

**משרד החקלאות- דף שער לדו"ח מדעי לתוכניות מחקר
לקרן המדען הראשי**

קוד זיהוי	א. נושא המחקר
857-0718-17	סחף מים כגורם לאובדן קרקעות פוריות בישראל: תהליכים דינאמיים וכלים להתמודדות ולמזעור נזקים

ב. צוות החוקרים			ג. כללי		
שם פרטי	שם משפחה		מוסד מחקרי של החוקר הראשי		
			אוניברסיטת בן גוריון		
חוקר ראשי	סבוראי	טל	סוג הדו"ח	תאריכים	
חוקרים משניים			מסכם	תקופת המחקר עבורה מוגש הדו"ח	
1	אסולין	שמואל		התחלה	סיום
2	מורין	אפרת			
3	פילין	שגיא			
4	פורמן	אלכס		שנה חודש	שנה חודש
				01 / 2016	01 / 2017
					שנה חודש
					03 / 2017

ד. מקורות מימון עבורם מיועד הדו"ח		
שם מקור המימון	קוד מקור המימון	סכום שאושר למחקר בשנת תקצוב הדו"ח
		בשקלים
מדען ראשי חקלאות	02-8782	334,000

ה. תקציר
<u>בעיה</u> ידועה היא כי עיבוד קונבנציונאלי גורם לאובדן קרקע אך קשה מאד לכמת דינמיקת השפעות סוג העיבוד על קצב האובדן, בוודאי בקני"מ אגני. פער ידע זה מגביל את ההתמודדות עם אובדן קרקע. <u>מטרות</u>: (א) לכמת תהליכי סחף ושיקוע באגנים חקלאיים; (ב) ללמוד את הקשר בין משטר הגשם לתהליכי סחיפה; (ג) לבצע מדידות קצבי סחיפת קרקע וללמוד את הדינמיקה שלהם; (ד) ללמוד את ההשפעה של עיבוד קונבנציונלי, מופחת ומשמר על קצבי הסחיפה; (ה) לפתח מערכת קבלת החלטות להקטנת דלדול קרקע. <u>שיטות</u>: מודל פיזיקלי כולל סימולציה של חידור ע"פ משוואת ריצ'רדס וכן רכיב הילוך זרימה עילית (משוואות סנט וונאנט). נעשה שימוש בנתוני גשם ממכ"ם מטאורולוגי, ותבוצע פרמטריזציה לערכי הסף של המשתנים המסבירים. אימות המודל יכלול מדידות LIDAR של סחיפה משטחית וממדי אורך, רוחב ועומק של ערוצונים. צפוי כי מחקר זה יאפשר ביטוי כמותי להשפעה המשולבת של תכונות גשם, משתני סביבה ובעיקר סוג העיבוד על תהליכי סחיפה באופן מפורט בקנה המידה של החלקה (מ"ר) באמצעות המודל הפיזיקלי באתרי המחקר. <u>התוצאות</u> מראות את הקשרים בין תכונות הגשם וסחיפת הקרקע באיזור המחקר וכן פותח מודל ראשוני לכימות סחיפה. מערכת קבלת ההחלטות גם היא הראתה תובנות בהקשר של שירותי מערכת. <u>מומלץ</u> כי עקרונות המודל יתורגמו למרחב אגני (קמ"ר) באמצעות ממ"ג ובכך יתרמו לזיהוי אזורים בסכנת סחיפה. יכולת זו תשמש בסיס לפיתוח מערכת קבלת החלטות להגנה על הקרקע פורייה בפני סחיפה על פי העקרונות שפותחו כאן.

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)
-----------	-------------	---------------------	----------------------	------------	--------------------------

הדו"ח המפורט

דו"ח לתכנית מחקר מספר 17- 0718 - 857

שנת המחקר: 3 מתוך 3 שנים

סחף מים כגורם לאובדן קרקעות פוריות בישראל: תהליכים דינמיים וכלים להתמודדות ולמזעור נזקים

Water erosion as a determinant of soil erosion in Israel

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

טל סבוראי	המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
שמואל אסולין	המחלקה לקרקע ומים, מרכז וולקני
אפרת מורין	המחלקה לגיאוגרפיה, האוניברסיטה העברית בירושלים
שגיא פילין	המחלקה להנדסה אזרחית וסביבתית, טכניון
אלכס פורמן	המחלקה להנדסה אזרחית וסביבתית, טכניון

Tal Svoray, Department of Geography & Environmental Development, Ben-Gurion University of the Negev, P.O.B 653, Beer-Sheva 84105, E-mail: tsvoray@bgu.ac.il

Shmuel Assouline, Department of Environmental Physics and Irrigation Institute of Soils, Water and Environment Sciences A.R.O - Volcani Center P.O.B 6 Bet Dagan 50250, E-mail: vwshmuel@volcani.agri.gov.il

Efrat Morin, Department of Geography, The Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, E-mail: msmorin@mscc.huji.ac.il

Sagi Filin, Faculty of Civil and Environmental Engineering Technion - Israel Institute of Technology, Haifa 32000, E-mail: filin@technion.ac.il

Alex Furman Faculty of Civil and Environmental Engineering Technion - Israel Institute of Technology, Haifa 32000, E-mail: afurman@technion.ac.il

תקציר

בעיה ידועה היא כי עיבוד קונבנציונאלי גורם לאובדן קרקע אך קשה מאד לכמת דינמיקת השפעות סוג העיבוד על קצב האובדן, בוודאי בקנ"מ אגני. פער ידע זה מגביל את ההתמודדות עם אובדן קרקע. מטרות: (א) לכמת תהליכי סחף ושיקוע באגנים חקלאיים; (ב) ללמוד את הקשר בין משטר הגשם לתהליכי סחיפה; (ג) לבצע מדידות קצבי סחיפת קרקע וללמוד את הדינמיקה שלהם; (ד) ללמוד את ההשפעה של עיבוד קונבנציונלי, מופחת ומשמר על קצבי הסחיפה; (ה) לפתח מערכת קבלת החלטות להקטנת דלדול קרקע. שיטות: מודל פיזיקלי כולל סימולציה של חידור ע"פ משוואת ריצ'רדס וכן רכיב הילוך זרימה עילית (משוואות סנט וונאנט). נעשה שימוש בנתוני גשם ממכ"ם מטאורולוגי, ותבוצע פרמטריזציה לערכי הסף של המשתנים המסבירים. אימות המודל יכלול מדידות LIDAR

של סחיפה משטחית וממדי אורך, רוחב ועומק של ערוצונים. צפוי כי מחקר זה יאפשר ביטוי כמותי להשפעה המשולבת של תכונות גשם, משתני סביבה ובעיקר סוג העיבוד על תהליכי סחיפה באופן מפורט בקנה המידה של החלקה (מ"ר) באמצעות המודל הפיזיקלי באתרי המחקר. התוצאות מראות את הקשרים בין תכונות הגשם וסחיפת הקרקע באיזור המחקר וכן פותח מודל ראשוני לכימות סחיפה. מערכת קבלת ההחלטות גם היא הראתה תובנות בהקשר של שירותי מערכת. מומלץ כי עקרונות המודל יתורגמו למרחב אגני (קמ"ר) באמצעות ממ"ג ובכך יתרמו לזיהוי אזורים בסכנת סחיפה. יכולת זו תשמש בסיס לפיתוח מערכת קבלת החלטות להגנה על הקרקע פורייה בפני סחיפה על פי העקרונות שפותחו כאן.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי

1. יפית כהן
2. רמי זיידנברג
3. בני יעקובי

.....

הצהרת החוקר הראשי:
הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

_____ **חתימת החוקר** _____ **תאריך:** _____

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

- 1.
- 2.

4.....	מבוא
4.....	מטרות המחקר
5.....	פירוט עיקרי הניסויים, תוצאות ודיון המחקר
5.....	קבוצת המכ"מ בראשות פרופ' אפרת מורין:
5.....	מטרות המחקר
5.....	תוצאות וממצאים
12.....	דיון
	קבוצת המודל בראשות ד"ר שמואל אסולין ופרופ' אלכס פורמן וקבוצת הליידר בראשות
12.....	פרופ' שגיא פילין.
12.....	מטרות המחקר
12.....	תוצאות וממצאים
30.....	דיון
32.....	קבוצת קבלת החלטות בראשות פרופ' טל סבוראי:
32.....	מטרת המחקר
32.....	תוצאות וממצאים
36.....	דיון
37.....	ביבליוגרפיה
40.....	סיכום עם שאלות מנחות

מבוא

קרקע היא התשתית העיקרית למרבית הפעילות הביולוגית ומאחר ורובו המוחלט של המזון מגיע מגידולי שדה, איכות הקרקע וכוסר הייצור שלה הם בעלי משמעות קריטית לאספקת מזון. עיבוד קונבנציונאלי גורם לסחיפת קרקע ולדלדול מתמיד המתבטא בהפחתת ערכיותה. מאחר והגורמים המשפיעים על דלדול קרקע רבים, קיים קושי רב לחזות את רמת הסיכון לשדות. במסגרת מחקר זה אנו פועלים לפיתוח מודל סחיפה שיאפשר התוויית דרכי ניהול בשטח החקלאי והתמודדות עם תהליכי עיבוד הקרקע החקלאית. התפתחותם של כלי חישה מרחוק מאפשרת "השמשה" של מודלים אלו ככלי יעיל למקבלי ההחלטות והמתכננים. הכוונה היא לפתח בסיס נתונים של עצמות גשם ממכ"ם מטאורולוגי לאזור המחקר ושילוב רכיב גשם במודל הסחיפה המפותח. צפוי כי שילוב זה יאפשר הבנה וכימות טובים יותר של השפעות תכונות הגשם על מנגנוני הסחיפה. הערכות סיכוני סחיפה הן כלי חשוב להבנת השפעות המשתנים הרבים על היווצרות תופעות סחף קרקע בכלל, וסחף באזורים חקלאיים בפרט. יחד עם זאת, למרות ריבוי המחקרים העוסקים בהערכת סיכוני סחיפה בשנים האחרונות, עדיין קיים פער גדול בין חישוב רמות הסיכון באופן מפורש במרחב בהתחשב בסוג העיבוד ובין מניעה של נזקי סחיפה. בנוסף למידול עולה צורך למדוד קצבי סחיפה ולקבל אינדיקציה In Situ לגבי היקפי הנזקים. שימוש בסורקי לייזר המספקים מידע תלת-ממדי ישיר של פני הקרקע בהיקף נרחב ככל שנדרש ומספק פתרון טבעי לניטור וכימות שינויים בפני השטח. סריקות לייזר קרקעיות מספקות מידע מרחבי ברזולוציה ודיוקים גבוהים ומאפשרות אפיון וניתוח שינויים גיאומורפיים עדינים, כמו גם דפורמציות בקנה מידה גדול. עובדות אלו מקלות על ניטור תדיר יותר, כך שאפילו השפעת סופה בודדת ניתנת למדידה.

מטרות המחקר

מטרת המחקר הכללית היא לימוד מנגנוני סחף מים כגורם לאבדן קרקעות פוריות בישראל וכימות התהליכים הדינמיים הנובעים מכך, ושימוש במידע זה לפיתוח אמצעים להתמודדות ולמזעור נזקי דלדול קרקע חקלאית בישראל. המרכז מתמודד עם המטרות האופרטיביות הבאות:

(א) לפתח הבנה ויכולת כימות של תהליכי ייצור, סחף ושיקוע באגנים חקלאיים, ושל השפעות הגומלין בין הגורמים הקובעים את קצבי הסחיפה ואבדן הקרקע; (ב) ללמוד את מאפייני משטר הגשם בזמן ובמרחב באגנים חקלאיים ואת השפעתו על תהליכי סחף; (ג) לבצע מערך מדידות מוסדר של קצבי סחיפת קרקע באגנים חקלאיים וללמוד את הדינמיקה שלהם בזמן ובמרחב; (ד) ללמוד את ההשפעה של עיבוד קונבנציונלי, מופחת ומשמר על תכונות הקרקע ועל קצבי הסחיפה; ו-(ה) לשלב את המידע לעיל בממ"ג ליצירת מפות סיכון ומערכת מומחה לקבלת החלטות למזעור דלדול קרקע חקלאית.

פירוט עיקרי הניסויים, תוצאות ודיון המחקר

קבוצת המכ"מ בראשות פרופ' אפרת מורין:

מטרות המחקר

שילוב במודל הסחיפה נתוני סופות מדודות ונתוני סופות סינטטיות המבוססות על המאפיינים הסטטיסטיים בכדי לבחון אילו סופות בעלות פוטנציאל סחיפה מירבי באגן החרוד.

תוצאות וממצאים

חלק זה של המחקר עסק במאפייני סופות הגשם כפי שהן מתבטאות מנתונים בפירוט מרחב וזמן גבוה על בסיס מערכת מכ"מ מטאורולוגי, ובחינת פוטנציאל הסחיפה שלהן.

(1) חישוב מפות גשם מבוססות נתוני מכ"מ מטאורולוגי

מערכת מכ"מ מטאורולוגי מודדת נתוני קרינה המוחזרת מטיפות גשם בעננים אשר מתורגמים לפרמטר רפלקטיביות ($Z, mm^6 m^{-3}$), אותו ניתן להמיר לנתון של עצמת גשם ($R, mm h^{-1}$) על בסיס אלגוריתמים שונים ובדרך כלל בשילוב עם נתוני תחנות גשם. היתרון הגדול בנתוני גשם המבוססים על מכ"מ מטאורולוגי הוא הפירוט הגבוה במרחב (כ- 1 קמ"ר) ובזמן (כ- 5 דקות) ותחום הכיסוי הרחב (כ- 150 ק"מ רדיוס מאתר המכ"מ) ואילו החיסרון הוא בכך שזו מדידת גשם לא ישירה ואי הוודאות בנתון המתקבל היא גבוהה למדי (Morin and Gabella, 2007). במחקר הנוכחי התבססנו על מערכת המכ"מ של שח"ם מקורות הממוקמת בשדה התעופה בן-גוריון. זהו מכ"מ מסוג C-band ויתרוננו על פני מערכות מכ"מ אחרות בארץ הוא אורך הרקורד שלו - החל משנות התשעים ועד היום (אולם עם חוסרים של תקופות בהן המכ"מ לא עבד). האלגוריתמים שפותחו ניתנים ליישום גם על מערכות מכ"מ אחרות (מכ"מ השרות המטאורולוגי ומכ"מ רשות המים).

תהליך חישוב מפות הגשם מכיל מספר שלבים (ראו Marra et al., 2014 ו-Marra and Morin, 2015). בחלק הראשון מתורגמים נתוני הרפלקטיביות הנמדדים במכ"מ לנתוני עצמות גשם על ידי הפעלת קשר חזקה: $Z=316R^{1.5}$ (Morin and Gabella, 2007) ואחרי כן מופעלים מספר אלגוריתמים לתיקון פיזיקלי של נתוני המכ"מ:

1. תיקון אזימוט: תיקון הצפנת המכ"מ מתבצע על ידי בדיקת מיקום הדי הקרקע המתקבלים מאוניברסיטת חיפה בטווח של 86 ק"מ מהמכ"מ.

2. הדי קרקע: החזרים מהקרקע מנוקים על ידי חישוב מפה סטטית של הדי קרקע המבוססת על מספר רב של ימים ללא גשם. החזרים המוגדרים כהדי קרקע מנוקים ומתבצעת אינטרפולציה מרחבית לאזורים אלו.

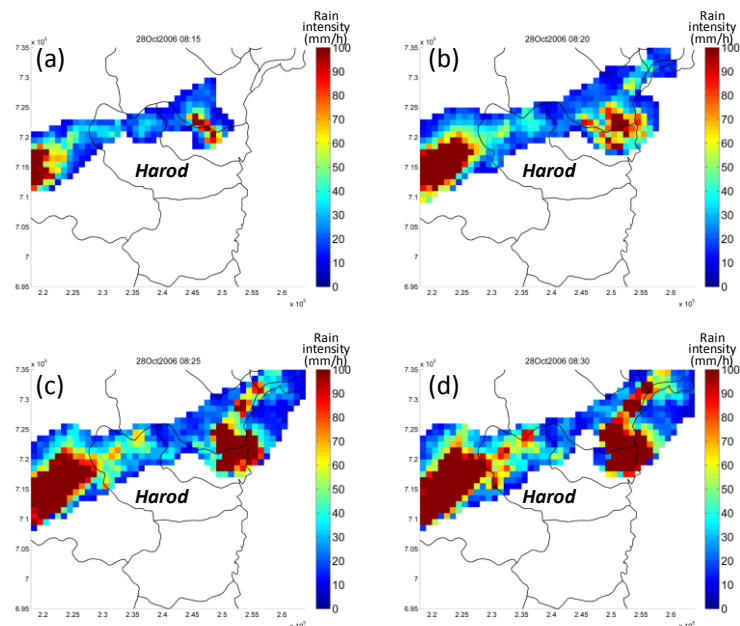
3. תיקון החלשה הנובעת מרדום רטוב: כאשר יורד גשם על הרדום המכסה את המכ"ם ונוצרת שכבת מים על גביו, אות המכ"ם מוחלשת במעברה דרך שכבת המים מה שמביא להערכת חסר של עצמות הגשם. לתיקון בעיה זו השתמשנו באלגוריתם בו משווים הדי קרקע במצב של רדום יבש ורדום רטוב לחישוב התיקון הדרוש.
4. תיקון אזורי חסומים: על פי נתוני טופוגרפיה מחושב אזורי חסומים לקרינת המכ"ם ומבוצע תיקון כל עוד החסימה אינה גדולה מ-70%.
5. תיקון החלשה הנובעת מגשם: אות המכ"ם מוחלש כאשר עובר דרך אזור עם גשם עצמתי וכך ההחזר מגשם בהמשך הדרך קטן יחסית. במכ"ם מסוג מכ"ם שח"ם שאינו פולרימטרי ישנם אלגוריתמים שונים לתיקון בעיה זו, אולם חלקם לא יציבים ומביאים לשגיאות, ולכן נעשה פה שימוש באלגוריתם מתוקן.
6. תיקון פרופיל אנכי: נתוני המכ"ם אינם מגיעים מפני השטח אלא מגובה מסוים המשתנה עם המרחק מהמכ"ם ותלוי בזווית ההגבהה של המכ"ם. כדי לחשב את עצמות הגשם המגיעות לפני הקרקע מופעל אלגוריתם המבוסס על הפרופיל האנכי של העצמות המחושב מנתונים בזווית הגבהה שונות וטווחים שונים.
- לאחר הפעלת האלגוריתמים הרשומים לעיל אשר אמורים להגדיל את דיוק הנתונים משמעותית עוד לפני השימוש בנתונים ממדי גשם (Marra et al. 2014), מופעל בשלב שני כיול הנתונים בעזרת תחנות גשם (Marra and Morin, 2015). ראשית מופעל פקטור תיקון תלוי טווח שמחושב מנתוני המכ"ם ומנתוני מדי גשם באמצעות רגרסיה משוקללת ברמה השנתית (Morin and Gabella, 2007) ואחרי כן מופעל פקטור תיקון אחיד במרחב המחושב גם הוא מנתוני המכ"ם ומנתוני מדי גשם לכל אירוע גשם. בנוסף, מופעל סף עליון לעצמות הגשם של 150 מ"מ/שעה כדי למנוע הערכת יתר הנובעת מהחזרים מוגברים מחלקיקי ברד באטמוספירה. החישובים לעיל התבצעו לכל תחום הכיסוי של המכ"ם ותוך שימוש ברשמי עצמות גשם שמספרם משתנה עם הזמן, אך נע בין 14 ל-80 בהתאם לשנה.
- מידת הדיוק של הערכות הגשם מחושבת באמצעות מספר מדדים: שורש ממוצע ריבועי השגיאות (RMSE), החלק היחסי של מדד ה-RMSE מהממוצע המדוד (FSE) ומקדם הקורלציה של פירסון (CC), כאשר נתוני עצמות הגשם המכילים מהמכ"ם משווים לנתונים ממדי הגשם למספר פרקי זמן: שעה, 6 שעות, 12 שעות ושנה הידרולוגית. התוצאות מוצגות בטבלה הבאה:

Accumulation interval	RMSE [mm]	FSE	CC
1 h	2.4	2.12	0.474
6 h	5.4	1.15	0.570
12 h	7.5	1.08	0.610
Hydrological year	155	0.60	0.723

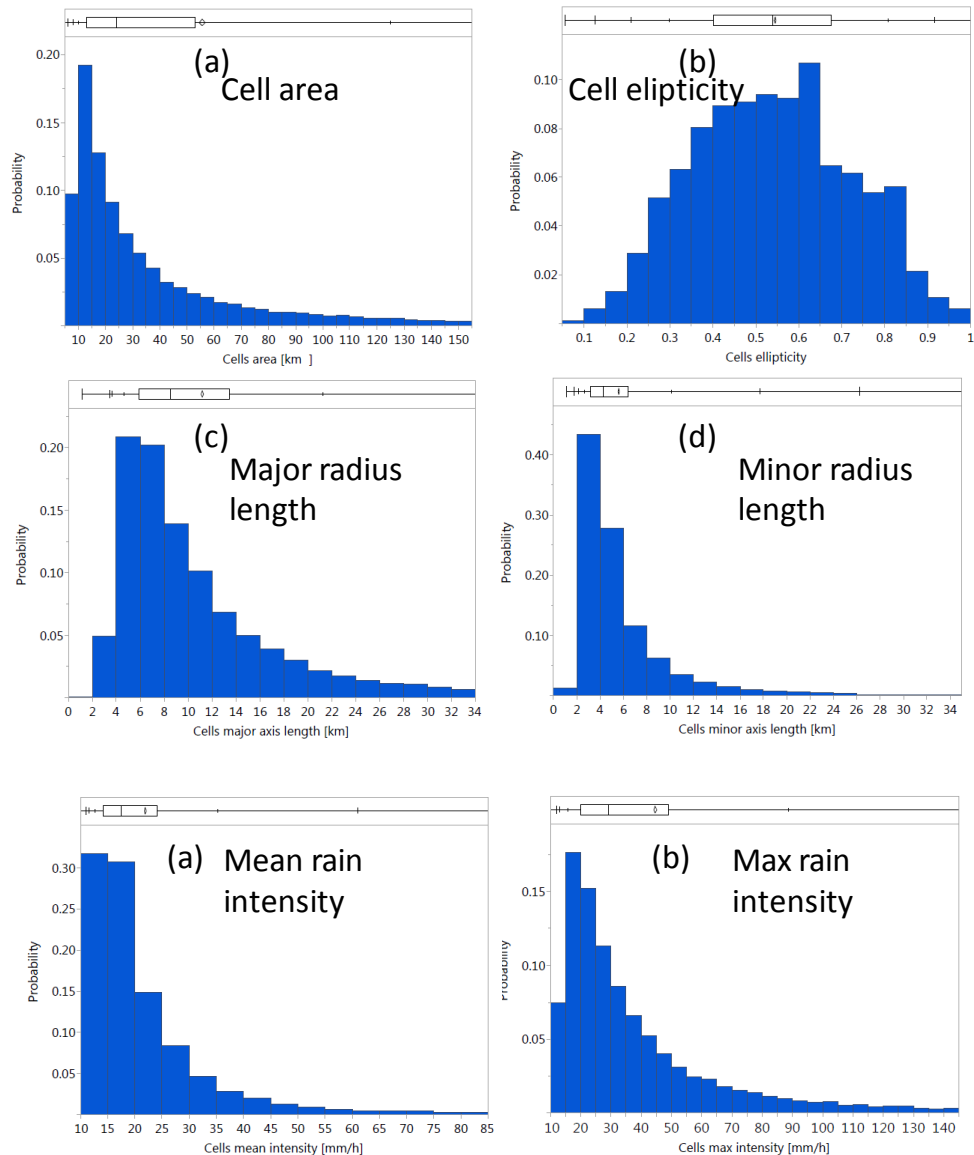
מידת הדיוק המתקבלת מתאימה לדיוק המתקבל בעבודות דומות בעולם. התוצר של תהליך זה הוא בסיס נתונים של עצמות גשם מחושבות מהמכ"ם בדיוק גבוה ככל האפשר וברזולוציה של 1 קמ"ר וכ- 5 דקות החל מ- 1991 ועד היום (עם תקופות חסרות).

(2) מאפייני זמן-מרחב של סופות הגשם

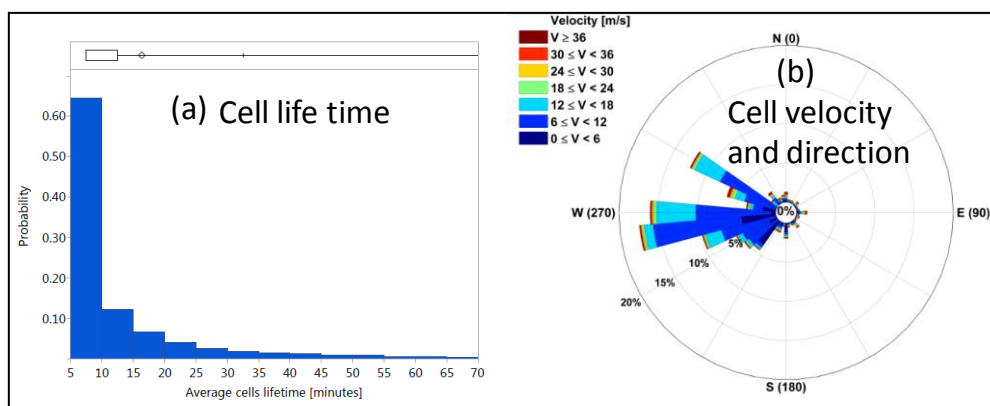
נותחו תכונות זמן-מרחב של סופות הגשם באזור אגן ההקוות על בסיס נתוני הגשם שהוערכו מהמכ"ם המטאורולוגי. ניתוח מפיני זמן-מרחב התבצע על הנתונים בתחום מרחבי שהוגדר סביב אגן ההקוות של נחל חרוד והוא כלל מספר שלבים: זיהוי תאי גשם קונבקטיביים בכל מפת גשם, עקיבה אחר התאים בין מפות הגשם, וחישוב התכונות המרחביות והעיתיות של תאי הגשם (Peleg and Morin, 2012). האיור מטה מציג את התחום המרבי בו בוצע הניתוח כשברקע אגן ההקוות של נחל חרוד ודוגמה ל- 4 מפות גשם עוקבות מסופת הגשם של 27-29 באוקטובר 2006 (Rozalis et al., 2010).



בסך הכל נותחו 20,340 מפות גשם (הכוללות לפחות תא גשם אחד במרחב אגן ההקוות). לכל מפה זוהו אזורי תאי הגשם (תהליך שנקרא סגמנטציה) וחושבו תכונות מרחביות שונות של התאים, כגון: שטח, אורך רדיוס ראשי ומשני, אליפטיות (יחס בין רדיוס משני לראשי), עצמת גשם מירבית, עצמת גשם ממוצעת, אורינטציה ועוד. ההתפלגויות האמפיריות של חלק מהתכונות מוצגות בשני האיורים מטה.



התכונות הדינמיות חושבו על ידי אלגוריתם עקיבה המשווה כל זוג תאי גשם בין שני צעדי זמן, ובוחן אפשרויות שונות (תא מתחיל, תא מסתיים, תא ממשיך). התפלגויות אמפיריות של משך חיים, מהירות וכיוון ההתקדמות של התאים (עבור תאים שנמשכו לפחות 2 צעדי זמן) מוצגות באיור מטה.



יש להדגיש כי חלק מהתכונות המוצגות לעיל הושפעו מגודל התחום שנלקח סביב אגן ההקוות (ראו איור עליון).

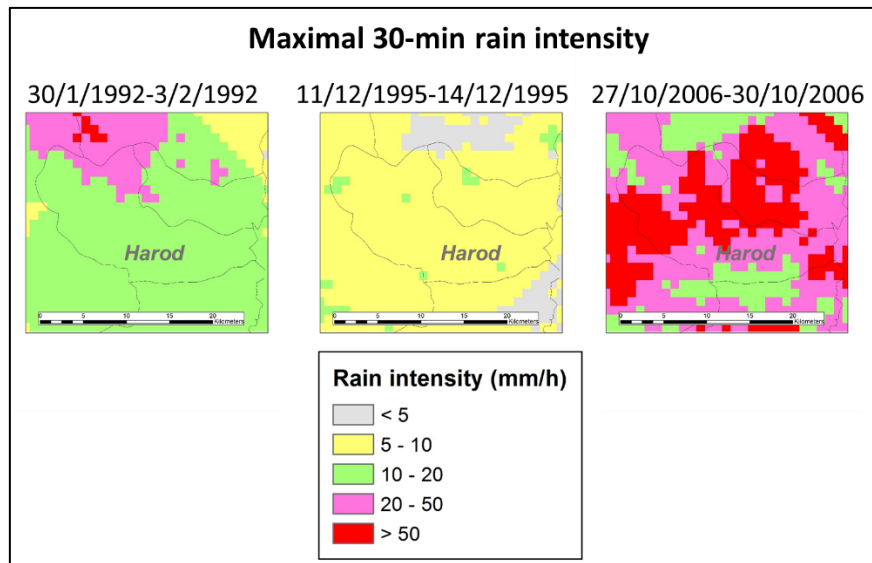
הטבלה מטה מציגה מאפיינים סטטיסטיים של התכונות השונות שנבחנו:

	Area [km ²]	Major axis [km]	Minor axis [km]	Max intensity [mm/h]	Mean intensity [mm/h]	Ellipticity	Velocity [m/s]	Direction [degrees]	Average lifetime [minutes]
maximum	1322	62.90	44.32	250	199.84	1.00	36		537.5
quartile 75%	53	13.43	6.37	48.98	24.08	0.67	12		12.5
median 50%	24	8.51	4.23	29.22	17.50	0.54	9		7.5
quartile 25%	13	5.91	3.20	19.98	14.23	0.40	6		7.5
minimum	1	1.15	1.15	10.14	10.09	0.06	3		7.5
Mean	55.70	11.19	5.59	44.62	21.93	0.55	10.43	263.62	16.33
Std Dev	97.56	8.06	4.10	43.96	14.05	0.19	7.78		24.81
Std Err Mean	0.57	0.05	0.02	0.25	0.08	0.00	0.07		0.26
Upper 95% Mean	56.81	11.28	5.64	45.12	22.09	0.55	10.55		16.84
Lower 95% Mean	54.59	11.10	5.55	44.12	21.77	0.54	10.30		15.81
N	29738	29738	29738	29738	29738	29738	14028	14028	8838

מהטבלה והאיורים מעלה ניתן לראות כי רוב התאים הם בעלי שטח של כ- 50 קמ"ר, שהוא שטח קטן מאגן ההקוות של נחל חרוד (181.5 קמ"ר, ביחס לתחנה באזור בית שאן), בעלי צורה אליפטית (בממוצע אורך הרדיוס המשני הוא כחצי מאורך הרדיוס הראשי), עם משך חיים של כרבע שעה בו הם נעים במהירויות של 6 עד 12 מטר לשניה, בכיוון התקדמות עם רכיב מערבי בולט, אך עם שיא נוסף ברכיב צפון-מערבי.

3) פוטנציאל הסחיפה של סופות הגשם

פוטנציאל הסחיפה נבחן בשתי צורות עיקריות. בראשונה חושבה עצמת הגשם המירבית ל- 30 דקות, נתון שמשמש לעיתים קרובות להערכת הארזיביות (Catari et al. 2011). האיור מטה מציג דוגמה לחישוב פרמטר זה לשלוש סופות שהתרחשו באגן ההקוות של נחל חרוד בעצמות שונות.



שלושת הסופות נותחו עבור מאפייני תאי הגשם וערכים ממוצעים של מספר תכונות מוצגים בטבלה מטה.

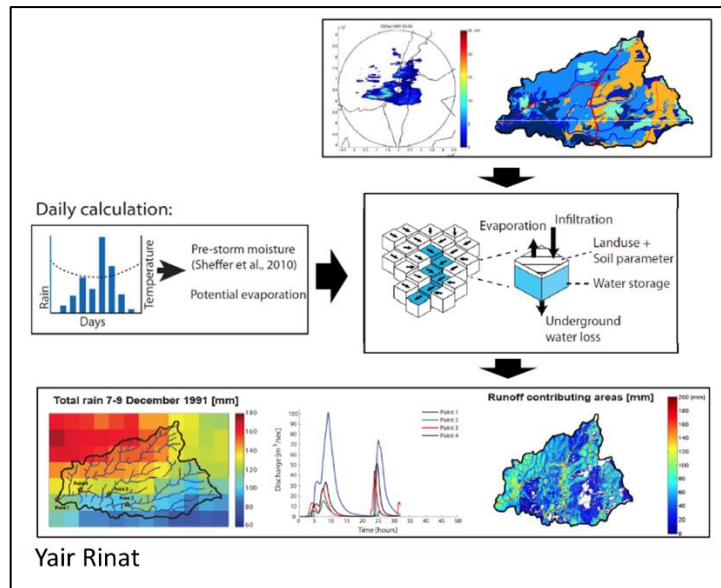
Date	Cell num	Area [km ²]	Max intensity [mm/h]	Velocity [m/s]	Direction [degrees]
30/1/1992-3/2/1992	349	72.9	29.4	9.6	299.8
11/12/1995-14/12/1995	23	25.7	20.9	7.3	259.8
27/10/2006-30/10/2006	199	73.7	127.9	6.3	233.6

כפי שניתן לראות, הסופה שהתרחשה באוקטובר 2006, הינה בעלת העצמות הגבוהות ביותר לחצי שעה, כאשר תאי הגשם בה הם העצמתיים ביותר, בעלי השטח הגדול ביותר ונעים במהירות הנמוכה ביותר. כל התכונות הללו מצביעות על כך שסופה זו היא בעלת פוטנציאל הסחיפה הגדול ביותר מבין שלוש הסופות המנותחות. אכן, בארוע של אוקטובר 2006 הביא לכמויות סחף גדולות ביותר כפי שמתואר בדו"ח התחנה לחקר הסחף (ארבל וח'י, 2009), כאשר ההערכות הן של כ- 10 מ"מ ליחידת שטח במוקדי שיא הסחף.

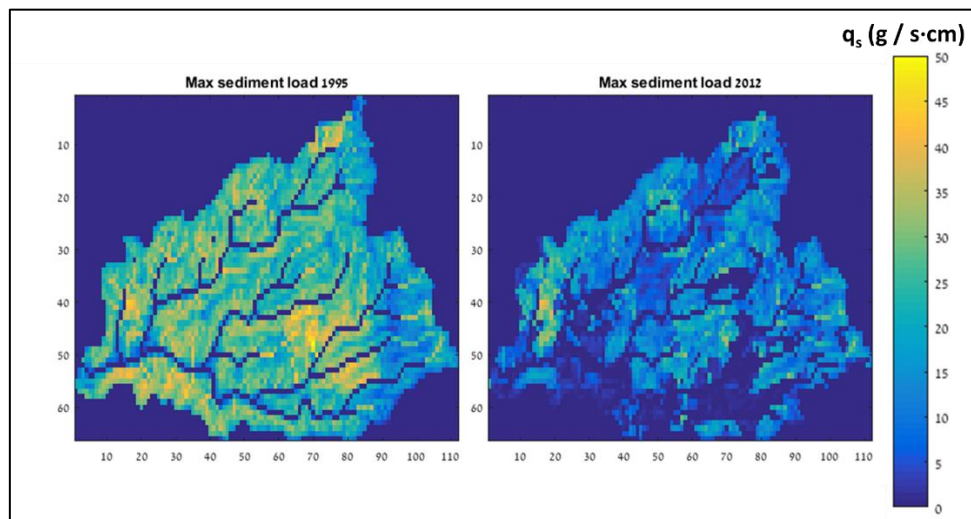
יש לשים לב במיוחד למהירות האיתית יחסית של סופה זו, תכונה שנמצאה בעלת השפעה מכרעת על עצמת השיטפון המתקבל (Morin and Yakir, 2014) ובהתאמה גם על יצירת סחף. כיוון ההתקדמות של סופה זו אינו בכיוון בו מתקבלת ספיקה מירבית, כלומר צפון-מערבי בכיוון האפיק הראשי מהמעלה למורד, אלא הוא בעל רכיב דרומי יותר. כלומר, בתרחיש מעט שונה, בו הכיוון היה יותר צפוני, יכולנו לצפות לשיטפון עצמתי יותר ולסחף גדול יותר.

פוטנציאל הסחיפה הוערך בנוסף באמצעות מודל הידרולוגי שפותח במסגרת הדוקטורט של יאיר רינת. המודל מקבל נתוני גשם מהמכ"ם בפירוט גבוה ומחשב לכל פיקסל שגודלו 100 X 100 מ² את החידור, הגשם העודף ואת עצמת הזרימה, זאת בהתחשב בתכונות פני השטח (סוג קרקע, שימוש קרקע, שיפוע, חספוס וכדומה) ובתנאי הרטיבות. האיור מטה

מציג את תאור המודל. בשלב זה המודל יושם לאזור רמות מנשה.



עבור המחקר הנוכחי חושב פוטנציאל הסחיפה על חישוב הערך המירבי בסופה של שטף הסדימנט בהתבסס על Nearing et al., 1997. ראשית חושב ה- Stream power (ω , $g s^{-1}$) כפונקציה של שטף הזרימה והשיפוע, וממנו חושב שטף הסדימנט ליחידת רוחב (q_s , $g s^{-1} cm$) על פי נוסחה אמפירית (Nearing et al., 1997). התוצאות מוצגות בשלב זה עבור אגן נחל דליה עליון. האיור מטה מציג ערכי מקסימום רגועים של שטף סדימנט ליחידת רוחב עבור סופה קיצונית מפברואר 1995 ומסופה בינונית מדצמבר 2012.



ניתן לראות כי בסופה החריגה מ- 1995 באזורים רבים באגן ההיקוות שטף הסדימנט הפוטנציאלי המירבי הוא מעל 40 גרם לשניה לס"מ, בעוד שבסופה הבינונית שטח קטן בלבד של אגן ההיקוות חשוף לשטפים אלו.

דין

סופות גשם מצטיינות בשונות רבה בזמן ובמרחב של עצמות הגשם אשר לה השפעה רבה על יצירת נגר עילי, שטפונות וסחף קרקע. במחקר הנוכחי אופיינו תכונות הסופות על ידי ניתוח תאי הגשם הקונבקטיביים בסופה (Peleg and Morin, 2012). גודל תאי הגשם קטן באופן כללי משטח אגן ההיקוות, ולכן יש חשיבות גדולה למיקום, לכיוון ולמהירות שבא נע תא הגשם ביחס לאגן. הסופות שיכולות לייצר את השטפונות הגדולים ביותר הן אלו שנעות עם ציר אגן ההיקוות מהמעלה אל המורד, במהירות נמוכה (באופן כללי קטנה מ- 10 מ/שניה). מאפיינים אלו שנמצאו ממחקרים שונים של החוקרים הראשיים (לדוגמה, Morin and Yakir, 2014) נראים כתקפים גם פה, למרות כי התוצאות המוצגות פה בעיקר מדגימות זאת למספר סופות מבחן. בשילוב עם מודל הידרולוגי מפורט ניתן להעריך שטפי סדימנט והקשר שלו לתכונות הסופה ופני השטח, כפי שמודגם פה, אולם נדרש מחקר נוסף כדי לבחון זאת באופן מעמיק יותר.

קבוצת המודל בראשות ד"ר שמואל אסולין ופרופ' אלכס פורמן וקבוצת הליידר בראשות

פרופ' שגיא פילין:

מטרות המחקר

אפיון סחף קרקע ברזולוציה מרחבית גבוהה (מילימטרית), ובניית מודל סחף קרקע להתמודדות עם התהליכים הפיזיקליים של הסחף ברזולוציה זו.

תוצאות וממצאים

הממצאים המובאים להלן כוללים בעיקר תוצאות של שנת המחקר האחרונה, אך גם מספר תוצאות מהשנה הקודמת. לצערינו ההתקדמות בנושא מידול האירוזיה אינה מספקת, הן בשל הערכה לא נכונה של הזמן שיידרש לפוסט דוקטורנט במחקר (דר אמרי עוז) להתמודד עם נושא המדידות, והן בשל רזולוציה לא מספקת (בעיקר בזמן) של המדידות. שנת העבודה הנוכחית כללה את השלבים הבאים:

(1) המשך איסוף ועדכון נתונים ביחס לשנת המחקר הקודמת:

- עדכון מבנה החלקות בכדורי בעקבות ממצאים משנת המחקר הקודמת
- ביצוע סריקות נוספות בחלקות הניסוי בכדורי ובחירת הסריקות הרלוונטיות למחקר
- המשך איסוף נתוני נגר וסחף

(2) המשך ניתוח נתונים והסקת מסקנות לגבי היכולת של סורק הלייזר לזהות שינויים בפני השטח בסקאלת החלקה הבודדת, ובסקאלה של אירוע גשם בודד.

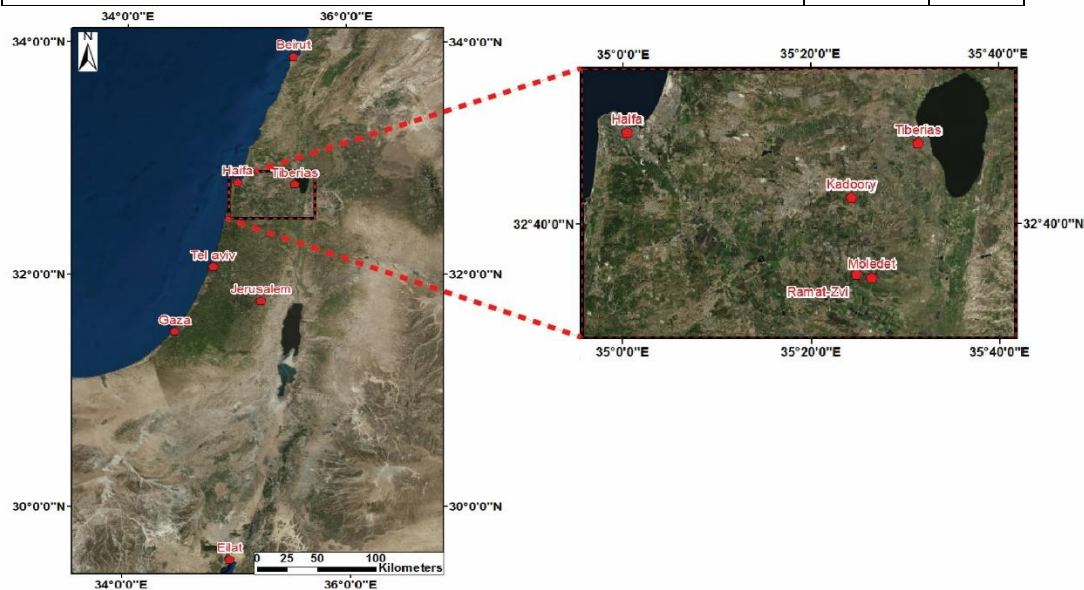
(1) המשך ביצוע סריקות בחלקות הניסוי, ועדכון המבנה של החלקות המבוקרות

בעקבות ממצאים משנת המחקר הקודמת -

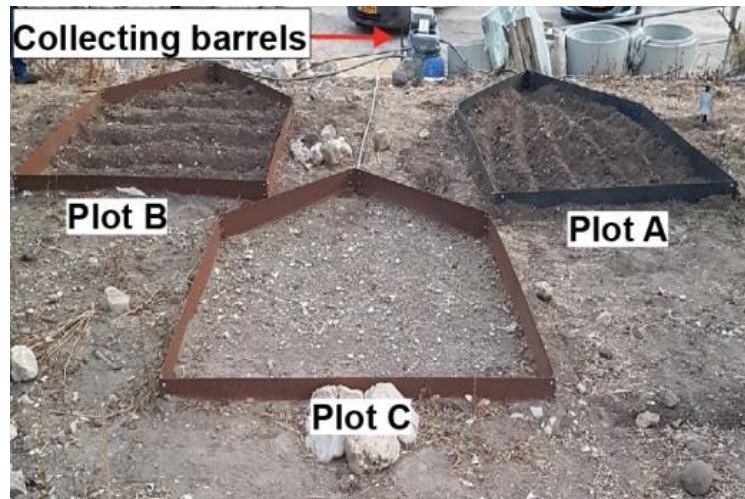
- עדכון חלקות הניסוי בעקבות ממצאים משנת המחקר הקודמת - בשנת המחקר הקודמת הוצבו בשטח ביה"ס כדורי (איור 1) שתי מערכות ניסוי מבוקרות בקנה מידה קטן (5 מ"ר). המערכות מורכבות ממסגרת מתכת אשר תוחמת את תא השטח הניסויי, ובקצה ישנו פתח המחובר לצינור שמוביל את הנגר והסחף לחבית אגירה (איור 2). שתי החלקות הללו תיארו שני שיטות של עיבודים חקלאיים שונים: (1) עיבוד חקלאי שבו התלמים ניצבים לכיוון השיפוע של המדרון; ו- (2) חלקה לא מופרת, כלומר ללא עיבוד חקלאי. בשנת המחקר הנוכחית הוספה חלקה נוספת באותן בעלת אותם מאפיינים (איור 2) אשר התלמים בה מקבילים לכיוון השיפוע של המדרון בכדי להשלים את התמונה מבחינת שיטות העיבוד החקלאי המקובלות, ובכדי לנסות ללמוד ולהתמודד עם ההשלכות של מבנה חקלאי מסוג זה. החלקות במולדת ואחת החלקות ברמת צבי (חלקות 5 ו-6 וחלקה 2 בדו"ח שנה שנייה בהתאמה) לא שימשו אותנו השנה בניתוח התוצאות. טבלה 1 מציגה את חלקות הניסוי הסופיות אשר שימשו בשנת המחקר הנוכחית ותוצאותיהן נותחו.

• **טבלה 1. 6 החלקות השונות ברמת צבי ובכדורי וסוג הטיפול החקלאי בהן**

מספר חלקה	מיקום	סוג טיפול
1	רמת-צבי	חלקה בשדה מעובד ללא חריש. תלמים במקביל לכיוון השיפוע של פני השטח
2	רמת-צבי	חלקה בשדה מעובד ללא חריש. תלמים בניצב לכיוון השיפוע של פני השטח
3	רמת-צבי	חלקה במטע שקדים. תלמים בניצב לכיוון השיפוע של פני השטח
4	כדורי	חלקה מעובדת. תלמים במקביל לכיוון השיפוע של פני השטח
5	כדורי	חלקה מעובדת. תלמים בניצב לכיוון השיפוע של פני השטח
6	כדורי	חלקה ללא פליחה.

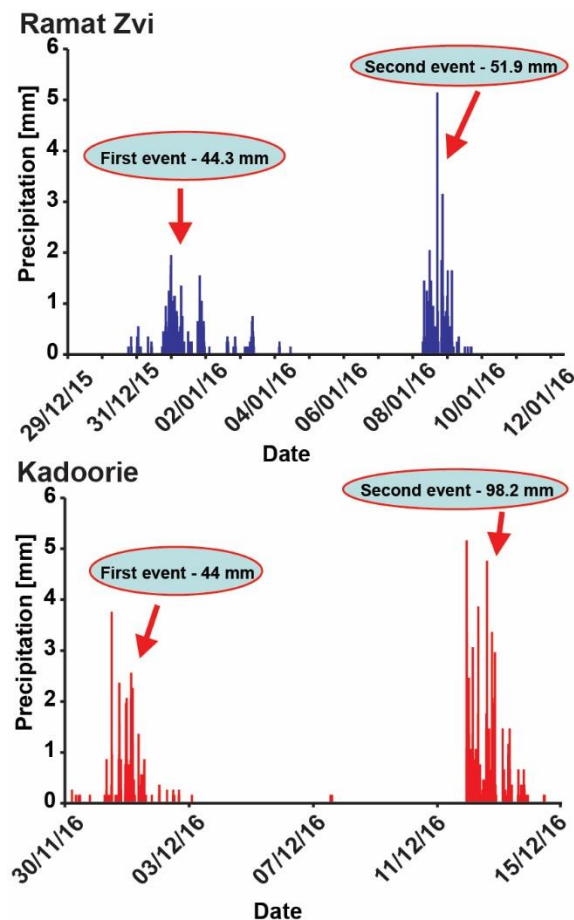


איור 1. מפת מיקום שטחי המחקר



איור 2. חלקות הניסוי בביה"ס כדורי

- ביצוע סריקות נוספות בחלקות הניסוי בכדורי על בסיס אירועי גשם - עקב הוספת החלקה הנוספת בכדורי, ובכדי לשפר את תוצאות המדידה על בסיס מסקנות מסריקות שנערכו בשנת המחקר הקודמת, נערכו בחלקות בכדורי 3 סריקות נוספות (סריקות 4-6 בטבלה 2). טבלה 2 מציגה גם את הסריקות הרלוונטיות עבור החלקות ברמת צבי (סריקות 1-3). עיתוי הסריקות נקבע על בסיס שני אירועי גשם משמעותיים כפי שהתקבלו ממדידות גשם עיתיות בתחנת הגשם בכדורי (איור 3; נ.צ. 734540/238440 גובה מעל פני הים: 145). באיור ניתן לראות שבהשוואה לאירועי הגשם משנת המחקר הקודמת, אשר שימשו עבור החלקות ברמת צבי, כמויות הגשם באירוע הראשון זהות, ואילו הכמות באירוע השני בשנת המחקר הנוכחית כפולה מזו שהתקבלה באירוע המקביל בשנה שעברה. דבר נוסף שעולה הוא שזמן האירועים שנמדד השנה הוא דומה (3~ ימים), ואילו משך הזמן של האירועים בשנה שעברה היה שונה משמעותית (4 ימים מול 1 יום באירוע הראשון והשני בהתאמה).



איור 3. תוצאות מדידות גשם עיתיות בתחנות כדורי ועין-חרוד, עבור החלקות בכדורי וברמת צבי, בהתאמה

טבלה 2. סריקות שבוצעו בחלקות הניסוי השונים

מספר סריקה	שנת מחקר ותאריך	חלקת ניסוי	מטרת הסריקה
1	שנה ראשונה 21/12/2015	רמת-צבי	סריקה ראשונית של פני השטח לפני עונת הגשמים
2	שנה ראשונה 06/1/2016	רמת-צבי	סריקה של פני השטח לאחר אירוע הגשם הראשון
3	שנה ראשונה 11/1/2016	רמת-צבי	סריקה של פני השטח לאחר אירוע הגשם השני
4	שנה שנייה 22/11/2016	בי"ס כדורי	סריקה ראשונית של פני השטח לפני עונת הגשמים
5	שנה שנייה 06/12/2016	בי"ס כדורי	סריקה של פני השטח לאחר אירוע הגשם הראשון
6	שנה שנייה 20/12/2016	בי"ס כדורי	סריקה של פני השטח לאחר אירוע הגשם השני

- המשך איסוף נתוני נגר וסחף - איסוף נתוני נגר וסחף בוצע על מנת להשוות את תוצאות הסריקות כנגד שיטה כמותית אחרת, אשר עומדת בפני עצמה. לאחר כל אחד מאירועי הגשם החביות נוקזו, ונפח הנגר ומשקל המשקעים נמדדו. האיסוף והמדידה של הנגר והמשקעים מהחביות בוצעו בשני חלקים. בחלק הראשון נאסף ונמדד משקל החומר הדק המרחף, ובנוסף נמדד נפח הנגר. החלק השני כלל את

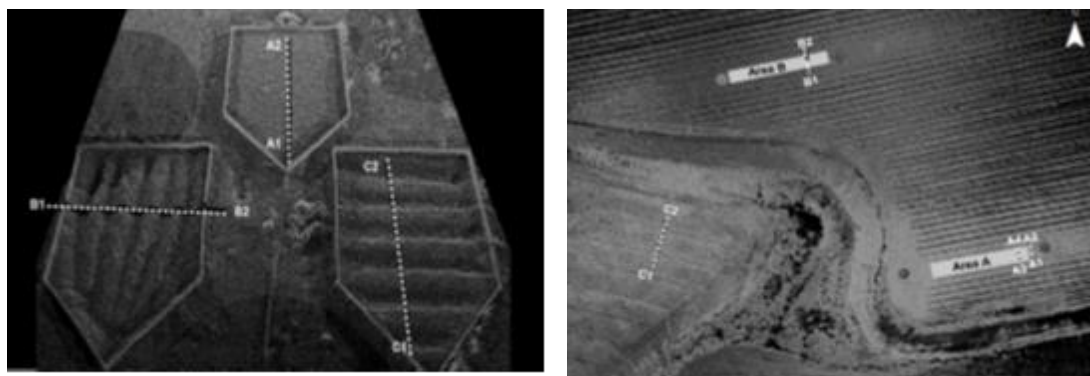
האיסוף והמדידה של משקל החומר הגס שנצבר בתחתית החבית. ההשוואה בין תוצאות הסריקות לבין תוצאות המדידות תוצג בפרק הבא.

(2) המשר ניתוח נתונים והסקת מסקנות – בפרק זה של הדו"ח ינתחו הנתונים ויתוארו המסקנות לגבי היכולת של סורק הלייזר לזהות שינויים בפני השטח בסקאלת החלקה הבודדת, ובסקאלה של אירוע גשם בודד. מסקנות אלו ישמשו לשימוש אופרטיבי בסורק למדידת סחף, ובכדי להבין את היכולת לכייל מודל פיסיקאלי עבור הסקאלות הנ"ל. בנוסף, נעשה שימוש בלייזר הקרקעי בכדי למצוא את ההשפעות של עיבודים חקלאיים ודפוסי גשם שונים על תהליכי סחף קרקע שמתפתחים כתוצאה מגשם וזרימת פני שטח. פרק זה כולל את השלבים הבאים:

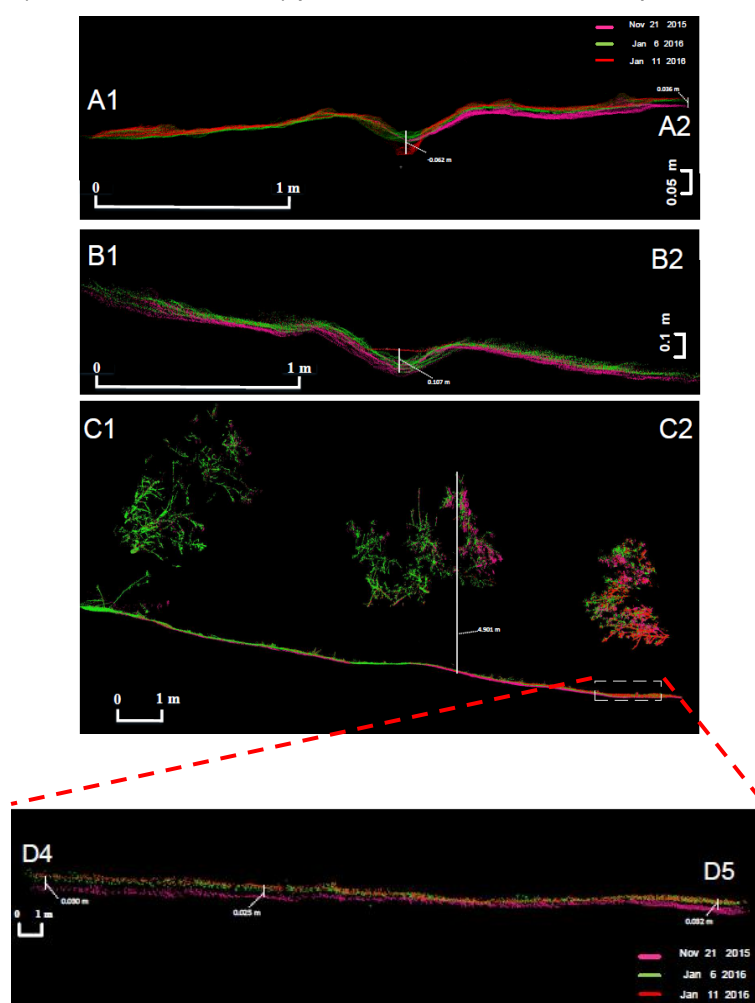
- הצגת התוצאות של חתכי הקרקע ומפות שינויי פני שטח כפי שהתקבלו בסריקות השונות.
- דיון בנוגע ליכולות הסורק לתאר סחף בסקאלות המתבקשות.
- דיון בנוגע להשפעות של שיטות עיבוד קרקע שונות ומאפייני הגשם על תהליכי הסחף בשדות חקלאיים.
- שלב 1 – הצגת התוצאות של חתכי הקרקע ומפת שינויי פני שטח כפי שהתקבלו בסריקות השונות:

העיגון בין הסריקות השונות סיפק הדמיות רציפות של פני השטח לאורך הזמן בין האירועים השונים. ענני הנקודות אשר נוצרו בסריקות מציגות שינויים אנכיים בפני השטח. שינויים אלו באים לידי ביטוי באופן מיטבי על ידי חתכים שנערכו בחלקות השונות (איור 4). באיורים 5 ו-6 מוצגים החתכים שנעשו עבור החלקות ברמת צבי וכדורי, בהתאמה. החלקות המעובדות מתחלקות לשני אזורים שונים, בהתבסס על התגובה שלהם לתהליכי סחף והשקעה: (1) השטח בתוך התלמים, ו- (2) השטח שעל הרכסים בין התלמים. איור 5 מציג את החתכים ברמת צבי, המבוסס על סריקות #1, #2 ו- #3 (טבלה 2). בחתך A1-A2 ניתן לראות כי בחלקה 1 (טבלה 1) פני השטח באזור שבתוך התלמים גבוהים יותר בסריקה #2 מאלו בסריקה #1, אף שסריקה #1 נערכה לפני אירוע הגשם הראשון. ירידה דומה של פני השטח בתוך התלמים נצפתה גם לאחר אירוע הגשם השני (סריקה #3). המרחק האנכי המקסימאלי של הירידה בחלק זה הינו 0.062 מטר. על הרכסים שבין התלמים התקבל שסריקה #3 היא הגבוהה ביותר. זאת בניגוד למצב בתוך התלם, שם גובה פני השטח שנמדד בסריקה זו הוא הנמוך ביותר, ולמרות שהיא בוצעה אחרונה, לאחר אירוע הגשם השני. כמו כן ניתן לראות כי ההבדל האנכי בין סריקות #3 ו- #2 ברכסים משני צדי התלם הינו זניח. לעומת זאת, המרחק האנכי בין

סריקות # 2 ו # 1, בצד הצפוני של התלם, מגיע לשיא של 0.036 מטר, ואילו בצד הדרומי הוא זניח גם כן.

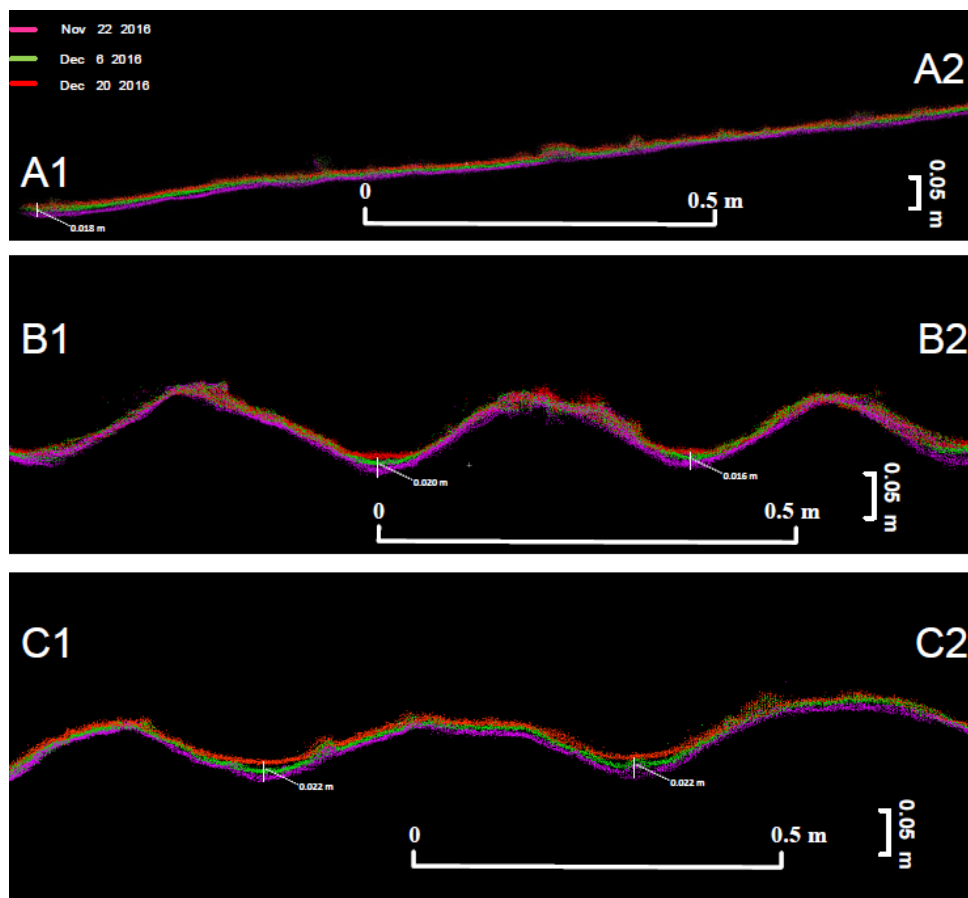


איור 4. הפריסה המרחבית של נקודות המדידה שהתקבלו ברמת צבי וכדורי על ידי סריקות הלייזר הקרקעי בזמנים שונים, ומיקום של אזורים ספציפיים בעלי עניין (חתכים, אזורי חישוב נפח).



איור 5. חתכים המראים את הפיזור האנכי של נקודות המדידה כפי שהתקבלו על ידי סריקות הלייזר בזמנים השונים, ברמת צבי. החתכים נעשו בניצב לתלמים ובמקביל לכיוון המדרון.

חתך B2-B1 מציג את השינויים בפני השטח בחלקה 2 (טבלה). מתוך החתך עולה שפני השטח בסריקה # 3 הם הגבוהים ביותר ופני השטח בסריקה # 1 הם הנמוכים ביותר, משמע פני השטח עולים עם הזמן גם בתלמים וגם ברכסים שבניהם. הגידול האנכי בין סריקת # 3 וסריקה # 2 הינו משמעותי בתוך התלם, ומגיע למקסימום של 0.107 מטר, אך מתון על הרכסים שמשני הצדדים. הגידול האנכי בין סריקות # 2 ו- # 1 הינו מתון גם בתלמים וגם ברכסים שבניהם. מתוך חתך C1-C2 עולה כי השינויים בפני השטח בחלקה 3 (מטע השקדים), בין הסריקות, הם בעיקר זניחים. במקומות מסוימים, עם זאת, נצפתה עלייה של ~ 3 ס"מ לאחר האירוע הגשם הראשון, ועלייה זניחה לאחר האירוע השני (איור D5).



איור 6. חתכים המראים את הפיזור האנכי של נקודות המדידה כפי שהתקבלו על ידי סריקות הלייזר בזמנים השונים, בכדורי. החתכים נעשו בניצב לתלמים ובמקביל לכיוון המדרון.

איור 6 מציג את החתכים שנעשו בחלקות בכדורי. חתכים אלה מבוססים על סריקות # 4, # 5 ו- # 6 (טבלה 2). חתך A1-A2, מייצג את השינויים בגובה פני השטח בחלקה 4 (טבלה 1). מתוך החתך עולה שהסריקה האחרונה (# 6) הינה הגבוהה ביותר בתוך התלמים, בעוד סריקה # 4 היא הנמוכה ביותר. ההבדל האנכי בין שתי הסריקות הללו מגיע עד לכדי 0.02 מטר. ברכסים, לעומת זאת, פני השטח נשארים כמעט קבועים

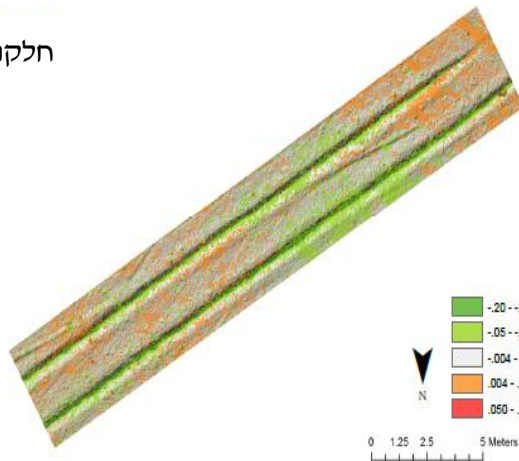
בכל שלושת הסריקות. חתך B1-B2 בוצע בחלקה 5 (טבלה 1). בחתך זה מתקבלים דפוסים כמעט זהים לדפוסים שהתקבלו בחתך A1-A2, הן בתוך התלמים והן על הרכסים. עם זאת, ההבדל האנכי המשמעותי יותר הוא בתוך התלמים מאשר על הרכסים, ומגיע ל- 0.022 מטר. חתך C1-C2 בוצע בחלקה 6 (טבלה 1). בחלקה זו לא בוצע חריש של פני השטח, ולכן מלכתחילה היא הרבה יותר חלקה, והשינויים בפני השטח חלקים גם הם, ועוצמתם נמוכה יותר.

מפות השינויים בפני שטח מציגות את ההבדלים בין מפות מודל הגובה השונות (DEM) ואת הערכים והעוצמה של הבדלים אלה. בכדי ליצור את מפות הגבהים הללו הנתונים עברו אינטרפולציה מרחבית על מנת להתאימם לגריד של 0.005×0.005 מטר. במקרה של החלקות ברמת צבי, למרות העובדה שהסריקות כיסו אותן במלואן, הממדים שלהם ועומק התלמים, גרמו להסתרות מקומיות אשר יצרו אזורים בלתי סרוקים. לכן, באזורים הללו הותאם הגריד באופן מקומי בכדי ליצור מינימום הסתרה. מנגד, השטח והתלמים של המגרשים בכדורי היו משמעותית קטנים יותר, ולפיכך התקבל כיסוי מלא לכל שלושת מגרשים. בשני המקרים, סף הזיהוי של השינויים בפני השטח היו ± 0.004 מטר.

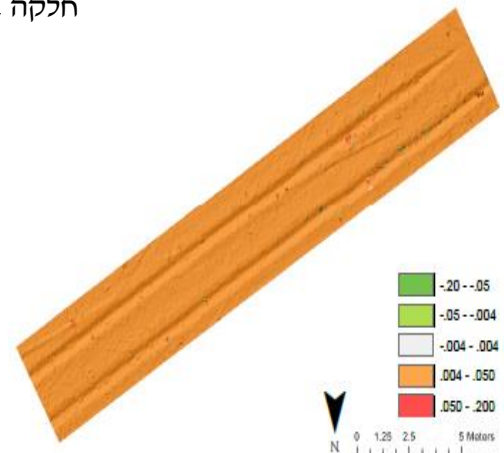
איור 7 מראה את השינויים בפני השטח כפי שהתרחשו בחלקות רמת-צבי 1 ו-2, לאחר האירוע הראשון. המפה מראה כי בשני המגרשים נרשמה עלייה מתונה ואחידה בפני השטח ברכסים שבין התלמים. במפה של חלקה 1 ניתן לראות את אותה גם בתלמים עצמם. במפה של חלקה 2 לעומת זאת ניתן לראות ערכים של ירידה בגובה פני השטח. אולם, ערכים אלו הינם ארטיפקט, אשר נובע מאותן הסתרות מקומיות אשר יצרו אזורים בלתי סרוקים בהם הגריד שהותאם באופן מקומי בכדי ליצור מינימום הסתרה, לא הספיק. המשמעות של זה היא שבפועל דפוס השינוי בתלמים הללו דומה לדפוס השינוי בחלקה 1, כלומר עלייה מתונה ואחידה בפני השטח. לאחר אירוע הגשם השני, לעומת זאת, השינויים המרחביים בפני השטח של החלקות הם דיפרנציאליים (איור 8). המפה של חלקה רמת צבי 1 (איור 8A) מראה כי בדומה לחתך A1-A2 (איור 5), הירידה משמעותית של פני השטח מרוכזת בתוך תלם ובקצוות הסמוכים לו. ירידה זו מגיעה לעומק של יותר מ- 0.05 מטרים בחלקים העמוקים. על הרכסים שבין התלמים, נצפו שתי תוצאות שונות. ברוב האזור השינויים נעים בין ערכים של -0.004 ל 0.004 מטרים. כאמור ערכים אלו מהווים את סף הזיהוי של השיטה, ולכן באזורים הללו, אשר נמצאים מתחת לסף הזיהוי של המכשיר, לא ניתן לקבוע את הערך המדויק ולא את דפוס השינוי (דלדול או תוספת בפני השטח). החלק האחר של החלקה מאופיין בעלייה מתונה בפני השטח של עד מספר סנטימטרים. המפה של חלקה רמת צבי 2 (איור 8B) מראה כי לאחר אירוע הגשם השני התקיימה עלייה משמעותית של פני השטח בתלמים, בערכים

שמגיעים ליותר מ- 0.05 מטר בחלקים הגבוהים ביותר. אזור הרכסים מאופיין כמעט לחלוטין על ידי ירידה מתונה של פני השטח. עבור חלקה רמת צבי 3 לא יצרנו מפה עקב הסתרות אשר נוצרו על ידי העצים והעשבים בחלקה זו, אשר הגבילו משמעותית את יכולות הסריקה של הלייזר הקרקעי.

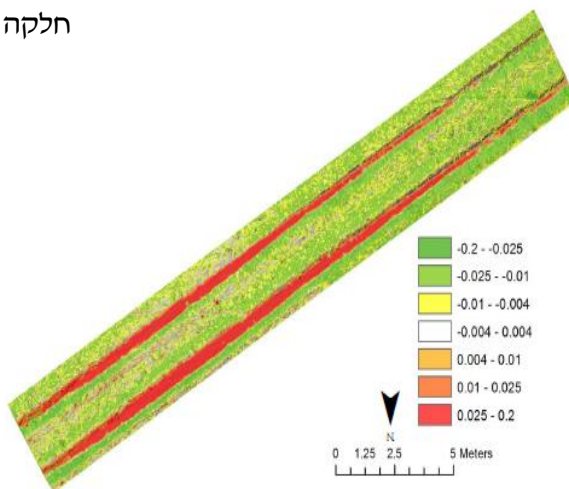
חלקה 1



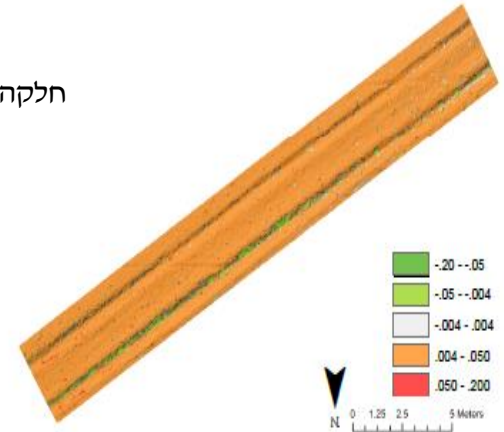
חלקה 1



חלקה 2



חלקה 2

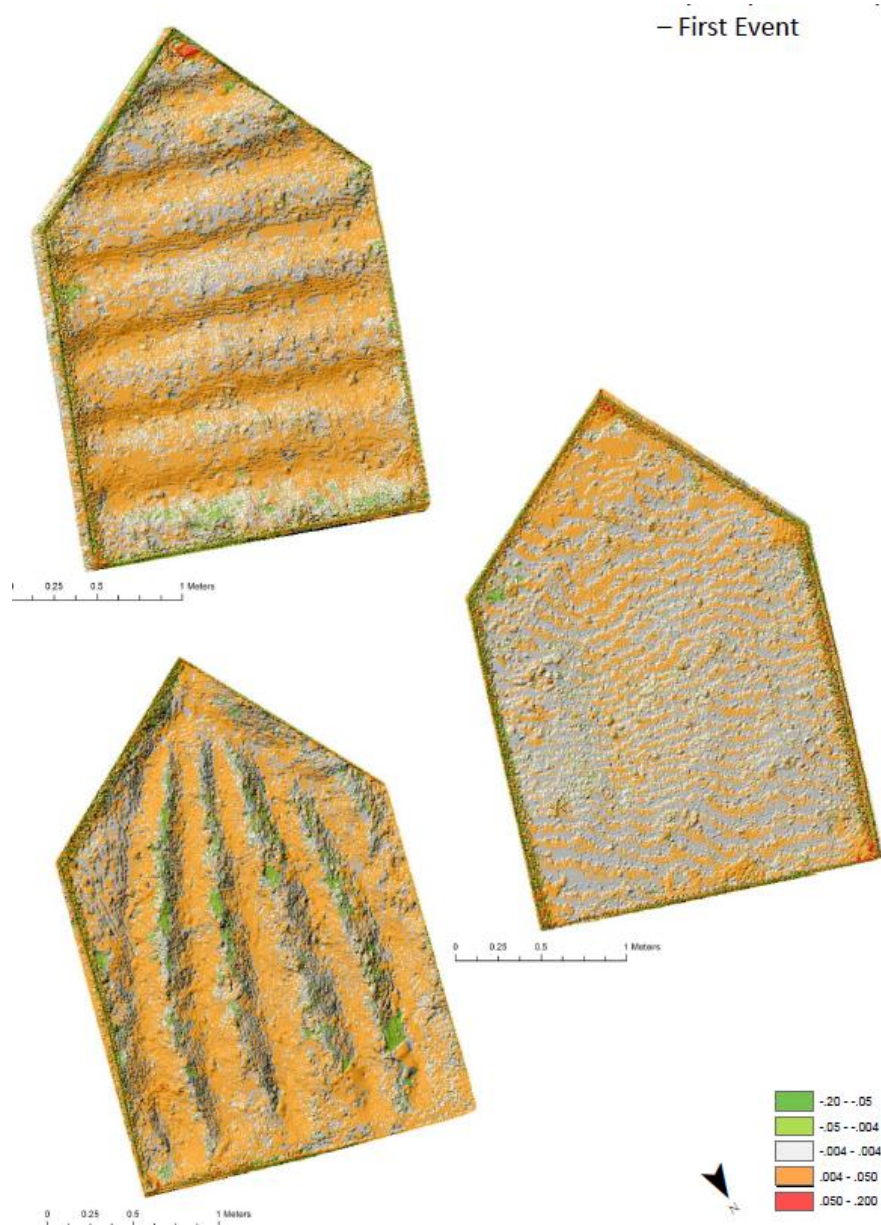


איור 8. מפות שינויים בפני שטח של החלקות השונות ברמת צבי לאחר אירוע הגשם השני.

איור 7. מפות שינויים בפני שטח של החלקות השונות ברמת צבי לאחר אירוע הגשם הראשון.

איור 9 מציג את המפות עבור החלקות בכדורי אחרי אירוע הגשם הראשון. המפות של חלקות 1 ו-2 המעובדות, מראות שאזורי התלמים מתאפיינים בעליה מתונה בגובה פני השטח, ואילו הרכסים מתאפיינים בעיקר בשינויים שמתחת סף הזיהוי של המכשיר, ובחלקים מעטים בירידה בפני השטח. בחלקה 3, הלא מעובדת, השינויים מתאפיינים ברובם בערכים שמתחת סף הזיהוי, ובשאר בעליה מתונה בגובה של פני השטח. איור

10 מציג את המפות אחרי אירוע הגשם השני. המפות של חלקות 1 ו-2 המעובדות, מראות שהמגמה היא הפוכה לאחר אירוע הגשם הזה. אזורי התלמים מתאפיינים בעיקר בשינויים שמתחת סף הזיהוי של המכשיר, ואילו הרכסים מתאפיינים בירידה מתונה בגובה פני השטח, ובחלקים מעטים בעלייה בפני השטח. בחלקה 3 הלא מעובדת, השינויים זהים גם לאחר אירוע הגשם השני ומתאפיינים ברובם המכריע בערכים שמתחת סף הזיהוי, ובשאר בעלייה מתונה בגובה פני השטח.



איור 9. מפות שינויים בפני שטח של החלקות השונות בכדורי לאחר אירוע הגשם הראשון.



איור 10. מפות שינויים בפני שטח של החלקות השונות בכדורי לאחר אירוע הגשם השני.

שלב 2 - יכולות הסורק לתאר סחף ושקיעה של קרקע בסקאלות המתבקשות

המטרה העיקרית של שלב זה במחקר היא לבחון את יכולתו של הלייזר הקרקעי למדוד במדויק שינויים בפני השטח אשר קשורים באופן ישיר לסחף קרקע, אפילו כשמדובר בתנאי מרחב וזמן קיצוניים כמו מגרש יחיד בשטח חקלאי, או אירוע גשם יחיד, בהתאמה. על מנת להשיג מטרה זו, מושוות תוצאות הסריקות תחילה עם תצפיות שדה

אחרות, בלתי תלויות. ההשוואות הללו, יחד עם תוצאות הסריקות עצמן, מהוות את הבסיס לדיון הנוגע ליכולת של שיטה זו בפועל, ומה משפיע על היכולת הזו.

ניתוח איכותי של סחף הקרקע - חלק זה תואר במפורט בדו"ח של השנה השנייה למחקר. על מנת ליצור אחידות, יוצגו עיקר המסקנות כפי שהתקבלו מהדו"ח הנ"ל:

1. לפי התמונות לא זוהה כל שינוי בפני השטח לאחר האירוע הראשון בכל המגרשים. לא בתוך התלמים, ולא ברכסים שביניהם. המפות החתכים, מצד שני, מראים עלייה מתונה של פני השטח בתוך התלמים וברכסים ביניהם.
2. לאחר האירוע השני הדברים שונים. זאת מכיוון שגם התמונות, וגם המפות והחתכים, מצביעים על דפוסים זהים בעצמה ובמיקום של השינויים בפני השטח, בתוך התלמים ועל הרכסים ביניהם.
3. ההשוואה האיכותית הזו מראה כי שינויים מהותיים בפני השטח, המוצגים על ידי תמונות, בעיקר לאחר אירוע הגשם השני, זוהו על ידי הלייזר הקרקעי גם כן. מכיוון שתמונות מציגות תהליכים טבעיים כהווייתם, ניתן להסיק כי במקרים אלה תוצאות הלייזר הקרקעי מייצגות תהליכים שהתרחשו בפועל בפני השטח. עם זאת, ההשוואה הזו הינה איכותית בלבד, וחסרת כל בסיס כמותי, אשר הינו חיוני לצורך קבלת החלטות תפעוליות. בנוסף, כיוון שהתמונות תופסות אך ורק שינויים משמעותיים בפני השטח, אשר הינם מוגבלים במרחב ובזמן (אזור תלמים, ואירועי גשם משמעותיים, בהתאמה), הינם תקפים בדרך זו. לפיכך, על מנת לבחון את יכולתו של הלייזר הקרקעי למדוד סחף במדויק, ברמה גבוהה יותר של אומן, השוואה משלימה, המבוססת על הערכה כמותית, נחוצה גם כן.

ניתוח כמותי של סחף הקרקע - ההשוואה המבוססת כמותית בוצעה בין המשקלים המדודים של הסדימנטים שנאספו בחביות בכדורי, לבין המשקלים המחושבים (ובהתאמה הגבהים) על בסיס חישובי הנפח בתוך הסריקות של הלייזר הקרקעי (טבלה 3). התוצאות המחושבות מראות כי בכל שלושת החלקות בכדורי, בשני האירועים, המשקלים חיוביים. כלומר, תחת כל התרחישים שנבדקו חלה דווקא עלייה בגובה פני השטח ולא ירידה. עובדה זו עומדת בניגוד מוחלט לתוצאות המדודות בחביות, אשר מתארות כמובן תהליכי ירידה בפני השטח כתוצאה מסחף. דבר נוסף שעולה מההשוואה הזו הוא שקיים הבדל גדול בערכים עצמם בין התוצאות המדודות לתוצאות המחושבות. ההבדל הראשון הוא שהתוצאות המחושבות גבוהות בסדרי גודל במקרים מסוימים, מאלו שנמדדו. בנוסף לכך, במקרה של התוצאות המדודות. בתוצאות המחושבות לעומת זאת, הדפוס הוא שונה, כיוון שנפח המשקעים המקסימאלי נמצא דווקא בחלקה 2, והנפח המינימאלי בחלקה 3. כל ההבדלים הללו נכונים עבור שני אירועי הגשם. בהתאם

לכך, ההשוואה הכמותית הזו מגלה קיימת התאמה נמוכה בלבד בין התוצאות שהתקבלו בשתי שיטות הללו. ההסברים המוצעים להבדלים הגדולים הללו מובאים להלן.

טבלה 3. משקלים מדודים ומחושבים, והפרשי גובה מחושבים בחלקות השונות בכדורי בשני אירועי הגשם, וערכי הנגר המדודים

אירוע גשם	חלקה	משקל מדוד [ק"ג]	משקל מחושב [ק"ג]	שינוי גובה מחושב [מטר]	נפח נגר [מ ³]	אחוז נגר [%]
אירוע 1	כדורי 1	0.25	19.7	0.0028	0.055	25
	כדורי 2	0	21	0.003	0	0
	כדורי 3	0.11	11.8	0.0017	0.029	13
אירוע 2	כדורי 1	0.88	2.6	0.00004	0.214	44
	כדורי 2	0.34	14.6	0.0021	0.069	41
	כדורי 3	0.58	6.2	0.0009	0.194	40

^A הערכים חושבו על ידי חלוקת הנפח המחושב בשטח החלקות (5 מ"ר).

^B הערכים חושבו על בסיס צפיפות מדודה של 1417 ק"ג/מ"ק

^C אחוז נפח הנגר מתוך נפח הגשם אשר חושב על בסיס מכפלה של שטח החלקות (5 מ"ר) בגובה הגשם (0.044 מטר ו- 0.982 מטר, באירוע הראשון והשני, בהתאמה)

ההשפעה של תהליכים מקבילים בפני שטח:

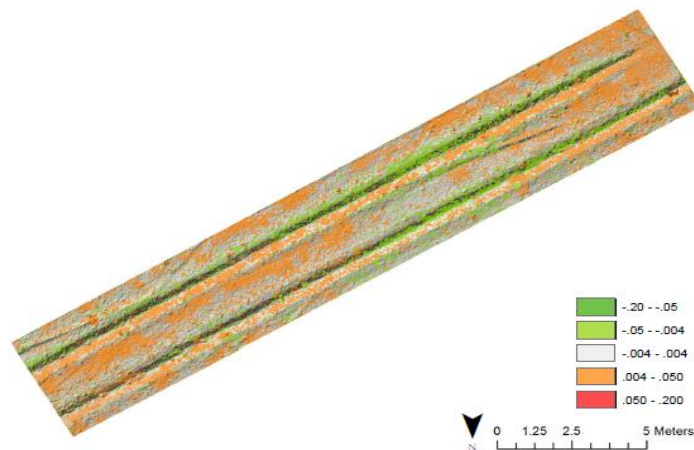
החתכים, המפות וההשוואה האיכותית הראו שברוב המקרים שנבחנו הלייזר הקרקעי איתר שינויים בפני השטח, אפילו בסקאלות הקטנות יחסית במרחב ובזמן בהם נעשה בו שימוש במחקר הנוכחי. השאלה שנשאלת היא האם השינויים הללו קשורים ישירות לתהליכים של סחף ושקיעה של קרקע, או שישנם תהליכי פני שטח נוספים שמתרחשים בעת אירוע גשם, או לאחריו, ויכולים גם הם לתרום לשינויים הללו. תהליכים אלה, אשר ממסכים את ההשפעה היחידנית של הלייזר הקרקעי, מצויים בכל השיטות האחרות למדידת סחף המבוססות על שינויים יחסיים בפני שטח (יתדות סחף, תחנות קבועות, פוטוגרמטריה, וכו'), ואלו הם: (1) דחיסה (קומפקציה) של פני הקרקע על ידי גשם - השפעת טיפת גשם גורמת להרס מצטבר וארגון מחדש של חלקיקי היסוד, וגורמת להידוק בפני הקרקע (Assouline, 2004); ו (2) תפיחה - קרקעות חרסיתיות רבות מתנפחות, ופני השטח שלהם גדלים כאשר הן רטובות (Stewart, 2016).

השפעת התהליכים הללו לאחר אירוע הגשם הראשון נראית בחלקות רמת צבי 1-3. הדבר בא לידי ביטוי על ידי בחתכים, אשר נראית בהם עלייה אחידה בפני השטח בשני הרכסים בצדי התלמים (איור 5). גידול זה הוא מתון בעיקרו, אבל יכול להגיע עד 0.02-0.03 מטר (איור 5 א ו-ד). ההומוגניות של העלייה הזו, יחד עם העובדה כי הסריקות נערכו על מדרון משופע ולאחר אירוע גשם, מצביעים על כך שהעלייה הזו אינה נובעת מתהליכי שקיעה של

קרקע (למעט בתלמים בחלקה 2, אשר יכולים לספוג סדימנטים מכיוון שהם ניצבים למדרון). לעומת זאת, תהליך שכן עשוי להסביר את העלייה הזו הוא תפיחה של פני השטח. למעשה, השפעת התפיחה לא צריכה להיות מוזנחת במקרה זה, כיוון נערכו ימים ספורים בלבד לאחר אירועי הגשם, כאשר פני השטח טרם התכווצו חזרה כפי שקורה להם בתקופת הניקוז וייבוש. השפעת הדחיסה, לעומת זאת, מוזנחת במקרה זה מכיוון שהסריקות נערכו כמה חודשים לאחר העיבוד של השדה, כאשר פני השטח נדחסו כבר מספר פעמים על ידי אירועי גשם קודמים.

בכדי לקבל הערכה כמותית בנוגע להשפעת התפיחה נמדד פוטנציאל תפיחה עבור הקרקעות השונות באופן ניסיוני. בשלב הראשון, נדגמה קרקע ישירות מהחלקות ברמת צבי וכדורי, אשר נפתה לקוטר של 2 מ"מ. הקרקע המנופת וביובש אויר נארזה בעמודות פרספקס בגובה 0.3 מטר, אשר הורו מחלקם התחתון על ידי מי ברז. ההפרש בין הגובה הממוצע הראשוני לזה הסופי, אשר מייצג את פוטנציאל התפיחה של הקרקע בחלקות של רמת צבי, עומד על 0.0202 מטר. דרך נוספת, ובלתי תלויה, בה נמצא פוטנציאל התפיחה של הקרקעות ברמת צבי, הינה שימוש בנתונים מחלקה 3. בחלקה זו פני הקרקע מוגנים על ידי חופות עצים אשר מונעים את ההתפתחות של תהליכי הסחף והדחיסה, אך אינם מונעים את השפעת התפיחה. הפוטנציאל הממוצע של התפיחה של הקרקע, על בסיס גישה זו, הוא דומה מאוד לערך הניסויי (איור 5D). לפיכך, שימש הערך הזה בכדי לתקן את הנתונים של סריקה #2 (אחרי אירוע הגשם הראשון בו השפעת התפיחה הינה משמעותית) על ידי הפחתתו מהנתונים המקוריים. איור 11 מציג את מפת ההמרה של פני השטח ברמת צבי אחרי הגשם הראשון כדוגמא. איור זה מייצג רק את השינויים בפני השטח אשר קשורים לסחף והשקעה של קרקע, ללא השפעת תהליכי פני השטח האחרים. השוואת המפה הזאת עם זו המקורית (איור 7A) ממחישה באופן טוב את ההשפעה של תפיחת הקרקע על השינויים בפני השטח. המפה המעודכנת חושפת ירידה מתונה בפני השטח בתוך התלמים ובקצוות הסמוכים. ברכסים בחוץ מוצגים שינויים זניחים (מחוץ לסף הזיהוי של השיטה), יחד עם אזורים של עלייה מתונה. במקרה של סריקה #3 ההשפעה של התפיחה לא הובאה בחשבון (לאחר אירוע הגשם השני), שכן היא נערכה ימים ספורים בלבד לאחר סריקה #2 כאשר האדמה הייתה עדיין רוויה, ולכן פוטנציאל התפיחה שלה היה נמוך.

איור 11. מפת שינויים
בפני השטח בחלקה
רמת צבי 1 לאחר אירוע
הגשם הראשון ללא
השפעת תפיחה



(0.00202 מ"מ) בחלקות בכדורי הסריקה הראשונית של החלקה (סריקה #4) נערכה מיד לאחר שהחלקות עובדו, ולכן סריקה #5 כוללת בנוסף לתפיחה גם את ההשפעה של הדחיסה, אשר מנוגדות בהשפעתן על השינויים של פני השטח במהלך ואחרי אירוע הגשם. פוטנציאל התפיחה הניסויי של הקרקע בכדורי הינו 0.0037 מטר. ערך הדחיסה מצד שני הוא 0.0015 מטר, בהנחה שהדחיסה מגדילה את צפיפות הקרקע של הס"מ בחלק העליון של הקרקע ב- 15% (Assouline, 2004). ההפרש בין ההשפעה של שני התהליכים הללו מסתכם בשיעור של 0.0022 מטר של עליה בגובה פני השטח. ערך זה דומה לשינויים בגובה פני שטח הממוצעים כפי שנמדדו בחלקות בכדורי לאחר אירוע הגשם הראשון (טבלה 3). עובדה זו יכולה לכן לשמש כהסבר להבדלים שנמצאו בין הערכים המדוד לבין הערכים מחושבים, כפי שתואר בהשוואה הכמותית.

בהתבסס על הדיון לעיל, ניתן להסיק כי על מנת לייתר את ההשפעה המהותית שלהם, חייבות סריקות פני השטח למדידת סחף והשקעה של קרקע בסקאלות הללו להיות מלוות במדידות מקבילות של התהליכים הללו. לחלופין, מניעת תופעות אלה אפשרית אם לוקחים בחשבון כמה גורמים נוספים. הגורם הראשון ברשימה הוא התנאים ההתחלתיים לעומת התנאים הסופיים של הקרקע. תפיחה למשל, נמצאה בכל ששת החלקות לאחר אירוע הגשם הראשון, אך ההשפעה שלה כמעט ולא נמצאה לאחר האירוע השני. הסיבה לכך קשורה לעובדה שתכולת הרטיבות הראשונית של הקרקעות לפני הגשם הראשון, הייתה שונה משמעותית מתכולת הרטיבות לאחר אירוע הגשם הזה. לפני ואחרי אירוע הגשם השני, לעומת זאת, תכולת הרטיבות לא השתנתה הרבה, מכיוון שהם שנערכו בסמיכות זה לזה. השפעת הדחיסה, אשר נמצאה בחלקות המעובדות כדורי 1 ו-2, גם כן רלוונטית רק לאחר אירועי הגשם הראשונים, כאשר פני הקרקע המעובדת עדיין ניתנים לדחיסה. ההשפעה של מנגנון זה כמובן דועכת ככל שאירועי הגשם מתרבים, ומתחדשת מיד לאחר העיבוד הבא. לכן בחלקות ברמת צבי האפקט של הדחיסה זניח בשל העובדה כי כמה אירועי גשם, אשר שינו את מרקם פני השטח, התרחשו בין עיבוד השדה לבין הסריקה הראשונה. בהתבסס על

כך, ניתן להסיק כי מניעת השפעת התהליכים של תפיחה ודחיסה אפשרית אם המצב הראשוני והמצב הסופי של הקרקע נשמרים באותם תנאים. דחיסה, לעומת זאת, הוא מניעת התהליכים הללו מושפעת גם מהעיתוי של הסריקה הראשונית, אשר הינו גורם נוסף שצריך להילקח בחשבון. העובדה שהדחיסה באה לידי ביטוי רק בחלקות מעובדות, והתפיחה נמצאה להיות יותר אפקטיבית בחלקות הללו, מעידה על כך שבחלקות ללא עיבוד מדידת תהליכי הסחף וההשקעה של קרקע היא קלה יותר.

היקש חשוב נוסף שיוצא מהדיון הזה הוא שהיכולת הגבוהה של הלייזר-הקרקעי בזיהוי תהליכים פני שטח, במיוחד בקני המידה הללו, הופך אותו לכלי מצוין למחקר מעמיק להבנה של תהליכי פני שטח שנוצרים במהלך אירועי גשמים. רזולוציית המדידה הגבוהה של הלייזר-הקרקעי היא מה שעושה אותו אידיאלי למטרה זו. מחקר כזה, לפיכך, צריך לכלול את כל התהליכים האפשריים, ומדידתם צריכה להיעשות בדיוק מרבי.

השפעת ההבדל בין סחף משטחי (Sheet erosion) לסחף ערוצית (Rill erosion):

תוצאות המדידות באמצעות הלייזר-הקרקעי הראו שבחלקה רמת צבי 1, לאחר שני האירועים, השינויים בגובה פני השטח ברוב שטחם של הרכסים מתאפיין בערכים נמוכים יותר מגבול הזיהוי של המכשיר (איורים 8A ו-11). הסיבה לכך שהסחף באזור הרכסים אינה משמעותית נובעת מכך שאזור זה מתאפיין בעיקר על ידי זרימה משטחית (Sheet flow), אשר באופן משמעותי יעילה פחות ביצירת סחף מאשר זרימה ערוצית (Rill flow), כפי שמתפתחת בתלמים בחלקות המעובדות. בדומה לכך, בחלקה כדורי 3 החתכים והמפות מראים כי השינויים בגובה פני השטח אינם משמעותיים, ובעיקרם נמוכים מסף הזיהוי של (איור 6C, 9 ו-10). המשטח החלק יחסית (ללא תבליט משמעותי) בחלקה זו, אשר אינה מעובדת בדומה לאזורי הרכסים במקרה של החלקות המעובדות, מתאפיין גם הוא בזרימה משטחית שאינו גורמת לסחף משמעותי.

באופן כללי, ניתן לראות כי בכל המגרשים ובשני אירועי הגשם, ללא קשר לגודלם ועוצמתם, חלק מהשינויים בגובה פני השטח, שקשורים בתהליכי הסחף, הם מתחת לסף הזיהוי של הלייזר הקרקעי. עובדה זו נכונה בעיקר באזור הרכסים שבין התלמים, שבו הזרימה המשטחית דומיננטית יותר. במקרה של התלמים, לעומת זאת, בהם הזרימה הערוצית דומיננטית יותר, נמצאה התאמה טובה מאוד בין מדידות הלייזר-הקרקעי והניתוח הויזואלי (על ידי התמונות), החתכים והמפות. בהתבסס על כך ניתן להסיק כי השימוש בלייזר הקרקעי למדידה של סחף והשקעה של קרקע אפשרי בהחלט בתוך התלמים בשדה חקלאי, אשר בהם הסחף המשטחי הוא הדומיננטי. מעבר לכך, זה נכון גם כאשר מדובר על סקאלות מרחב וזמן של מגרש יחיד בשטח חקלאי, ואירוע גשם יחיד, בהתאמה. לעומת זאת במקרה

של סחף משטחי, הלייזר-הקרקעי הוא מוגבל ביכולתו לאתר את התהליכים מסוג זה בקני המידה הנ"ל.

- שלב 3 - דיון בנוגע להשפעות של שיטות עיבוד קרקע שונות ומאפייני הגשם על תהליכי סחף קרקע בשדות חקלאיים

המטרה המשנית של המחקר הזה היא להשתמש בלייזר הקרקעי בכדי לבחון את ההשפעות של דפוסי משקעים שונים ועיבודי קרקע שונים על תהליכי סחף קרקע. השימוש ארבע מערכות עיבוד קרקע שונות, בשני אתרים מחקריים שונים, וארבעה אירועי גשם שונים, בעלי מאפיינים שונים, אפשר לנו לבחון את ההשפעות הללו ביסודיות. באופן טבעי חלק זה נעשה לאור הדיון לעיל, ובשל כך נלקחים בחשבון רק שינויים בפני השטח שזוהו על ידי המכשיר - כלומר אלו שנוצרו על ידי זרימה משטחית, והתוצאות שהתקבלו לאחר הורדת אפקט הדחיסה (איור 11).

השפעת דפוסי הגשם: Nichols and Sexton (1932) היו הראשונים שהראו כי עוצמת הגשם חשובה יותר מסך גשמים בגרימת סחף של קרקעות. הקשר החיובי בין עוצמת הסחף ועוצמת הגשם מוצג גם כן על ידי הפקטור R בשימוש נרחב במשוואה המבוססת סטטיסטית (USLE (Smith and Wischmeier, 1978), אשר מבטא כפונקציית חזקה (Meyer and Wischmeier, 1969; Park et al., 1983). ההסבר המכניסטי למערכות יחסים אלה היא שכאשר עוצמת המשקעים גוברת, החידור לקרקע יורד, ובהתאם לכך הנגר עולה (Zaslavsky and Sinai, 1981; Assouline and Mualem, 1997; 2006). כמו כן, קיימת תלות בין החידור והנגר לבין תכולת הרטיבות ההתחלתית של הקרקע לפני אירוע גשם. כאשר תכולת הרטיבות התחלתית נמוכה מגדילה את החידור והנגר פוחת, והפוך במקרה שתכולת הרטיבות ההתחלתית היא גבוהה (Assouline et al., 2003). תהליכי סחף קרקע במהלך הגשמים מושפעים במידה רבה על ידי תהליכי החידור והנגר (Nearing et al., 2006; Assouline and Ben-Hur, 1990; Kinnell, 1993), מה שאומר שתהליכים אלה קשורים ישיר לעוצמת הגשמים ולתכולת הרטיבות ההתחלתית של הקרקע.

בחלקות רמת צבי 1 ו-2 ההבדלים בגובה פני השטח בין שני אירועי הגשם באים לידי ביטוי היטב בתוך התלמים ובשוליים שלהם. הבדלים אלה הם בין נמוכים עד בינוניים לאחר אירוע הגשם הראשון (איורים 5 ו-7), ואילו לאחר אירוע הגשם השני (איורים 6 ו-8) ההבדלים הללו משמעותיים יותר, ומגיעים לכמה עשרות סנטימטרים. הבדלים אלה נוצרו למרות שהסך הכל של הגשמים בין שני האירועים הללו דומה. הסיבה לכך היא שהמאפיינים של שני אירועי הגשמים האלה שונים לחלוטין. האירוע הראשון מתאפיין בעוצמות גשם נמוכות יחסית (מקסימום של 11.4 מ"מ/שעה) לאורך תקופה ארוכה יחסית של ~4 ימים, עם מרווחי גשם רבים. האירוע השני, לעומת זאת, מתאפיין בעוצמת גשם גבוהה יחסית (מקסימום של 30.6

מ"מ/שעה), לאורך תקופה של יום אחד, וכמעט ללא מרווחי גשם. בנוסף לכך, תכולת הרטיבות ההתחלתית של הקרקע לפני אירוע הגשם הראשון, אשר התרחש כשלושה שבועות לאחר אירוע הגשם שקדם לו, הייתה נמוכה יותר מאשר לפני האירוע השני, אשר התרחש רק כמה ימים לאחר אירוע הגשם שקדם לו. לכן, בכל המגרשים סך הנגר היה גבוה משמעותית לאחר האירוע השני, ובהתאם לכך את כמות סחף הקרקע לאחר האירוע השני היה גם גבוה יותר.

בכדורי השינויים בפני השטח בין שני אירועי הגשם באים לידי ביטוי גם כן רק בתוך התלמים (איור 6). שינויים אלה הם גם יותר משמעותיים לאחר אירוע הגשם השני בשל תכולת הרטיבות ההתחלתית הגבוהה יותר, אשר מייצרת יותר נגר והשקעה בפקטור של 2 (טבלה 3). עם זאת, שינויים אלה פחות משמעותיים מאשר אותם שינויים בחלקות של רמת צבי. הסיבה הראשונה לכך היא שעוצמות הגשם המרביות של שני האירועים ברמת צבי דומות יותר (22.2 מ"מ/שעה ו- 30.6 מ"מ/שעה בראשון ובשני, בהתאמה), וזה למרות שכמות המשקעים באירוע השני היא יותר מכפליים מאשר הכמות שנמדדה באירוע הראשון (איור 3). סיבה נוספת לכך שהשינויים בפני שטח בכדורי הם פחות משמעותיים נובעת מקנה-המידה הקטן של החלקות הללו, אשר בשל כך תהליכי הזרימה וההסעה אשר נוצרים בהן הם פחותים לעומת החלקות בשדות הפתוחים.

השפעת שיטות עיבוד קרקע שונות: תוצאות מדידות הלייזר הקרקעי מראות כי תהליכי סחף קרקע רגישים גם למערכות עיבוד הקרקע השונות. שני אתרי המחקר כוללים שלוש חלקות עם מערכות עיבוד קרקע שונות (טבלה 1). הרגישות של תהליכי הסחף וההשקעה של קרקע על מערכות עיבוד הקרקע השונות מתבטאת בעיקר לאחר אירוע הגשם השני, מהסיבות שנדונו לעיל.

בחלקה רמת צבי 1 השדה חרוש אבל לא נזרעו או נשתלו בו גידולים, והתלמים הם במקביל לכיוון המדרון. תחת תנאים אלה מתפתחת התחתרות מסיבית ומפותחת בתוך התלמים, וכמות גבוהה יחסית של סחף קרקע נוצרת, כמעט ללא השקעה (איורים 5A, ו- 8A). הסיבה לכך היא שההתחתרות והשחיקה מרוכזים במיוחד בתוך התלמים קשור לעובדה שהם מכוונים מרחבית במקביל לכיוון המדרון, וכי אלה הם האזורים הנמוכים בשדה. כתוצאה מכך, התלמים משמשים צינורות המובילים עבור נגר, שבסופו של דבר גורם גם לסחף מפותח של הקרקע. חלקה רמת צבי 2 ממוקמת באותו שדה, אבל התלמים והרכסים הם בניצב לכיוון מדרון. תחת תנאים אלה התמונה שונה לחלוטין. בתוך התלמים התהליך הדומיננטי הוא שקיעה של הקרקע נשחקה, ואילו תהליך הסחף זניח (איורים 5B ו- 8B). העובדה שכיוון התלמים ניצב לכיוון המדרון היא הסיבה להשקעה המסיבית שם, מכיוון שהם משמשים כמחסום, ובכך מקשים על הסעת סדימנטים במורד המדרון. ברכסים בין התלמים ניתן

לראות שמתרחש סחף (איור 8B), וזהו למעשה המקרה היחיד שבו מזוהים שינויים בפני השטח גם על הרכסים.

בחלקה כדורי 1, שלא כמו בחלקה רמת צבי 1 אשר דומה לה בכך שהתלמים בה מקבילים לכיוון המדרון, ההשפעה של מערכת עיבוד הקרקע אינה משתקפת. עובדה זו באה לידי ביטוי בכך שלא מתקיים סחף אלא רק השקעה. הסיבה הראשונה לכך קשורה לקנה-מידה שונה של מגרשים. החלקות ברמת צבי ממוקמות בשטח פתוח, ולכן זרימת המים בתוך תלמים נמשכת על פני מרחק רב יותר, ובכך מתאפשרת האצה והגעה למהירויות גבוהות יותר. בכדורי, לעומת זאת, המגרשים מוגבלים, ולכן אין מקום למים להאיץ ולהוביל את החלקיקים שנשחקו. בנוסף, כל התלמים בחלקה הזו מנוקזים באמצעות מוצא יחיד, דבר אשר מקטין גם הוא את מהירות הזרימה.

השפעה נוספת של מערכת עיבוד הקרקע משתקפת בחלקות של כדורי ושל רמת צבי, על ידי ההבדלים בין חלקות 1 ו-2 לבין חלקה 3. בכדורי הגורם העיקרי להבדל בין המגרשים, אשר הינם בעלי אותם מאפיינים מרחביים זהים והמדידות בהם נעשו באותו הזמן, הוא שחלקות 1 ו-2 הם שטחים מעובדים. ככאלו, פני השטח בחלקות הללו מושפעים יותר על ידי הגשמים, מאשר על פני השטח בחלקה 3 שבה כל התהליכים הם חלשים יותר. Schindewolf and Schmidt (2012), הראו, בהתבסס על תוצאות סימולטור גשמים, כי רמת ההתנגדות לסחף אכן עולה עם הירידה בעוצמת העיבוד. הגורם העיקרי להבדל בין חלקה רמת צבי 3 ובין שתי החלקות האחרות הוא החיפוי וההגנה שמספקים העצים והצמחייה לפני השטח.

דין

היכולת של הלייזר-הקרקעי למדוד סחף קרקע בסקאלות קטנות יחסית מבחינת מרחב וזמן, כמו חלקה בודדת בשדה חקלאי ואירוע גשם יחיד, נבחנה במחקר זה. מדידות של תהליכים אלה, בסקאלות הללו, אינן קיימות בספרות המקצועית. הסיבה העיקרית לכך קשורה בצורך במדידה ברזולוציה גבוהה על מנת להתחקות אחרי השינויים הקטנים ביותר הקשורים לתהליכים אלו. זו הסיבה הלייזר-הקרקעי, אשר מסוגל לספק נתוני פני שטח ברזולוציות הנדרשות, משמש כאן למטרה זו.

המחקר הנוכחי מתבסס על מדידות שדה בשש חלקות שונות, בשני אתרי מחקר שונים, הכוללות שלוש מערכות עיבוד קרקע שונות. המדידות בוצעו לאורך שתי עונות גשם, תוך התמקדות בשני אירועי גשם משמעותיים, עם מאפיינים שונים, בכל אחת מהעונות. ניתוח ויזואלי על ידי תמונות, ומדידה של נגר ומשקעים, שימשו בכדי לאמת את המדידות של הלייזר-הקרקעי כנגד שיטות מדידה נוספות ובלתי תלויות.

התוצאות שהתקבלו על ידי חתכי הקרקע והמפות, והשוואתם עם שיטות אחרות, חלוקות לגבי מידת היכולת של הכלי לזהות את התהליכים הללו בסקאלות הרלוונטיות. במקרים בהם הלייזר-הקרקעי זיהה שינויים בפני השטח אשר קשורים ישירות בתהליכי הסחף

וההשקעה של קרקע, הוא סיפק מידע כמותי ואיכותי אשר יכול לסייע בקבלת החלטות מעשיות, ולסייע בכיולם של מודלים פיסיקאליים. במקרים בהם תהליכי הסחף וההשקעה של קרקע לא זוהו על ידי הלייזר-הקרקעי היו לכך מספר סיבות. סיבה אחת קשורה למיסוך שלהם על ידי תהליכי פני שטח נוספים כמו תפיחה ודחיסה של הקרקע. אחד המסרים העיקריים של שלב זה במחקר, בהתבסס על תצפית זו, היא כי על מנת למנוע תופעות אלו הסריקות חייבות להיות מלוות במדידות מקבילות, ובלתי תלויות, של התהליכים הללו. לחלופין, מניעת תפיחה אפשרית על ידי שליטה בתנאים ההתחלתיים והסופיים של הקרקע (כלומר לפני ואחרי אירוע הגשם), ומניעת הדחיסה אפשרית אם הסריקה הראשונה בעונת הגשמים מבוצעת זמן מה אחרי זמן עיבוד השדה. דרך אפשרית נוספת למניעת המיסוך על ידי התהליכים הללו זו היא לסרוק בחלקות ללא פליחה, בהם התהליכים הללו זניחים בשל המאפיינים הפיסיקאליים של קרקע שלא עברה עיבוד חקלאי. אולם, חלקות מתאפיינות בעיקר בזרימה משטחית, אשר השפעתה על תהליכי סחף והשקעה של קרקע אינה משמעותית בקני המידה הללו. בשל כך הלייזר-הקרקעי לא מסוגל לעקוב אחרי שינויים בפני השטח אשר קשורים לתהליכים הללו בחלקות אלו. באופן דומה, התהליכים הללו לא זוהו על ידי הלייזר-הקרקעי גם ברכסים שבין התלמים בחלקות המעובדות, אשר מתאפיינים גם בזרימה משטחית. בתוך התלמים, לעומת זאת, היכן שמתפתחת זרימה ערוצית, הלייזר-הקרקעי מזהה כראוי את תהליכי הסחף וההשקעה של הקרקע, ובהחלט יכול להיחשב ככלי מתאים לצורך זה. חשוב לציין, שלמרות ההשפעה השלילית של אותם תהליכי פני שטח נוספים על יכולת הזיהוי של תהליכי הסחף וההשקעה של קרקע, העובדה שהלייזר-הקרקעי כן מסוגל לזהות את התהליכים הללו יכולה לשמש כנושא למחקר מקיף יותר, בו יילמדו וימודלו כלל התהליכים המתרחשים בפני השטח בחלקה בודדת ובמהלך אירוע גשם יחיד.

בשלב השני, שימשו התוצאות של הלייזר-הקרקעי בכדי לבדוק את ההשפעות של דפוסי משקעים שונים ומערכות עיבוד קרקע שונות על תהליכי סחף והשקעה של קרקעות. התוצאות מראות כי תהליכי הסחף מושפעים בעיקר מעוצמות הגשם, ותכולת הרטיבות של הקרקע לפני אירוע הגשם. עוצמת גשם גבוהה ותכולת רטיבות גבוהה תורמים להיווצרות של יותר נגר בפני השטח, וכתוצאה מכך ליותר סחף או השקעה. בנוסף התוצאות הראו שתהליכי הסחף רגישים גם לתצורה של מערכות עיבוד הקרקע השונות. בחלקות שבשדה הפתוח (רמת צבי), נוצרו תהליכי סחף והשקעה מפותחים בתוך התלמים כאשר כיוונום מקביל וניצב לכיוון המדרון, בהתאמה. בחלקות התחומות בכדורי, לעומת זאת, התהליך העיקרי שהתקבל הוא השקעה של קרקע, גם כאשר הכיוון של התלמים מקביל לכיוון המדרון. הסיבות לכך הן קנה-המידה הקטן שלהן, ויכולת הניקוז המוגבלת של המים וסחף מן החלקה. במקרים שבהם הקרקע אינה מעובדת, או מכוסה על ידי צמחייה, תהליכי הסחף וההשקעה נחלשו.

קבוצת קבלת החלטות בראשות פרופ' טל סבוראי:

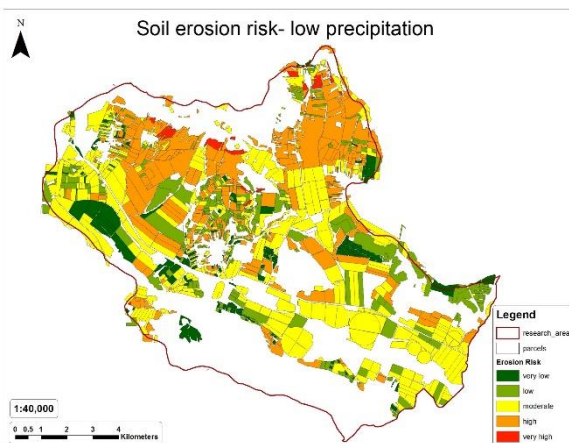
מטרת המחקר

כתיבה והרצות סופיות של מערכת קבלת ההחלטות ובדיקה מול נתוני אימות. (2) העברת המודל לשכבת ממ"ג ככלי יישום לחקלאים. (3) השוואה עם מפות סיכון קודמות (סטטיסטיות) מבוססות ידע מומחה.

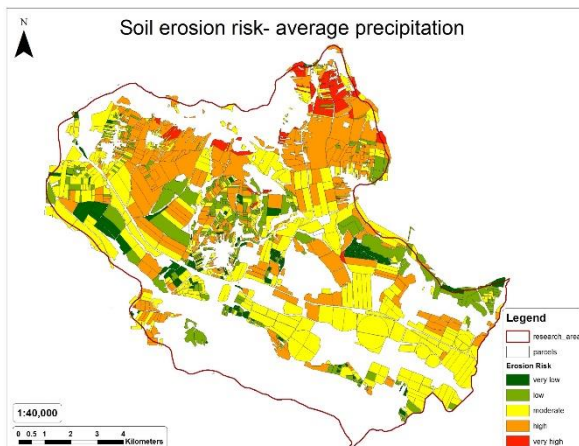
תוצאות וממצאים

תחילה חושבו שלוש מפות סיכונים סחיפת קרקע. המפות חושבו על פי מאמרם של Svoray et al. : כל מפה של הסיכון לסחיפת קרקע ייצגה אירוע גשם – אירוע גשם בעוצמה גובהה, וה ממוצעת ועוצמה נמוכה (איור 1) שניתנו באדיבותה של פרופ' אפרת מורין. ערכי הסיכון לסחיפת קרקע נעים מ-1 (נמוך מאוד – ירוק כהה) עד 5 (סיכון גבוה מאוד – אדום). יחד עם מפת הסיכון לסחיפת קרקע הוכנסו למערכת גם השכבות בעזרתן חושבו מפות הסיכונים כגון שימושי קרקע, שיפוע, פנות, כבישים, כיוון העיבוד ועוד.

ב. מפת הסיכון לסחיפת קרקע באירוע גשם חלש

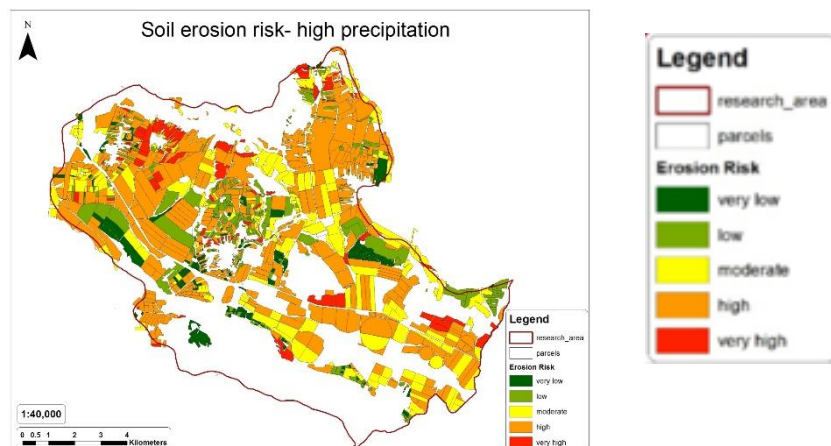


א. מפת הסיכון לסחיפת קרקע באירוע גשם ממוצע



ג. מפת הסיכון לסחיפת קרקע באירוע גשם חזק

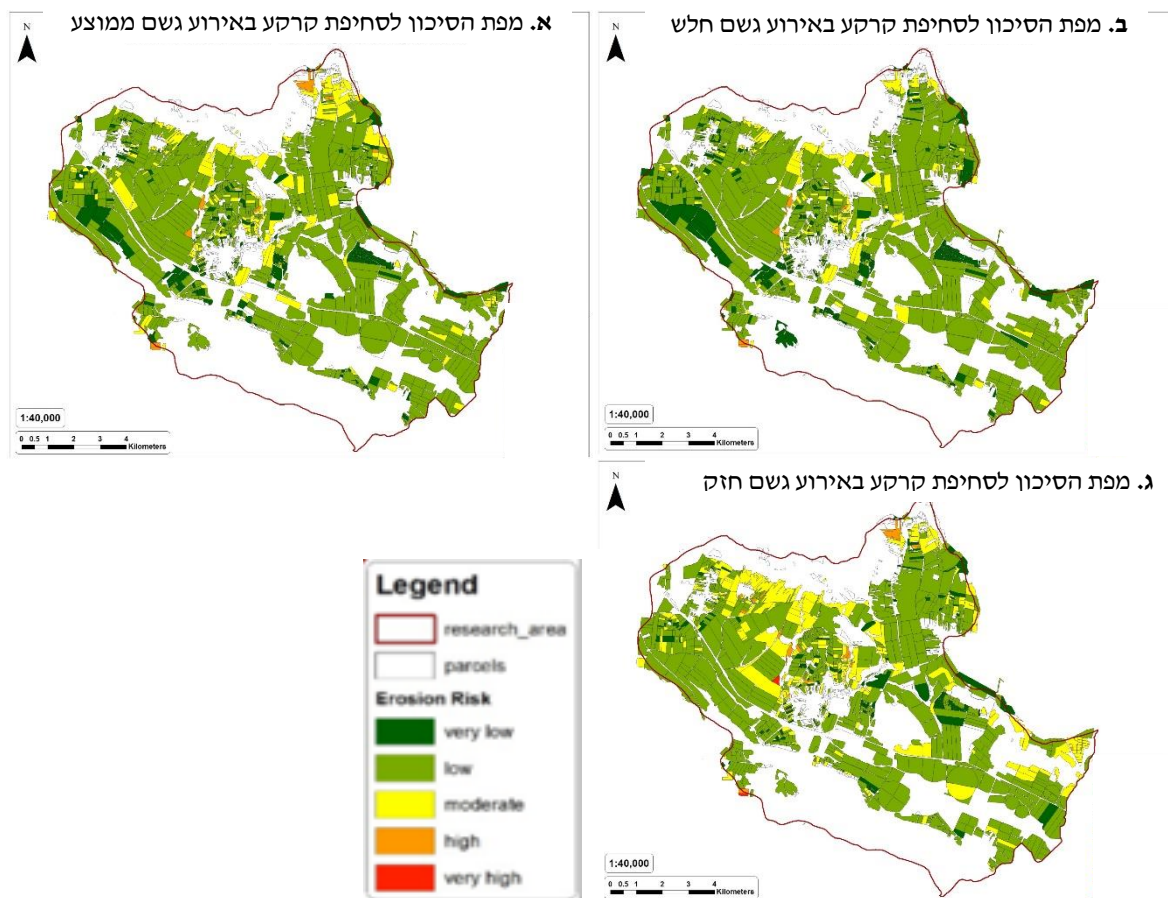
איור 1. מפות סיכונים סחיפת קרקע באגן חרוד על פי מאמרם של Svoray et al., 2014. (א) הסיכון לסחיפת קרקע בהינתן אירוע גשם ממוצע; (ב) בהינתן אירוע גשם חלש; (ג) בהינתן אירוע גשם חזק.



מפות הסיכון לסחיפת קרקע הוכנסו אל תוך מערכת קבלת ההחלטות GISCAM. בנוסף, לתוך המערכת הוכנסו חוקים מתוך הספרות וידע מומחים (Morgan, 2009).

במסגרת החוקים שהוכנסו למערכת בשלב זה הוגדר כי במידה והסיכון לסחיפת קרקע בתא מסוים הינו גבוה או גבוה מאוד (4-5) יש לשנות את שיטת העיבוד לעיבוד משמר. במידה והסיכון לסחיפת קרקע הוא בינוני (3) יש לשנות את התא לעיבוד מופחת. אם הסיכון לסחיפת קרקע הוא נמוך או נמוך מאוד (1-2) העיבוד יהיה עיבוד קונבנציונלי. בנוסף הוגדר למערכת כי שדה חקלאי יכול להשתנות רק לשדות בעלי עיבוד אינטנסיבי, מופחת או משמר אך לא יכול להשתנות למטע ולמטעים הוגדר כי אינם יכולים להשתנות לשדות חקלאיים.

לאחר הרצת המערכת עם החוקים והשכבות השונות כל תא בשטח האגן שונה בהתאם לחוקים. גודל כל תא במערכת קבלת ההחלטות הוא 5x5 מטר. ושטחו של כל שדה במציאות הוא עשרות עד מאות דונמים ולכן בכל שדה נבדק מהו העיבוד השכיח שהתקבל לפי מערכת קבלת ההחלטות. המפה שהתקבלה עבור שיטת העיבוד המומלצת בהינתן החוקים הוכנסה לתוך תוכנת ה-GIS והוחלפה בשכבת שימושי הקרקע המקורית בכדי לחשב מחדש את מפת הסיכון לסחיפת קרקע (איור 2).

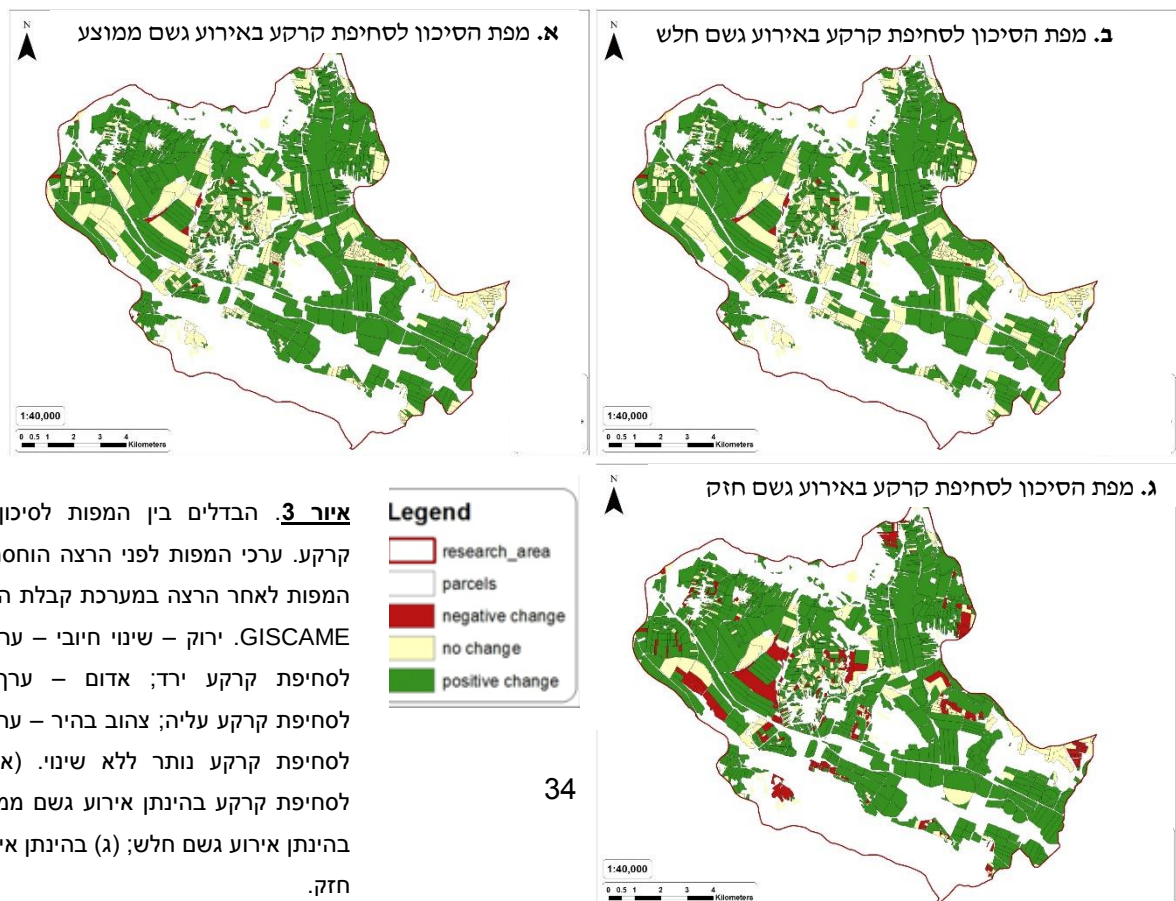


איור 2. מפות סיכונים לסחיפת קרקע באגן חרוד לאחר הרצת מערכת קבלת ההחלטות - GISCAM. (א) הסיכון לסחיפת קרקע בהינתן אירוע גשם ממוצע; (ב) בהינתן אירוע גשם חלש; (ג) בהינתן אירוע גשם חזק.

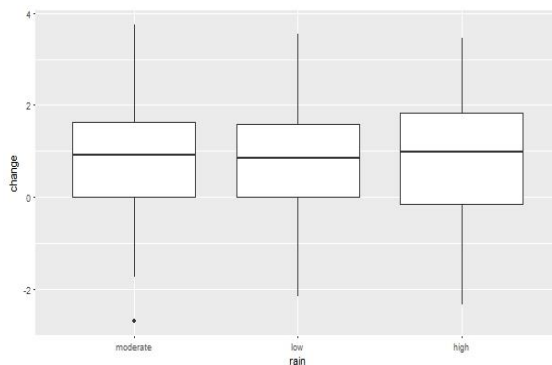
באיור 3 ניתן לראות את ההבדלים בין הערכים שהתקבלו במפות סיכוני סחיפת הקרקע לפני הרצת מערכת קבלת החלטות לבין המפות לסיכון סחיפת קרקע שהתקבלו לאחר הרצת מערכת קבלת החלטות. ניתן לראות כי רוב השטח נצבע בירוק, כלומר, ערך הסיכון לסחיפת קרקע בשדה ירד.

תחילה נבדק האם באופן סגניפיקנטי הרצת מערכת קבלת ההחלטות GISCAM משנה את הסיכון לסחיפת קרקע ללא הבחנה בין עוצמת הגשם השונות. בעזרת paired Wilcoxon signed rank test with continuity correction שבא לבדוק האם יש שוני משמעותי בין הסיכון לסחיפת קרקע לפני ואחרי סימולציה נמצא כי ה- $P \text{ value} = 2.2 \times 10^{-16}$, כלומר, באופן מובהק ניתן לומר שמערכת קבלת ההחלטות מקטינה את הסיכון לסחיפת קרקע (איור 4).

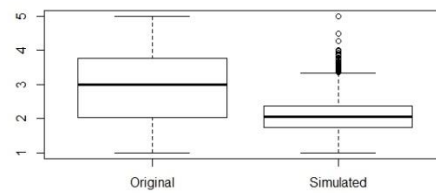
לאחר שנמצא כי מערכת קבלת ההחלטות מקטינה באופן מובהק את הסיכון לסחיפת קרקע נבדק האם יש הבדלים ב-change value בין אירועי הגשם השונים, כלומר, האם ניתן לסמוך על המערכת כאשר עוצמת הגשם משתנה. בעזרת מבחן t-test נמצא שאין הבדל מובהק במידת השינוי בסיכוני הסחיפה בעקבות הרצת מערכת קבלת ההחלטות בין אירועי הגשם השונים (איור 5). ניתן לראות בטבלה 1 כי אירוע עם עוצמת גשם גבוהה ואירוע בעל עוצמת גשם ממוצעת נותנים כמעט את אותה תוצאה $p \text{ value} = 0.705$ ובין אירוע בעל עוצמת גשם גבוהה לבין אירוע בעל עוצמת גשם נמוכה $p \text{ value} = 0.2414$. ההבדלים בין אירוע בעל עוצמת גשם ממוצעת לבין אירוע בעל עוצמת גשם נמוכה גם הם אינם מובהקים סטטיסטית עם $p \text{ value} = 0.09174$ אך כן ישנה נטייה.



איור 3. הבדלים בין המפות לסיכון סחיפת קרקע. ערכי המפות לפני הרצה הוחסרו בערכי המפות לאחר הרצה במערכת קבלת החלטות - GISCAM. ירוק – שינוי חיובי – ערך הסיכון לסחיפת קרקע ירד; אדום – ערך הסיכון לסחיפת קרקע עליה; צהוב בהיר – ערך הסיכון לסחיפת קרקע נותר ללא שינוי. (א) הסיכון לסחיפת קרקע בהינתן אירוע גשם ממוצע; (ב) בהינתן אירוע גשם חלש; (ג) בהינתן אירוע גשם חזק.



איור 5. מבחן סטטיסטי t-test לבחון האם יש הבדלים בערכים שהתקבלו בסיכון לסחיפת קרקע בין עוצמות הגשם השונות.
P value = $2.2 \cdot 10^{-16}$



איור 4. מבחן סטטיסטי paired Wilcoxon signed rank test with continuity correction שבא לבחון האם הרצת מערכת קבלת ההחלטות GISCAME משנה את הסיכון לסחיפת קרקע בצורה מובהקת ללא תלות בעוצמת הגשם. P value = $2.2 \cdot 10^{-16}$

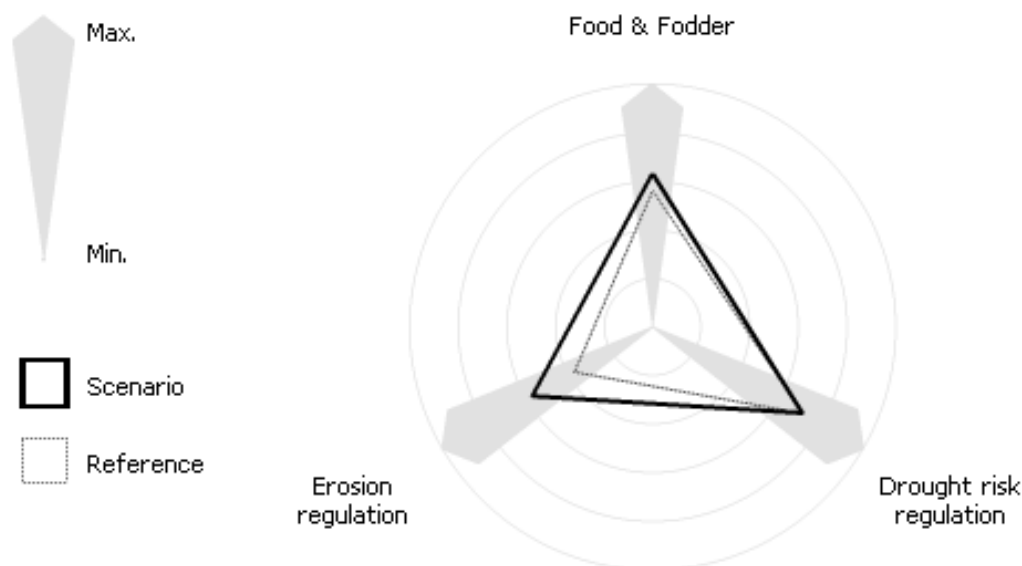
אירוע גשם גבוה	אירוע גשם נמוך
p value =	
0.09174	p value = 0.705
p value =	
0.2414	אירוע גשם נמוך

טבלה 1. ערכי p value שהתקבלו בהרצת מבחן t-test.

על פי מאמרים שונים (Kefi and Yoshino, 2010, Kuok et al, 2013, Guo et al, 2015, Lopez-Vicente and Navas 2009, Panagos et al, 2015) ותחשיבי משרד החקלאות נלקחו ערכי $c - factor$, כמות מים נדרשת עבור גידולים וכמות המזון והמספוא שהגידולים נותנים. לפי הנתונים שהתקבלו מהמגדלים השונים באגן חרוד על סוגי הגידולים שנעשים באגן נעשה ממוצע של של כמות המים הנדרשת עבור הגידולים וכמות המזון והמיספוא שהגידולים נותנים עבור גידול משמר, עיבוד קונבנציונלי ועיבוד מופחת. ערכים אלו עברו נורמל מ-0-100 והוכנסו אל תוך מערכת קבלת ההחלטות. לפני ואחרי שמערכת הקבלת החלטות הריצה את החוקים ונתנה את המלצותיה היכן כדאי לעשות עיבוד משמר, היכן עיבוד מופחת והיכן עיבוד קונבנציונלי נעשה ניתוח של השטח מבחינת שירותי מערכת של מזון ומספוא, רגולציית סחיפה וכמות מים נדרשת. איור 6 מראה את התוצאה שהתקבלה לאחר המלצות מערכת קבלת ההחלטות (scenario) ומה התוצאות שהתקבלו לפני הרצת המערכת קבלת החלטות (reference). ניתן לראות כי מבחינת שירותי המערכת של כמות המים הנדרשת (drought risk regulation) לא היה שינוי – 71 לפני הרצת מערכת קבלת ההחלטות אל מול 71 לאחר הרצת מערכת קבלת ההחלטות. בשני שירותי המערכת האחרים מזון ומספוא (food and fodder) ורגולציית סחיפה (erosion regulation) התקבל שינוי חיובי. במזון ומספוא לפני הרצת המערכת התקבל 56 ולאחר

הרצת המערכת התקבל 63. ברגולציית סחיפה לפני הרצה התקבל 37 ולאחר הרצה התקבל 57.

© PiSolution GmbH



Food & Fodder	56	63
Drought risk regulation	71	71
Erosion regulation	37	57

איור 6. ניתוח שירותי המערכת שנבחרו מזון ומספוא (food and fodder), רגולציית סחיפה (erosion regulation) ו- רגולציית סיכון לבצורת (drought risk regulation). קו מקווקו – הערכים שהתקבלו לפני הרצת מערכת קבלת ההחלטות (reference). קו שחור – הערכים שהתקבלו בניתוח לאחר הרצת מערכת קבלת ההחלטות. למטה בשמאל ניתן לראות את הערכים שהתקבלו. ירוק מראה כי יש עליה בערכים שהתקבלו בשירותי המערכת מזון ומספוא ורגולציית סחיפה.

דיון

ההמלצות שניתנות על ידי מערכת קבלת ההחלטות GISCAM לשטת העיבוד אכן מורידות את את הסיכון לסחיפת קרקע אך לא ניתן לראות הבדל מובהק בין עוצמות הגשם השונות. ניתן לראות כי המלצות המערכת לסוג העיבוד גרמו לשיפור של שירותי המערכת מזון ומספוא ורגולציית סחיפה. עליה בערכים של שירותי המערכת מראה שיש יותר יבול בשביל מזון ומספוא ככל הנראה בגלל שיש פחות קרקע שנחפפת ואת זה ניתן לראות גם על פי ערכי רגולציית הסחיפה שעלו וגם לפי השיפור בסיכון לסחיפת קרקע שהתקבל לאחר הרצת מערכת קבלת החלטות.

ביבליוגרפיה

ארבל, ש., גטקר, מ., ארזי, ע., בר, י., גוטסמן, מ., פיזיק, א. ומאור, א. נתוני שיטפונות וגשם באירועים חריגים, סיכום השנה ההידרולוגית 2006-2007, דו"ח מיוחד M-84, התחנה לחקר הסחף, 2009.

Assouline S., 2004. Rainfall-induced soil surface sealing: a critical review of observations, conceptual models and solutions. Invited review. *Vadose Zone Journal* 3:570-591.

Assouline, S. and M. Ben-Hur, 2006. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, 66: 211-220 .

Assouline, S. and Y. Mualem. 1997. Modeling the dynamics of seal formation and its effect on infiltration as related to soil and rainfall characteristics. *Water Resour. Res.* 33(7): 1527-1536.

Assouline, S. and Y. Mualem. 2003. Effect of rainfall induced soil seals on the soil water regime: Drying interval and subsequent wetting. *Transport in Porous Media* 53:75-94.

Assouline, S. and Y. Mualem. 2006. Runoff from heterogeneous small bare catchments during soil surface sealing. *Water Resour. Res.*, 42, W12405, doi: 10.1029/2005WR004592.

Catari, G., Latron, J. and Gallart, F., 2011. Assessing the sources of uncertainty associated with the calculation of rainfall kinetic energy and erosivity-application to the Upper Llobregat Basin, NE Spain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3), p.679.

GUO, Q. K., LIU, B. Y., Yun, X. I. E., LIU, Y. N., & YIN, S. Q. (2015). Estimation of USLE crop and management factor values for crop rotation systems in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(9), 1877-1888.

Kinnell, P.I.A., 1993. Runoff as a factor influencing experimentally determined interrill erodibilities. *Aust. J. Soil Res.* 31:333-342.

Kuok, K., Mah, D. and Chiu P.C. (2013). Evaluation of C and P Factors in Universal Soil Loss Equation on Trapping Sediment: Case Study of antubong River. *Journal of Water Resource and Protection*, 5:1149-1154.

- López-Vicente, M., & Navas, A. (2009). Predicting soil erosion with RUSLE in Mediterranean agricultural systems at catchment scale. *Soil science*, 174(5), 272-282.
- Marra, F. and Morin, E., 2015. Use of radar QPE for the derivation of Intensity–Duration–Frequency curves in a range of climatic regimes. *Journal of Hydrology*, 531, pp.427-440.
- Meyer, L. D., & Wischmeier, W. H. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Trans. ASAE*, 12(6), 754-758.
- Morgan, R. P. C. (1988). Soil erosion and conservation. *Soil Science*, 145(6), 461.
- Morin, E. and Gabella, M., 2007. Radar-based quantitative precipitation estimation over Mediterranean and dry climate regimes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D20).
- Morin, E. and Yakir, H., 2014. Hydrological impact and potential flooding of convective rain cells in a semi-arid environment. *Hydrological Sciences Journal*, 59(7), pp.1353-1362.
- Nearing, M.A., L.J. Lane, E.E. Alberts, and J.M. Laflen, 1990. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1702-1711
- Nearing, M.A., Norton, L.D., Bulgakov, D.A., Larionov, G.A., West, L.T. and Dontsova, K.M., 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resources Research*, 33(4), pp.865-876.
- Nichols, M. L., & Sexton, H. D., 1932. A method of studying soil erosion. *Agricultural Engineering*, 13(4), 101-103.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48, 38-50.
- Park, S. W., Mitchell, J. K., & Bubenzer, G. D., 1983. Rainfall characteristics and their relation to splash erosion. *Trans. ASAE*, 26(3), 795-804.

Peleg, N. and Morin, E., 2012. Convective rain cells: Radar-derived spatiotemporal characteristics and synoptic patterns over the eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D15).

Rozalis, S., Morin, E., Yair, Y. and Price, C., 2010. Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions. *Journal of hydrology*, 394(1), pp.245-255.

Schindewolf, M., & Schmidt, J. (2012). Parameterization of the EROSION 2D/3D soil erosion model using a small-scale rainfall simulator and upstream runoff simulation. *Catena*, 91, 47-55.

Svoray, T., Levi, R., Zaidenberg, R. and Yaacoby, B. (2015). The effect of cultivation method on erosion I agricultural catchments: integrating AHP in GIS environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(6), 711-725

Wischmeier, W.H., and D.D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion loss - A guide to conservation planning. USDA Agric. Handb. 537. U.S. Gov. Print. Office, Washington.

Zaslavsky, D., & Sinai, G., 1981. Surface hydrology: III Causes of lateral flow. *Journal of the Hydraulics Division*, 107(1), 37-52.

סיכום עם שאלות מנחות

אנא פרט מהם הניסויים שנעשו תוך השוואה לתכנית העבודה המתוכננת והתאמתם למטרות המחקר כפי שהופיעו בהצעה המקיפה
בוצע פענוח וכיול וכן ניתוח של הדמאות מכ"מ מטאורולוגי להערכת עוצמת סופות באגן
בוצע כימות נתוני סחיפה מליזר קרקעי וכן נעשה מאמץ לפיתוח מודל סחף בגרסה ראשונית
פותחה מערכת קבלת החלטות מרחבית להקטנת סיכוני סחיפה באגן
מהם עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח?
ניתוח תכונות זמן-מרחב של סופות הגשם באזור אגן ההיקוות על בסיס נתוני מכ"מ מטאורולוגי
ניתוח נתוני סורק לליזר לזיהוי שינויים בפני השטח ברמת החלקה ואירוע בודד
הרצה וניתוח של מערכת קבלת החלטות להפחתת סחף קרקע
בעקבות הניסויים שנעשו, אנא פרט והסבר כיצד הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח או חלק מהן
סך הכל הושגו מטרות המחקר אם כי מודל הסחף זקוק לפיתוחים נוספים
בהתאם להצעה המקיפה, ציין מה התבצע מתוך טבלת המשימות ואבני דרך, כולל אבני דרך כמותיות (סעיפים IV-VI) ומהם הקריטריונים שפורטו בהצעה המקיפה כבוחן להצלחת המחקר אכן הושגו.
טבלת המשימות ואבני הדרך הושגו ברובם.
מהן המסקנות המדעיות ומהן ההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו בעתיד?
הודגם כי בשילוב עם מודל הידרולוגי מפורט ניתן להעריך שטפי סדימנט והקשר שלו לתכונות הסופה ופני השטח
הלייזר-הקרקעי זיהה שינויים בפני השטח הקשורים ישירות בתהליכי הסחף וההשקעה וסיפק נתונים לכיול ולקבלת החלטות
ההמלצות שניתנות על ידי מערכת קבלת ההחלטות לשיטת העיבוד אכן הורידו את הסיכון לסחיפת קרקע
מהן הבעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה ומה אמורה להיות ההתייחסות בהמשך?
נדרשים עוד מאמצים להמשך פיתוח מודל הסחיפה
יש לבדוק את יכולות הסורק הקרקעי בתנאים נוספים
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פנטים - יש לציין שם ומס' פנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
עדיין בכתיבה
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)