומה, גורמים שהסיטו את קו הצחיחות צפונה החל מאמצע שנות ה-90 של המאה הקודמת.

אזורים צחיחים וצחיחים למחצה משתרעים על פני למעלה מרבע השטח היבשתי של כדור הארץ, בהם מתגוררים יותר מ-18% מאוכלוסיית העולם (UNCCD, 2011). אזורים אלה מתאפיינים בתנאי אקלים קיצוניים, כגון מיעוט משקעים והתאדות פוטנציאלית גבוהה (FAO, 2015). רוב הקרקעות באזורים אלה הן בעלות אופקים רדודים, דלות בחומר אורגני ובמזינים (nutrients), מכילות ריכוזים גבוהים יחסית של מלחים ורגישות לתהליכי סחף, רוח ומים. הצומח הנפוץ באזורים אלה דליל וכולל צומח עשבוני, שיחים וצומח מעוצה (FAO, 1991). בעשורים האחרונים נצפו באזורים הצחיחים והצחיחים למחצה תהליכים אינטנסיביים של הידלדלות קרקע כתוצאה מעלייה ניכרת בלחץ הסביבתי, הנובע בעיקר מפעילות האדם, כגון חקלאות אינטנסיבית, רעיה וכדומה (Lal, 2004). גולודץ ואחרים (Golodets, Sternberg, Kigel, et al., 2013) בחנו את השפעת השינויים בכמות המשקעים ואת העלייה בעוצמת הגשם באזורים צחיחים עד לחים

מילות מפתח: יחסי גשם-נגר; NDVI; אקלים; צומח עונתי; קרקע; פארק סיירת שקד.

כתמים של קרומי קרקע ביולוגיים מהווים מקור לנגר, סחף ומזינים, וכתמי צומח רב-שנתי מהווים מבלע לחומרים אלה. עם זאת, נמצא, כי ירידה בכמות הצומח הרב-שנתי מעלה באופן מובהק את זליגת הנגר, הסחף והמזינים מחוץ למערכת האקולוגית המקומית, מכיוון שהצומח הרב-שנתי המתמעט אינו מסוגל לקלוט את כל העודפים הזורמים עם הנגר. לכן, מערכת אקולוגית נדרשת ליחס מתאים בין כתמים של קרומי קרקע ביולוגיים וכתמי צומח רב-שנתי לצורך תפקוד של המערכת לאורך המדרון (Shachak, Sachs, & Moshe, 1998). חלק ניכר מהמחקרים, שבוצעו בצפון הנגב, עסקו בהיבטים אקולוגיים, בכמות משקעים, בנגר, במאפייני קרקע שונים ובדינמיות של שינויים במצב ובהרכב הצומח וביחסי הגומלין ביניהם (Boeken, 2014). מחקרים אלה בחנו באופן חלקי, אם בכלל, את ההשפעה ארוכת הטווח של פוטנציאל המים וההתאדות האקטואלית והפוטנציאלית על הצומח. העבודה הנוכחית בוחנת את ההשפעה ארוכת הטווח של שינוי משטר הגשמים, הנגר ומאפיינים אקלימיים נוספים על פעילות הצומח הטבעי באזור המעבר בין אקלים צחיח לצחיח למחצה בצפון הנגב.

חומרים ושיטות

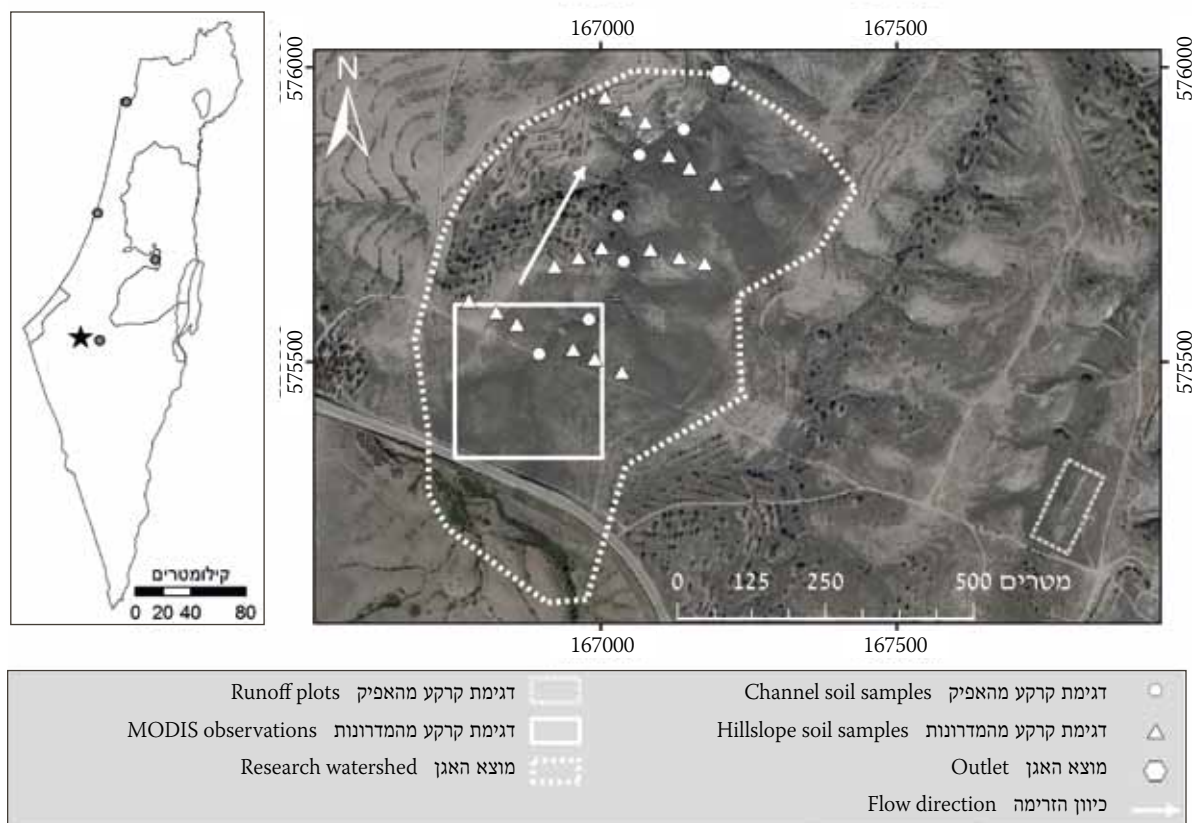
המחקר התבצע בתחומי פארק סירת שקד (איור 1) הממוקם בצפון הנגב (31°17'N; 34°37'E), באזור המעבר בין אקלים צחיח לצחיח למחצה ונמצא בגובה של 190 מ' מעל פני הים. השיפועים הממוצעים באגן נעים בין 4 ל-7 מעלות במדרונות ובין 11 ל-19 מעלות לאורך ערוץ הנחל. בשנת 1991, כ-370 דונם מהפארק נתחמו בגדר, ונסגרה אליהם הגישה לרעה ולנוכחות אדם, כדי למנוע הפרה של המערכת האקולוגית וההידרולוגית באתר הניסוי. אתר זה משמש משנת 1991 כתחנת ניטור אקולוגי ארוך טווח של קרן קימת. האתר כולל אגן היקוות קטן בצורת אליפסה, המנוקז על ידי נחל מסדר ראשון. טיפוסי הקרקע באגן הם: לס רדוד עם מרקם שנע בין סייני חולי לחול סייני על גבי סלעי קרטון במדרונות, ומשקעים אלוביאליים לאורך ערוץ הנחל. האגן כולל מגוון צומח הנפוץ באזורים ערביים, כאשר טיפוסי הצומח העיקריים הם חרשף (*Atractylis serratuloides*), נואית קוצנית (*Noaea mucronata*) ומתנן שעיר (*Thymelaea hirsuata*). מדרונות האגן כוללים כתמי צומח מעוצה רב-שנתי (שיחים בעיקר), כאשר השטח בין כתמי הצומח המעוצה, המהווה כ-70% מכלל השטח, מכוסים בקרומי קרקע ביולוגיים ופיזיקליים, שבחלקם גדל בחורף צומח עשבוני חד-שנתי. לעומת זאת, הצומח לאורך אפיק הנחל באגן הוא רב-שנתי ברובו (Boeken, 2014).

בשנת 1991 הוקמו חלקות נגר במרחק של כ-800 מ' מאגן ההיקוות (איור 1), כאשר פני הקרקע והצומח הטבעי בארבע

בישראל. ממצאיהם הראו, שירידה בכמות המשקעים יחד עם עלייה במשך הזמן בין פרקי הגשם השפיעו באופן מובהק על פוטנציאל היצרנות הראשונית של הקרקע בתא שטח נתון; ירידה של 20% בכמות המשקעים הובילה לירידה של כ-40% בפוטנציאל היצרנות הראשונית באזורים צחיחים ובין 16% ל-34% באזורים צחיחים למחצה. ויסנטה-סרנו ואחרים (Vicente-Serrano, Zouber, Lasanta et al., 2012) הראו, כי ערכי אידוי-דיות — ET (evapotranspiration) עלו באזורים צחיחים למחצה בספרד, במקביל לירידה בכיסוי הצומח ובעליית טמפרטורת האוויר, דהיינו עלייה בצחיחות של האזור. חוקרים אלה ציינו, שלא נצפתה ירידה בכמות המשקעים השנתית במהלך תקופת המחקר, כך שהעלייה בצחיחות של אזור המחקר נבעה משינויים בערכי ה-ET, אשר היוו גורם משמעותי בירידה בצפיפות הצומח.

מחקרים רבים מצאו, כי ערכי ה-Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) מהווים מדד טוב למצב הצומח, ויכולים לשמש כאמצעי יעיל ומהימן לזיהוי שינויים בפעילות הצמחים בתנאים שונים (Vicente-Serrano, 2006; Nicholson, Davenport, & Malo, 1990; Jacquín, Sheeren, & Lacombe, 2010; Helman, Mussery, Lensky et al., 2014; Nicholson, Davenport, & Malo et al., 1990; Malo and Nicholson, 1990). בין ערכי ה-NDVI לכמות הגשם השנתית באזור הסהל באפריקה. לעומת זאת, בעבודות אחרות (Nicholson, Davenport, & Malo et al., 1990; Malo and Nicholson, 1990) נמצא, כי קיים קשר חלש בין מצב הצומח לבין כמות הגשם השנתית באזורים לחים.

בשטחים פתוחים, באזורים לא מופרים בצפון הנגב, נפוץ מבנה דו-כתמי של תבניות צומח טבעי – כתמי צומח בין שטחים עם קרקע בעלת קרומים פיזיקליים (Ben-Hur, 2008) וביולוגיים (Boeken, 2014). כתמי הצומח, האופייניים בצפון הנגב, מורכבים מקבוצות של צומח מעוצה רב-שנתי ועשבוני עונתי. לעומת זאת, הקרומים הביולוגיים מורכבים מאזוב, טחבים וחזיות (Zaady, Groffman & Shachak, 1996), והקרומים הפיזיקליים בנויים משכבת קרקע דקה (< 2 מ"מ), צפופה ובעלת מוליכות הידרואלית נמוכה מאוד, שנוצרת כתוצאה מהרס התלכידים על ידי מכות טיפות הגשם (Ben-Hur, 2008). קרומים אלה פוגעים בערכי החידור של הקרקע, ומעלים באופן ניכר את פוטנציאל הנגר והסחף. בעבודתם של שחק ואחרים (Shachak, Sachs, & Moshe, 1998) נמצא, שנוכחות קרומים ביולוגיים על פני מדרונות מאיצה את התנועה האופקית של מי נגר, סחף קרקעי (אורגני ומינרלי) ומזינים. בניגוד לכן, כתמי שיחים קוטעים את המדרון ומהווים אזורי מבלע לנגר ולסחף, ומכאן גם למזינים חיוניים לצומח המקומי. בוקן ושחק (Boeken & Shachak, 1998) הגדירו את התהליך הזה כתהליך של מקור-מבלע, שבו



איור 1: מיקום (רשת ישראל החדשה) ותיאור סכמתי של אתר המחקר. התחום המגודר של אגן המחקר מסומן בקו מקווקו, מיקום חלקות הנגר מסומן בריבוע לבן מקווקו.

Figure 1: The location and schematic presentation of the research area. The fenced boundaries of the study site are presented as dotted lines, runoff plots are marked by rectangular dotted lines. The white circles and triangles show the location of soil sampling along the stream and slopes, respectively. The hexagonal points show the location of the watershed outlet, while the white rectangle within the fenced area shows the satellite monitoring area.

מרבית ומזערית יומית ממוצעת, לחות אוויר, קרינת שמש ומהירות רוח, שנלקחו מהתחנה המטאורולוגית במרכז המחקר גילת, הממוקמת במרחק אווירי של כ-7 ק"מ מאתר המחקר.

החל מפרברואר 2000 ועד ספטמבר 2014 נמדדו מצב וצפיפות הצומח בתא שטח מוגדר באגן (איור 1) על ידי קביעת ערכי *NDVI* בעזרת נוסחה [1],

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad [1]$$

כאשר *RED* ו-*NIR* מהווים את תחומי הקרינה החוזרת מפני השטח של הקרקע והצומח בתחום הספקטראלי של אדום (700-650 ננומטר) והאינפרא-אדום (1400-750 ננומטר), בהתאמה. במקרה זה, קריאת הקרינה החוזרת נעשתה בעזרת נתוני חיפוש *MODIS*, הממוקם על גבי לוויין *TERRA* של כומר הארצות הברית של נתוני הלוויין הייתה 250 מ'. בסתיו 2014 נדגמו דגימות קרקע מעומקים של 0-5 ו-5-15 ס"מ (עומק שכיח של שכבת הקרקע עד פני הסלע)

חלקות נגר לא הופרו במשך כל תקופת המחקר, ואלהים מתייחסת העבודה הנוכחית. כל חלקת נגר הייתה בגודל של 15x4 מ"ר עם שיפוע ממוצע של 50, כאשר אורך החלקה היה מקביל לשיפוע. הנגר מכל חלקה נאסף על ידי משפך שהוצב במורד החלקה וממנו זרם, דרך צינור גמיש, לחבית איגום בנפח של 180 ליטר שמוקמה במורד (ארבל, 2010). משנת 1991 ועד 2011, נפח הנגר מכל חלקה נמדד לאחר כל סופת גשם. נתוני הנגר מהחלקות והגשם הסופתי, כאשר משך סופת גשם נקבע מתחילת אירוע גשם בעובי של < 1 מ"מ ועד 24 שעות לאחר סיומו, נמדדו בהתאמה על ידי חביות ומד גשם רושם וזעיר, שמוקמו בסמוך לחלקות הנגר. בחורף 2003-2004 הגשם והנגר לא נמדדו עקב סיבות טכניות. כמות הגשם הממוצעת לשנה, בין השנים 1994 ועד 2014, שנמדדה באתר הייתה 154 מ"מ. הטמפרטורה השנתית הממוצעת, שנמדדה במהלך שנות הניטור בתחנה מטאורולוגית סמוכה, הממוקמת בבסיס חיל האוויר בחצרים, הייתה 20.2 מ"צ. לצורך חישוב אידוי-דיות פוטנציאלי יומי (*ET₀*) (שיטת *FAO-56* (Allen, Pereira, Raes et al., 1998), נותחו נתונים מינואר 1994 ועד ספטמבר 2014 של אקלים יומי, הכוללים טמפרטורת אוויר

המחקר, מובאות בטבלה 1. דיגמות הקרקע לאורך ערוץ הנחל נלקחו עד לעומק של 120 ס"מ בשתי נקודות במעלה האפיק ופחות מ-30 ס"מ בשאר נקודות הדיגום בערוץ, עקב הימצאות סלע בעומק זה. לכן, בטבלה 1 מובאות תכונות הקרקע בשכבות 0-5 ו-5-15 ס"מ בלבד, שמהן נלקחו דיגמות קרקע מכל נקודות הדיגום במדרונות ולאורך בסיס הערוץ. הקרקע בערוץ הנחל הייתה באופן מובהק חרסיתית יותר ובעלת תכולה גבוהה יותר של חומר אורגני מאשר הקרקע במדרונות בשכבות 0-5 ו-5-15 ס"מ (טבלה 1). לא נמצאו הבדלים מובהקים בתכולת הסילט והגיר בקרקע שנדגמה מהמדרון לבין הקרקע שנדגמה מתחתית הערוץ. סביר להניח, שסחיפה של חומר דק, בעיקר חרסית וחומר אורגני מפני הקרקע במדרונות לעבר אפיק הנחל, גרמה לעלייה בתכולת החרסית ובחומר האורגני בקרקע בתחתית הערוץ. הריכוזים הזמינים של המזינים, $N-NH_4$, $N-NO_3$ ו- $P-PO_4$, בקרקע מהמדרונות ומאפיק הנחל היו נמוכים יחסית, כאשר ריכוזי ה- $N-NO_3$ וה- $P-PO_4$ היו גבוהים באופן מובהק בשכבה העליונה, 0-5 ס"מ, מאשר בשכבה 5-15 ס"מ בדיגמות שנדגמו מהמדרונות ומאפיק הנחל. בנוסף, לכן, ריכוזי ה- $N-NO_3$ וה- $P-PO_4$ היו גבוהים באופן מובהק בקרקעות באפיק מאשר במדרונות. כנראה שהסחיפה של שכבת הקרקע העליונה

ב-18 נקודות לאורך שלושה חתכים ממזרח למערב במדרונות האגן (איור 1). בנוסף, לכן, באותו זמן, נדגמו בשש נקודות לאורך ערוץ הנחל דיגמות קרקע לעומק של 120 ס"מ או עד פני הסלע ובאינטרוולים אנכיים של 15 ס"מ (איור 1). אנליזה מכנית בשיטת ההידרומטר (Gee & Bauder, 1986), תכולת חומר אורגני בשיטה רטובה (Nelson & Sommers, 1982) וגיר בקלצימטר (Nelson & Sommers, 1982), ריכוזים זמינים של $P-PO_4$ ו- $N-NO_3$, $N-NH_4$ וערכי מוליכות חשמלית (EC) ו-pH וריכוזים של Ca^{+2} , Mg^{+2} ו- Na^+ במיצוי עיסת קרקע נמדדו בכל דיגמת קרקע. ערכי מנת ספיחת הנתרן (SAR) בדיגמות הקרקע חושבו בעזרת נוסחה [2]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad [2]$$

כאשר ריכוז הקטיונים היו במא"ק לליטר.

תוצאות ודיון

תכונות כימיות ופיזיקליות של שכבות הקרקע 0-5 ו-5-15 ס"מ, שנדגמו מהמדרונות ולאורך בסיס ערוץ הנחל באתר

טבלה 1: ערכים ממוצעים של המדדים, תכולת חרסית, סילט, גיר וחומר אורגני בקרקע (א') ותכולה זמינה של מקרו-מזינים בקרקע וערכי מוליכות חשמלית (EC) ומנת ספיחת נתרן (SAR) במיצוי עיסה רוויה של דיגמות הקרקע שנלקחו מעומקים 0-5 ו-5-15 ס"מ במדרון ובבסיס הערוץ באתר המחקר (ב'). בהתאמה, עבור טבלה א' וב' בנפרד, אותיות באנגלית קטנות או גדולות ליד הממוצעים מציינות הבדלים סטטיסטיים מובהקים בין המדרון לבסיס הנחל עבור כל מדד ושכבת קרקע נתונה, או בין שכבות הקרקע עבור כל מדד ומיקום דיגמה (מדרון או ערוץ).

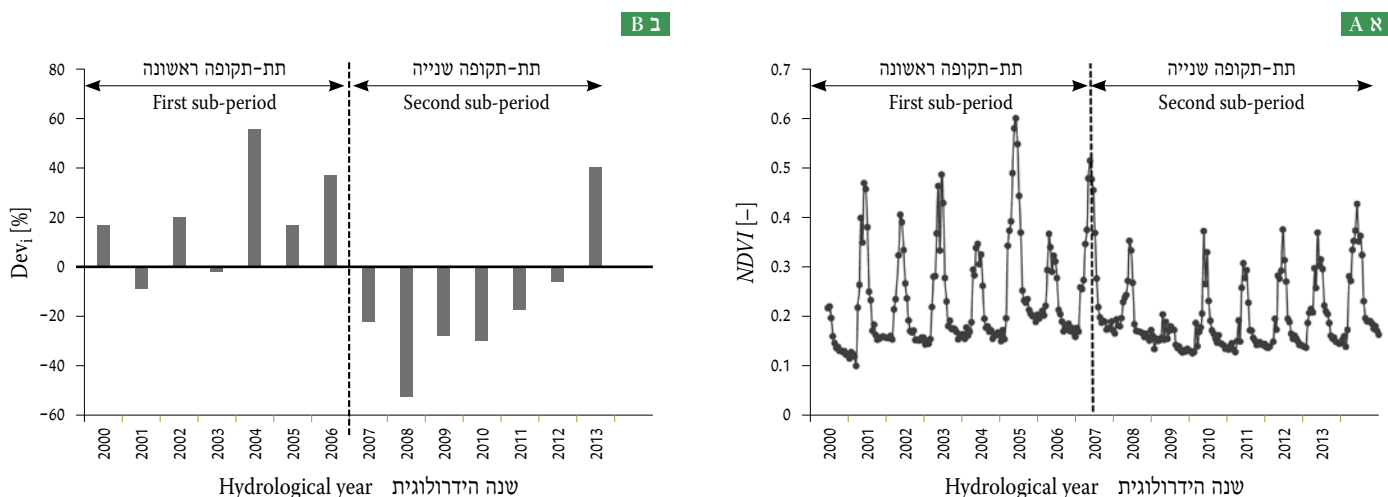
Table 1: Average values of clay and silt content, lime and organic matter in the soil (A) and available content of macro-nutrients, Electrical conductivity (EC) and Sodium Adsorption Ratio (SAR) of the soil extract. Soil samples were taken at two soil horizons – 0–5 and 5–15 cm along the slope and stream bed (B). Capital and small letters, near the presented values state the significance link between the slopes and stream bed for each soil horizon, or between locations.

A א

Organic matter חומר אורגני		Lime גיר		Silt סילט		Clay חרסית		עומק הקרקע Soil Depth
בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	
----- % -----								ס"מ cm
2.3 aA	0.7 bA	15.6 aA	12.6 aA	10.5 aA	12.1 aA	14.5 aA	6.8 bB	5-0
1.2 aA	0.5 bA	15.2 aA	13.3 aA	8.4 aA	11.6 aA	13.5 aA	9.8 bA	15-5

B ב

Saturation paste extraction מיצוי עיסה רוויה				Available nutrients ריכוזים זמינים של מזינים בקרקע						עומק הקרקע Soil Depth
SAR		EC		P- PO_4		N- NH_4		N- NO_3		
בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	
0.5 (מא"ק"ל)		dS/m		----- מ"ג/ק"ג -----						ס"מ cm
0.4 bA	1.0 aA	0.7 aA	0.6 aA	12.6 aA	6.4 bA	10.1 bA	12.6 aA	13.6 aA	3.0 bB	5-0
0.3 bA	1.3 aA	0.5 bA	0.6 aA	6.7 aB	3.4 bB	7.9 bA	11.8 aA	5.4 aB	1.6 bA	15-5



איור 2: [א'] ערכי $NDVI$ (מדד למצב וצפיפות הצומח) שנמדדו באתר המחקר באגן ההיקוות בשנים ההידרולוגיות מ-2000 ועד 2013, כאשר תקופת הניטור הצמחי חולקה לשתי תתי-תקופות. [ב'] ערכי $Devi$ (אחוז הסטייה השנתיים של ה- $NDVI$ ביחס לערך ה- $NDVI$ הממוצע הרב-שנתי) בשנים ההידרולוגיות מ-2000 ועד 2013, כאשר ערך ה- $NDVI$ הממוצע הרב-שנתי מסומן כקו אופקי בערך 0 בציר ה-Y.

Figure 2: [A] Measured $NDVI$ values at the research watershed during 2000-2013; the entire monitoring time period has been divided into two sub-periods. [B] $Devi$ values (the deviation of annual $NDVI$ relative to the multi-year annual average during the hydrological years of 2000-2013; the average annual $NDVI$ value appears on the Y axis (intersects the 0 of the X axis).

מתחילה עם אירוע הגשם האפקטיבי הראשון, ושיא פעילותו מתרחש בין חודש לחודשיים לאחר מכן; (2) שיא הפעילות של הצמחייה העונתית חל בחודשים פברואר מרס, כשלושה עד ארבעה חודשים לאחר הגשם הראשון האפקטיבי, ולאחר מכן צמחייה זו קמלה; (3) הפעילות הפוטוסינטטית של הצמחייה הרב-שנתית מתרחשת במהלך כל השנה, כאשר שיא הפעילות שלה חלה כחמישה חודשים (באפריל, מאי) לאחר הגשם האפקטיבי הראשון. על פי תוצאות אלו של קרנילי (Karnieli, 2003) ניתן להסיק, שהערכים המרביים של ה- $NDVI$ (איור 2א'), שהתקבלו לרוב בחודש מרס בכל שנה הידרולוגית, נבעו בעיקר מהתפתחות צומח עונתי באזור הנמדד, והירידה החדה בערכים אלה לאחר מכן נבעה מקמילה שלהם.

לאורך שנות הניטור של הצמחייה (איור 2א') אובחנה שונות ניכרת בערכי ה- $NDVI$ בין השנים, כאשר ערך ה- $NDVI$ המרבי בשנה ההידרולוגית 2004 היה הגבוה ביותר (0.6) והערך המרבי הנמוך ביותר (0.16) התקבל בשנה ההידרולוגית 2008. אולם, לא נצפתה מגמה רציפה וברורה של ירידה או עלייה בערכי המקסימום או המינימום השנתיים של ה- $NDVI$ לאורך שנות הניטור (איור 2א'). למרות זאת, את תקופת הניטור של ערכי ה- $NDVI$ ניתן לחלק לשתי תתי-תקופות: תתי-תקופה ראשונה משנת 2000 ועד 2006 ותתי-תקופה שנייה משנת 2007 ועד 2013. ניתן לראות זאת מערכי הסטייה השנתיים ($Devi$) מערך ה- $NDVI$ הממוצע ($NDVI_{aver}$) של כל שנות הניטור הצמחי מהשנה ההידרולוגית 2000 ועד השנה ההידרולוגית 2013, המובאים

והפורייה יותר מהמדרונות לתחתית הערוץ העלתה את הריכוזים של מזינים אלה בתחתית הנחל ודלדלה את ריכוזם במדרונות. למרות תנאי האקלים הצחיחים באזור המחקר, ערכי המליחות (EC) והניתרון (SAR) בקרקעות במדרון בערוץ היו נמוכים. כנראה, שכמות הגשם השנתית (ערך ממוצע שנתי של 154 מ"מ שנמדד בין השנים 1994 ועד 2014) הספיקה לשטוף את המלחים מהקרקע מתחת לעומק של 15 ס"מ. עם זאת, ערכי ה- SAR בקרקע במדרונות היו גבוהים באופן מובהק מאשר בתחתית הערוץ. מכאן, שהקרקע במדרונות רגישה יותר להרס מבנה, לדיספרסיה של חרסית ולהיווצרות קרומים פיזיקליים במהלך הגשמים מאשר הקרקע בתחתית הערוץ.

רצף ערכי ה- $NDVI$ שנמדדו משנה הידרולוגית 2000 ועד שנה הידרולוגית 2013 מובא באיור 2א', כאשר שנה הידרולוגית מתחילה בחודש ספטמבר ומסתיימת בחודש מאי של השנה העוקבת. כל ערך של $NDVI$ באיור מהווה ערך מרבי ($Maximum Value Composite - MVC$), שהתקבל במהלך 16 ימים רצופים של נתונים מהלוויין (סדרת מדידה). הערך המרבי של מדד ה- $NDVI$ בכל שנה הידרולוגית התקבל לקראת סיום השליש האחרון של עונת הגשמים, לרוב בחודש מרס, וערכי ה- $NDVI$ הנמוכים ביותר התקבלו לרוב בתקופה שבין אוקטובר לנובמבר, בשיא העונה היבשה ולפני תחילת עונת הגשמים העוקבת. בעבודה של קרנילי (Karnieli, 2003), שבחנה את השינויים בפני הקרקע עם הזמן באזור פארק סיירת שקד, בעזרת מדידות ישירות נמצא: (1) שהתחלת הפעילות הפוטוסינטטית של הקרום הביולוגי

המספר הסידורי בשנה הידרולוגית של סדרות המדידה שנעשו על ידי הלוויין, וערך ה- $NDVI_{aver}$ חושב מנוסחה [5],

$$NDVI_{aver} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} NDVI_i}{N} \quad [5]$$

כאשר N – מספר שנות התצפית בכל תקופת הניטור (2000–2013).

בתת התקופה הראשונה (2000–2006), רוב ערכי ה- Dev_i היו חיוביים, כאשר הערכים השליליים היו קרובים לערך ה- $NDVI_{aver}$ הרב-שנתי, ואילו בתת התקופה השנייה (2007–2014) כל ערכי ה- Dev_i היו שליליים, מלבד הערך בשנה ההידרולוגית 2013 (איור 2ב). תוצאות אלו מורות על כך, שהבימוסה הירוקה של הצמחייה בתת התקופה הראשונה הייתה, על פי רוב, רבה יותר מאשר בתת התקופה השנייה. הבדלים אלה במופע הצמחים שבין שתי תת התקופות יכלו לנבוע מהבדלים בתנאי האקלים והסביבה, כגון – כמות גשם שנתית, ערכי ET_0 ושיעור נגר עילי, בין תת התקופות השונות. כמויות גשם שנתיות משנה הידרולוגית 1991 ועד שנה הידרולוגית 2013, כולל ממוצע גשם רב-שנתי לכל התקופה הנמדדת, מובאים באיור 3א. תקופת הניטור של כמויות הגשם השנתיות חולקה לשלוש תת-תקופות עיקריות, טרום הניטור הצמחי באגן, ושתי תת-תקופות, הראשונה והשנייה, במהלך הניטור הצמחי בהתאם לאיור 2א. תת התקופה של טרום הניטור הצמחי מובא באיור 3א על מנת לבחון שינויים ארוכי טווח בתנאי האקלים באזור המחקר. לא נמצאה מגמה רציפה, מתמשכת וברורה של ירידה או עלייה בכמות הגשם השנתית עם הזמן, במהלך כל תקופה ניטור הגשם מ-1991 ועד 2013 (איור 3א). בתת התקופה של טרום הניטור הצמחי (1991–1999), השונות בכמויות הגשם השנתיות הייתה גדולה, כאשר ארבעה חורפים היו גשומים ומעל הממוצע הרב-שנתי וארבעה חורפים היו שחונים ומתחת לממוצע הרב-שנתי (איור 3א). בתת התקופה משנה 2000 ועד 2006 (תת התקופה הראשונה על פי הניטור הצמחי), כמויות הגשם השנתיות היו גבוהות מממוצע הגשם הרב-שנתי, לעומת כמויות גשם שנתיות, הנמוכות מהממוצע בתת התקופה משנת 2007 ועד 2013 (תת התקופה השנייה על פי ניטור הצומח), למעט השנה 2013 (איור 3א). תת התקופה השנייה של הניטור הצמחי אופיינה גם בכמות גשם ממוצעת לסופה קטנה ובממוצע של מספר ימי גשם מועט באופן משמעותי לעומת תת התקופה הראשונה ותת התקופה של טרום הניטור הצמחי באגן (טבלה 2). כמויות הגשם השנתיות בשתי תת-תקופות הניטור הצמחי (איור 3א) וערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים התואמים באותן תת-תקופות (איור 2א) נמצאו במתאם ליניארי מובהק ($p < 0.05$, $r^2 = 0.64$) (איור 2ב). מכיוון שערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים (איור 2א)

באיור 2ב. ערכי ה- Dev_i חושבו מנוסחה [3],

$$Dev_i = \left(\frac{NDVI_i - NDVI_{aver}}{NDVI_{aver}} \right) \times 100 \quad [3]$$

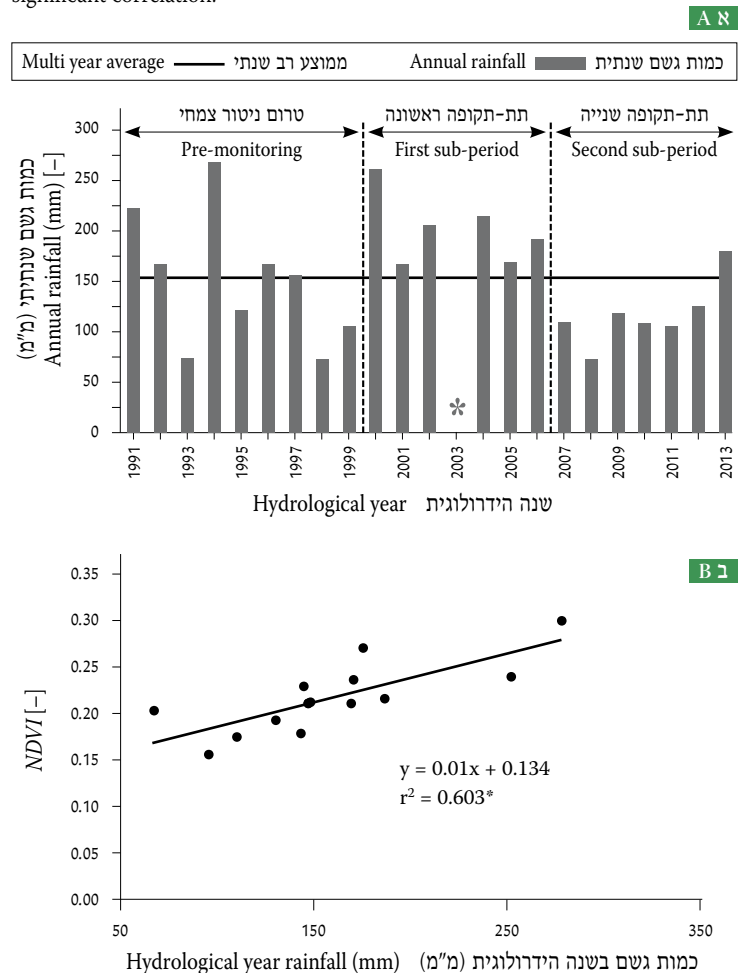
כאשר ערך ה- $NDVI_i$ השנתי של שנה הידרולוגית i חושב מנוסחה [4],

$$NDVI_i = \sum_{j=1}^{j=N} NDVI_j \quad [4]$$

כאשר ערך $NDVI_j$ הוא הערך המחושב המרבי (MVC) שהתקבל ברצף המדידות בכל 16 ימים (סדרת מדידה), j הוא

איור 3: [א] כמויות גשם שנתיות לשנים ההידרולוגיות מ-1991 ועד 2013, כאשר תקופת הניטור חולקה לשלוש תת-תקופות. הקו הרציף האופקי מציין את כמות הגשם הממוצעת הרב-שנתית לכל תקופת הניטור, ו-[*] מסמן שנה שבה לא נמדדו כמויות הגשם. [ב] הקו ונוסחת המתאם בין ערכי ה- $NDVI$ המקסימליים השנתיים לבין כמויות הגשם השנתיות התואמות עבור השנים ההידרולוגיות מ-2000 ועד 2013. [*] מסמן מקדם מתאם מובהק.

Figure 3: [A] Annual rainfall during 1991–2013; the monitoring time period has been divided into three sub-periods. The solid vertical line is the multi-year average of the entire monitoring time frame. [*] represents the years from which data is missing. [B] The trend and correlation between $NDVI$ values and annual rainfall for the hydrological years between 2000 and 2013. [*] represents significant correlation.



משקפים את שיא ההתפתחות של הצומח העונתי, ניתן מושפעת בעיקר מכמות הגשם השנתית באותה שנה, ופחות מכמות הגשם השנתית בשנים קודמות.

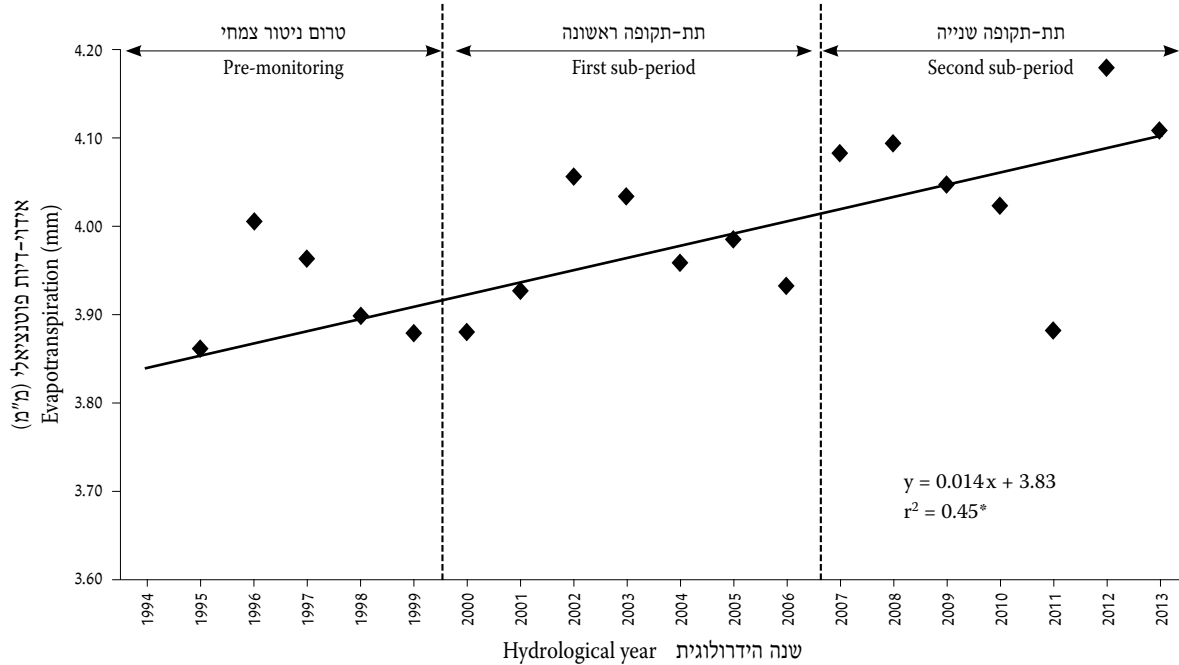
טבלה 2: מדדי סופות הגשם עבור העונות ההידרולוגיות בין השנים 1991 ועד 2013, ממוצעי תת התקופות השונות וממוצע כללי לכל שנות הניטור.
Table 2: Rainstorm indices for the hydrological years from 1991 till 2013, sub-period averages and total averages for the entire monitoring period.

מספר ממוצע של ימים בין סופות הגשם Average number of days between storms	משך העונה הגשומה Rainy season duration	ימי גשם בשנה Annual number of rain days	כמות גשם ממוצעת לסופה Average amount of rain per storm	שנה הידרולוגית Hydrological year
	ימים days		מ"מ mm	
Pre-monitor טרום ניטור צמחי				
13	116	26	28	1991
14	100	16	24	1992
20	69	8	19	1993
9	123	30	24	1994
19	112	16	20	1995
11	107	23	19	1996
14	155	30	16	1997
16	149	19	8	1998
13	84	18	18	1999
14	113	21	20	ממוצע תקופתי Seasonal average
תת-תקופה ראשונה				
11	200	32	15	2000
11	166	42	14	2001
11	180	43	16	2002
ל.ג. ND	ל.ג. ND	ל.ג. ND	ל.ג. ND*	2003
12	108	21	27	2004
26	154	26	28	2005
11	163	52	17	2006
14	162	36	20	ממוצע תקופתי Seasonal average
תת-תקופה שנייה				
7	86	19	10	2007
18	150	8	9	2008
14	138	24	13	2009
18	182	20	10	2010
6	59	17	13	2011
ל.ג. ND	ל.ג. ND	10	11	2012
ל.ג. ND	ל.ג. ND	ל.ג. ND	ל.ג. ND	2013
13	123	16	11	ממוצע תקופתי Seasonal average
14	120	24.3	17	ממוצע כללי Total average

* ל.ג. - לא נמדד ND - no data

איור 4: ממוצעים שנתיים של ערכי אידוי-דיו פוטנציאליים יומיים לתקופה משנה הידרולוגית 1994 ועד שנה הידרולוגית 2013, כולל קו ונוסחת המתאם ביניהם לכל תקופת הניטור. תקופת הניטור חולקה לשלוש תתי-תקופות, ו-[*] מסמן מקדם מתאם מובהק.

Figure 4: Annual averages of daily potential evapotranspiration (PET) during the hydrological years 1994–2013. The entire monitoring time frame has been divided into three sub-periods. [*] represents significant correlation.



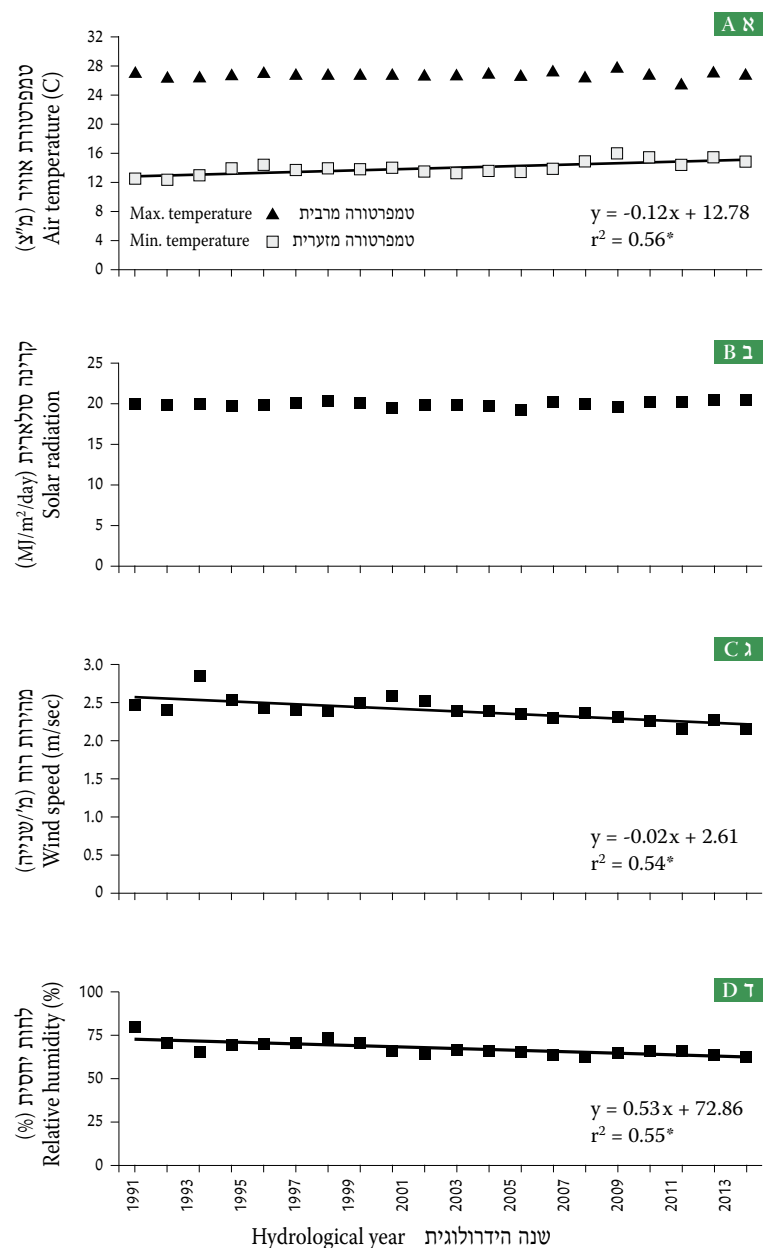
שהעלייה המובהקת בערכי ה- ET_0 עם הזמן (איור 4) נבעה בעיקר מעלייה בטמפרטורה המזערית (איור 5א') ומירידה בלחות האוויר (איור 5ב'). למרות העלייה הלינארית המובהקת בערכי ה- ET_0 עם השנים משנת 1994 ועד 2013 (איור 4), לא נצפתה ירידה תואמת בערכי ה- $NDVI$ המרביים עם השנים (איור 2א'). כנראה, שלעלייה ממוצעת שנתית של 0.01 מ"מ בערכי ה- ET_0 (איור 4) השפעה שולית על התפתחות הצומח העונתי. תוצאות אלו מחזקות את ההשערה, שנכתבה למעלה, שהתפתחות של הצומח העונתי מושפעת כנראה בעיקר ממכמות הגשם השנתית המספקת לצמח מים, ופחות ממגמת שינוי קטנה באקלים.

נגר עילי מהווה איבוד מים זמינים לצמח באזור שממנו הם ניגרים, מחד גיסא, ומקור מים לצמח באזור שאליו הם זורמים, מאידך גיסא. לכן, שינויים בשיעורי הנגר עם הזמן יכולים להשפיע על התפתחות הצומח באזור אגן ההיקוות. כמויות נגר (א') ויחסי נגר/גשם (ב') שנתיים לתקופה משנה הידרולוגית 1991 ועד שנה הידרולוגית 2011, כפי שנמדדו בחלקות הנגר, כולל ממוצע רב-שנתי לכל התקופה הנמדדת מובאים באיור 6. כמו באיורים 3א' ו-4, הערכים באיור 6 מתייחסים גם לתקופה שלפני הניטור הצמחי, כדי לבחון שינויים ארוכי טווח ביחסי נגר/גשם. על אף שחלקות הנגר ממוקמות במרחק של כ-800 מ' מאגן ההיקוות (איור 1), שיעורי הנגר שנמדדו מחלקות אלו יכולים להוות הערכה טובה יחסית לנגר העילי שהתקבל במדרונות האגן. במשך

ממוצעים שנתיים של ערכי ET_0 יומיים בתקופה משנה הידרולוגית 1994 ועד שנה הידרולוגית 2013, כולל קו ונוסחת המתאם בין ערכי ה- ET_0 השנתיים והשנה ההידרולוגית התואמת בכל תקופת הניטור מובאים באיור 4. כמו בנתוני הגשם השנתיים (איור 3א'), ערכי ה- ET_0 באיור 4 מובאים גם בתקופה שלפני הניטור הצמחי. זאת, כדי לבחון שינויים ארוכי טווח בתנאי האקלים באזור המחקר. למרות השונות בערכי ה- ET_0 , מתאם לינארי חיובי מובהק ($p < 0.05$, $r^2 = 0.454$) נמצא בין ערכים אלה לשנות הניטור מ-1994 ועד 2013 (איור 4). מתאם זה של ערכי ET_0 עם השנים יכול לנבוע מהשינוי במדדי האקלים של טמפרטורת מזערית-מרבית של האוויר, קרינת שמש, מהירות רוח ולחות מרבית באוויר (איור 5). ערכים ממוצעים שנתיים של הטמפרטורה המרבית היומית של האוויר וקרינת השמש היומית לא השתנו באופן מובהק עם הזמן (איורים 4א' ו-4ב', בהתאמה). לעומת זאת, הערכים הממוצעים השנתיים של מהירות הרוח היומית ושל הלחות היחסית ירדו באופן לינארי עם הזמן (איורים 5ג' ו-5ד', בהתאמה), ושל הטמפרטורה המזערית היומית של האוויר עלתה באופן מובהק (איור 5א'). הערכים הממוצעים השנתיים של הטמפרטורה המזערית היומית של האוויר עלו מערך ממוצע של 12 מ"צ בשנת 1994 ל-16 מ"צ בשנת 2013. בתקופה זו ירדה לחות האוויר היחסית מערך ממוצע שנתי של 79.8% בשנת 1994 ל-62.5% בשנת 2013. מכיוון שירידה במהירות הרוח אמורה להקטין את ערכי ה- ET_0 , ניתן לקבוע

איור 5: ערכים ממוצעים שנתיים של טמפרטורת מרבית או מזערית יומית ממוצעת של האוויר [א], קרינת שמש יומית ממוצעת [ב], מהירות רוח יומית ממוצעת [ג] ולחות אוויר יחסית יומית ממוצעת [ד] בשנים ההידרולוגיות מ-1994 ועד 2013 כולל קווי ונוסחאות המתאם לכל תקופת הניטור במדדים שהמתאם נמצא מובהק. [*] מסמן מקדם מתאם מובהק.

Figure 5: Annual averages of maximal and minimal air temperature [A], solar radiation [B], average wind speed [C] and daily relative humidity [D]. [*] represents significant correlation.



מאשר בתת התקופה הראשונה, עקב הירידה המשמעותית בהתפתחות הצומח בתת התקופה השנייה (איור 2). כנראה, שעוצמות הגשם ו/או התפתחות הקרום הביולוגי היו פחותות יותר בתת התקופה השנייה מאשר בתת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי, ואפשרו חדירה רבה יותר של מי גשם לקרקע ולהיווצרות כמות נגר קטנה יותר ליחידת גשם בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי.

השנים אובחנה שונות ניכרת בכמויות הנגר, אולם לשונות זו לא הייתה מגמה רציפה ועקבית עם הזמן (איור 6א). כמויות הנגר הגבוהות ביותר, 74.7 ו-54.1 מ"מ, התקבלו בשנים ההידרולוגיות 1994 ו-2000, בהתאמה, והנמוכה ביותר, כ-3.5 מ"מ, התקבלה ב-1995 וב-1998 (איור 6א). עם זאת, נמצא, שהערכים הממוצעים של הנגר השנתי, בחלקות המחקר, בתת-תקופה של טרום הניטור הצמחי (שנים 1991-1999) ובתת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי (שנים 2000-2006) היו גבוהים ודומים 23.3 ו-22.3 מ"מ, בהתאמה (איור 6א). לעומת זאת, הערך הממוצע של הנגר השנתי בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי (2007-2011) ירד באופן חד-ל-9.0 מ"מ. סביר להניח, שהירידה בכמויות הגשם (איור 6א) והנגר (איור 6א) השנתיים בתת התקופה השנייה, לעומת תת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי, הקטינו בתת התקופה השנייה את כמות המים הזמינים לצמחים שגדלו במדרונות ולאורך ערוצי ניקוז בלתי מופרים באגן, הניזונים בעיקר מזרימת נגר מהמדרונות.

הפחיתה בכמויות הנגר השנתיים בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי (איור 6א) יכלה לנבוע משלושה גורמים עיקריים: (1) פחיתה בכמויות הגשם השנתיים בתת-תקופה זו לעומת תת התקופה הראשונה כפי שנצפה באיור 6א), כאשר הנגר מהווה חלק מכמות הגשם שלא חדרה לקרקע באזור המומטר; (2) ממוצע עוצמות הגשם הסופתיות בתת התקופה השנייה היה נמוך מאשר בתת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי; (3) שינוי בחיפוי פני הקרקע על ידי הצומח, הנשר שלו והקרום הביולוגי. בעבודה של בוקן ואורנשטיין (Boeken & Orenstein, 2001), שנעשתה בפארק סיירת שקד נמצא, שנוכחות נשר על פני המדרונות הפחיתה באופן מובהק את כמות הנגר כתוצאה מחספוס פני המדרון, שהעלתה את פוטנציאל החידור של מי הנגר אל אזור בית השורשים של הצמח. הערכים הממוצעים של יחסי נגר/גשם שנתיים בתת התקופה הראשונה והשנייה של הניטור הצמחי היו 0.11 ו-0.08, בהתאמה (איור 6ב), שמשמעותם ירידה של כ-27% ביחס נגר/גשם הממוצע בתת-תקופה הניטור הצמחי השנייה לעומת תת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי. לעומת זאת, ממוצעי הגשם השנתיים בתת התקופה הראשונה והשנייה של הניטור הצמחי היו 201.3 ו-116.7 מ"מ, בהתאמה (איור 6א), שמשמעותם ירידה של כ-40% בממוצע הגשם בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי לעומת הראשונה. מכיוון שהיחס נגר/גשם שווה לכמות הנגר ליחידת גשם, אזי הירידה בערך הממוצע של כמות הנגר ליחידת גשם מתת התקופה הראשונה לתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי הייתה קטנה מאשר הירידה בערך הממוצע של הגשם השנתי באותן תת-תקופות. זאת למרות, שפני הקרקע בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי היו חשופים יותר למכות טיפות הגשם, להיווצרות קרומים פיזיקליים מפותחים יותר ולזרימה עילית של מי הנגר

ולהשוואה בין השפעות אלו על הצומח העונתי והרב-שנתי עם מינימום סטיות סביבתיות, היחס בין הערכים הממוצעים של ה- $NDVI$ בתת התקופה הראשונה לבין תת התקופה השנייה, עבור הצומח העונתי והרב-שנתי, חושבו כערכים מנורמלים (R_n) בעזרת נוסחה [6],

$$R_n = \frac{NDVI_{aveP}}{NDVI_{aveT}} \quad [6]$$

כאשר $NDVI_{aveP}$ הוא ערך $NDVI$ ממוצע תקופתי לחודשים מרס ואפריל עבור הצומח העונתי או לחודשים יוני, יולי, אוגוסט וספטמבר עבור הצומח הרב-שנתי; $NDVI_{aveT}$ הוא ערך ממוצע שנתי של ה- $NDVI$ לכל שנות הניטור הצמחי משנת 2000 ועד שנת 2013 עבור הצומח העונתי או הצומח הרב-שנתי. ערכי ה- R_n חושבו בנפרד לצומח העונתי, שבו ערכי ה- $NDVI_{aveP}$ וה- $NDVI_{aveT}$ היו עבור הצומח העונתי, ולצומח הרב-שנתי, שבו ערכי ה- $NDVI_{aveP}$ וה- $NDVI_{aveT}$ היו עבור הצומח הרב-שנתי.

ערכי ה- R_n , שחושבו מנוסחה [6], עבור הצומח העונתי והרב-שנתי היו 3.72 ו-6.83, בהתאמה. מכאן, שהתפתחות הצומח הרב-שנתי נפגעה פי 1.8 בממוצע מאשר הצומח העונתי במעבר מתת התקופה הראשונה הגשומה לתת התקופה השנייה הצחיחה יותר של הניטור הצמחי. הפגיעה הרבה של הצומח הרב-שנתי במעבר מתת התקופה הראשונה לתת התקופה השנייה נבעה כנראה מכך, שהצומח הרב-שנתי, מלבד רגישותו לכמות הגשם השנתית, מושפע באופן משמעותי גם מהרציפות בשנות הבצורת ומפחיתה בכמויות הנגר בשנים אלו, המהוות מקור מים נוסף לצומח זה. לעומת זאת, הצומח העונתי מושפע בעיקר מכמות הגשם השנתית, שממנה הוא צורך את כל כמות המים במהלך גדילתו.

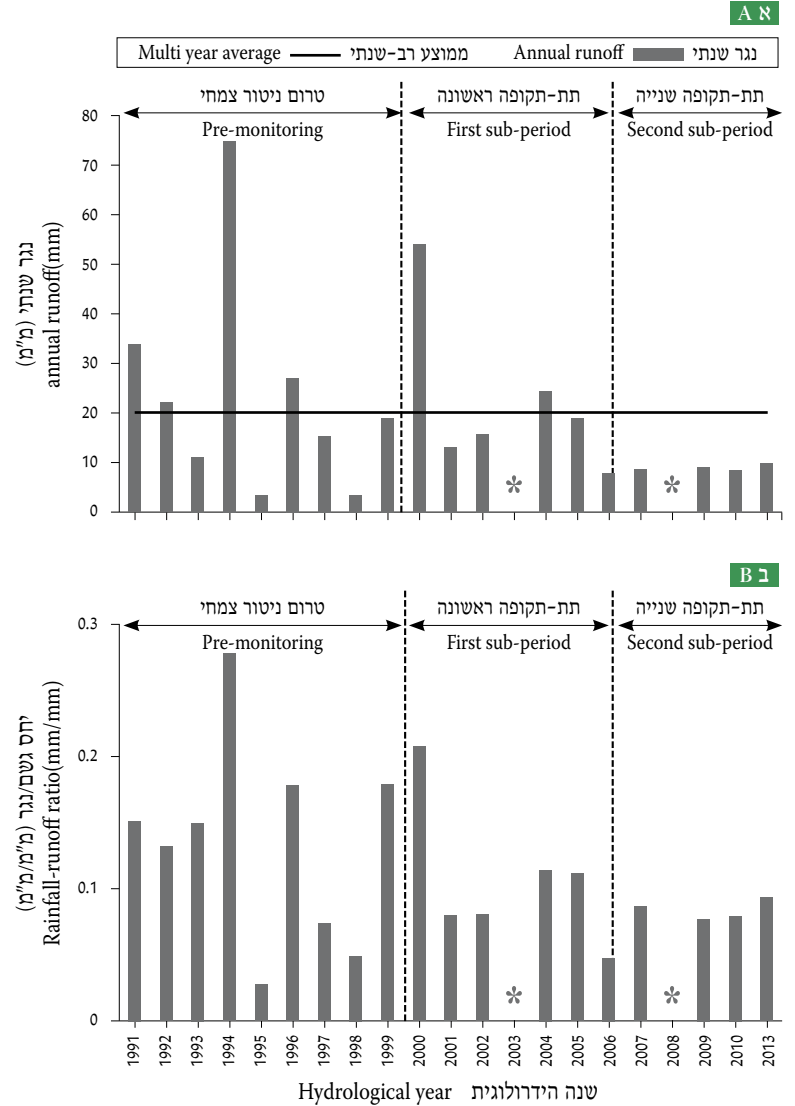
סיכום ומסקנות

בעבודה הנוכחית נבחנה ההשפעה ארוכת הטווח של תנודות אקלימיות והידרולוגיות על פעילות צומח עונתי ורב-שנתי באגן מחקר בלתי מופר, בפארק סיירת שקד בנגב הצפוני. מניטור של מצב וצפיפות הצומח שנעשה על ידי קביעת ערכי $NDVI$, מדידות נגר עילי שנמדדו מחלקות נגר מדרוניות ומדדים אקלימיים שונים שנלקחו מתחנות מטאורולוגיות באזור נמצא:

1. ניטור מצב הצומח באתר המחקר מהשנה ההידרולוגית 2000 ועד שנה ההידרולוגית 2013 הצביע על שתי תת-תקופות שנבדלו זו מזו באופן מובהק; תת-תקופה ראשונה, שהחלה משנה ההידרולוגית 2000 ועד השנה ההידרולוגית 2006, ותקופה שנייה, שהחלה מהשנה ההידרולוגית 2007 ועד 2013. בתת התקופה הראשונה

איור 6: כמויות נגר [א] ויחסי נגר/גשם שנתיים [ב] בשנים ההידרולוגיות מ-1991 ועד 2011, כאשר ערך הממוצע הרב-שנתי לכל תקופת הניטור מסומן כקו אופקי לציר ה-X. תקופת הניטור חולקה לשלוש תתי-תקופות, ו-[*] מסמן שנה שבה הנגר לא נמדד.

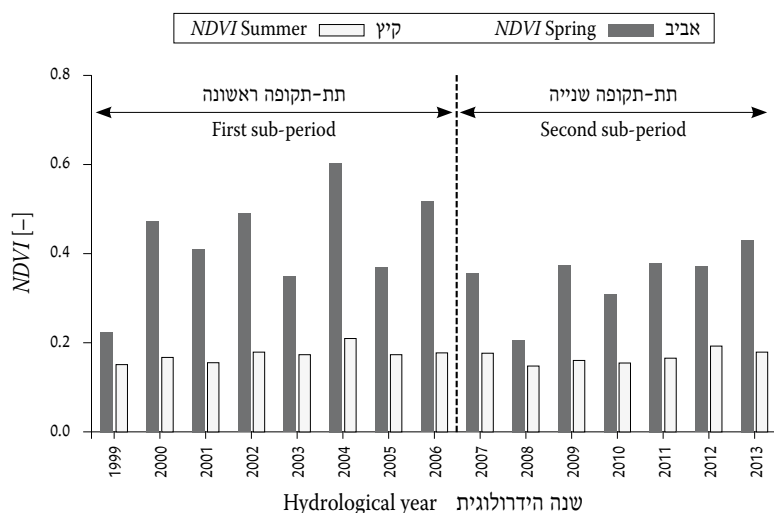
Figure 6: Annual runoff values [A] and rainfall-runoff ratio [B] during 1991–2011. The solid, horizontal, black line is the multi-year annual average. The entire monitoring time frame has been divided into three sub-periods and [*] represents missing data.



ערכי $NDVI$ ממוצעים עבור החודשים מרס ואפריל (אביב), המשקפים את התפתחות הצומח העונתי, ועבור החודשים יוני, יולי, אוגוסט וספטמבר (קיץ), המשקפים את התפתחות של הצומח הרב-שנתי, כאשר כמעט שלא קיים צומח עונתי, בכל שנה ההידרולוגית נתונה בשתי תתי התקופות של הניטור הצמחי מובאים באיור 7. היחסים בין הערכים הממוצעים של ה- $NDVI$ בתת התקופה הראשונה לבין תת התקופה השנייה עבור הצומח העונתי והרב-שנתי היו 1.27 לעומת 1.1, בהתאמה. כדי לבחון את ההשפעה של השינויים האקלימיים והסביבתיים בין שתי תתי התקופה של הניטור הצמחי,

איור 7: ערכי $NDVI$ (מדד למצב וצפיפות הצומח) ממוצעים עבור החודשים מרס ואפריל (אביב) והחודשים יוני, יולי, אוגוסט וספטמבר (קיץ) בכל שנה הידרולוגית עבור השנים ההידרולוגיות מ-2000 ועד 2013, כאשר תקופת הניטור הצמחי חולקה לשתי תתי-תקופות.

Figure 7: Average $NDVI$ values for spring (March–April) and summer (June–September) for each hydrological year from 2000 to 2013. All monitoring years were divided into two sub-periods.



מושפע באופן משמעותי גם מהרציפות בשנות הבצורת ומפחיתה בכמויות הנגר בשנים אלו, המהוות מקור מים נוסף לצומח זה, בעוד שהצומח העונתי מושפע בעיקר מכמות הגשם השנתית, שממנה הוא צורך את כל כמות המים במהלך גדילתו.

הביומסה הירוקה של הצמחייה (ערכי $NDVI$) הייתה על פי רוב, גדולה יותר מאשר בתת התקופה השנייה. במהלך כל תקופת הניטור הצמחי, כמויות הגשם השנתיות וערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים התואמים נמצאו במתאם לינארי חיובי מובהק. מכיוון שערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים משקפים את שיא ההתפתחות של הצומח העונתי, ניתן להסיק שהתפתחות צומח זה בשנה הידרולוגית נתונה הושפעה בעיקר מכמות הגשם השנתית באותה שנה, ופחות מכמויות הגשם השנתיות בשנים קודמות.

3. מתאם לינארי חיובי מובהק נמצא גם בין ערכי ET_0 השנתיים לבין שנת המדידה במהלך השנים מ-1994 ועד 2013. עלייה זו בערכי ה- ET_0 עם הזמן נבעה בעיקר מעלייה בטמפרטורה המזערית היומית ומירידה בלחות המרבית היומית של האוויר באזור.

4. למרות העלייה הלינארית המובהקת בערכי ה- ET_0 עם השנים לא נצפתה ירידה תואמת בהתפתחות הצומח העונתי. כנראה, שלעלייה ממוצעת שנתית של 0.01 מ"מ בערכי ה- ET_0 עם השנים השפעה שולית על התפתחות הצומח העונתי.

5. הצומח הרב-שנתי נפגע פי 1.8 בממוצע מאשר הצומח העונתי במעבר מתת התקופה הראשונה הגשומה לתת התקופה השנייה הצחיחה יותר בניטור הצמחי. פגיעה משמעותית זו בצומח הרב-שנתי נבעה כנראה מכך, שהצומח הרב-שנתי, מלבד רגישותו לכמות הגשם השנתית,

מקורות

- in a desert. *Ecography*, 1, 63-73. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1998.tb00394.x>
- FAO. (2015). *Climate change and food systems: global assessment and implications for food security and trade*. Food Organization and the United Nations (FAO).
- FAO. (1991). *Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production* (W. Critchley & K. Siebert, Eds.) (AGL/MISC/1). FAO, Rome.
- Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods* (pp. 383–411).
- Golodets, C., Sternberg, M., Kigel, H., Boeken, B., Henkin, Z., Seligman, N. G., & Ungar, E. D. (2013). From desert to Mediterranean rangelands: Will increasing drought and inter-annual rainfall variability affect herbaceous annual primary productivity? *Climatic Change*, 119 (3–4) 785–798. DOI: 10.1007/s10584-013-0758-8
- Helman, D., Mussery, A., Lensky, I. M., Leu, S. (2014). Detecting changes in biomass productivity in a different land management regimes in drylands using satellite-
- ארבל, ש. (2010). יחסי גשם-נגר ממדרונות לס, בממשקי ניהול שטח שונים באזור צחיח וצחיח למחצה. עבודת גמר לקבלת תואר מוסמך, אוניברסיטת חיפה.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- Ben-Hur, M. (2008). Seal formation effects on soil infiltration and runoff in arid and semiarid regions under rainfall and sprinkler irrigation conditions. In: F. Zereini & W. Jaeschke (Eds.), *Climatic changes and water resources in the Middle East and in North Africa* (p. 429–452). Berlin Heidelberg: Springer-Verlan.
- Boeken, B. (2014). *Park Shaked LTER- Ma'arag station*. JNF Annual report.
- Boeken, B. & Orenstein, D. (2001). The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 12, 825–832.
- Boeken, B. & Shachak, M. (1998). The dynamics of abundance and incidence of annual plant species during colonization

- A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR. *Climatic Change*, 17, 209–241.
- Shachak, M., Sachs, M., & Moshe, I. (1998). Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475–483. <http://doi.org/10.1007/s100219900043>
- Smiatek, G., Kunstmann, H., & Heckl, A. (2011). High-resolution climate change simulations for the Jordan River area. *Journal of Geophysical Research*, 116. <http://doi.org/10.1029/2010JD015313>
- UNCCD. (2011). *Desertification: A visual synthesis*. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).
- Vicente-Serrano, S. M. (2006). Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region. *Natural Hazards*, 40(1), 17–208. <http://doi.org/10.1007/s11069-006-0009-7>
- Vicente-Serrano, S.M., Zouber, A., Lasanta, T., & Pueyo, Y. (2012). Dryness is accelerating degradation of vulnerable shrublands in semiarid mediterranean environments. *Ecological Monographs*, 82(4), 407–428. <http://doi.org/10.1890/11-2164.1>
- Zaady, E., Groffman, P.M., Shachak, M. (1996). Litter as a regulator of N and C dynamics in macrophytic patches in Negev desert soils. *Soil Biology & Chemistry*, 28(1), 39–46.
- Ziv, B., Saaroni, H., Pargament, R., Harpaz, T., & Alpert, P. (2013). Trends in rainfall regime over Israel, 1975–2010, and their relationship to large-scale variability. *Regional Environmental Change*, 13(5), 1751–1764. <http://doi.org/10.1007/s10113-013-0414-x>
- derived vegetation index. *Soil use and Management*, 30 (1), 32–39. DOI: 10.1111/sum.12099
- IPCC Climate Change. (2007). *The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment Rreport of the intergovernmental panel on climate change* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, ... H. L. Miller, Eds.), *Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (Vol. 2010). Cambridge University Press.
- Jacquin, A., Sheeren, D., & Lacombe, J. P. (2010). Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, 3–10. <http://doi.org/10.1016/j.jag.2009.11.004>
- Karnieli, A. (2003). Natural vegetation phenology assessment by ground spectral measurements in two semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology*, 179–187. doi:10.1007/s00484-003-0169-z
- Lal, R. (2004). Carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123 (1–2), 1–22.
- Malo, A. & Nicholson, S. (1990). A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. *Journal of Arid Environments*, 19, 1–24.
- Nelson, D.W. & Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (pp. 383–411).
- Nicholson, S.E., Davenport, M.L., & Malo, A.R. (1990).