

השפעת ממשקים חקלאיים שונים בחקלאות בעל על שירות המערכת האקולוגית ויסות קרקע ומים במרחב שקמה

כתב: אלון ירון

תוכן עניינים

3	תקציר	
3	מבוא	1.
4	סחף קרקע באזורים ים תיכוניים, צחיחים וצחיחים למחצה	2.
5	סוגי סחף קרקע	3.
6	מדידת סחף קרקע	4.
7	עיבוד משמר למניעת דלדול/אבדן קרקע	5.
8	קצבי סחף קרקע בעולם ובארץ	6.
9	אגן נחל שקמה	7.
9	שינויים היסטוריים בשימושי קרקע באגן שקמה	8.
10	מחקרי סחף באגן שקמה	9.
11	שימור קרקע בשדות בעל בצפון הנגב – שנות ה-80	10.
12	שקיעת סחף במאגר שקמה	11.
13	חלופות ממשקים חקלאיים בבעל במרחב שקמה והשפעתן על ויסות קרקע ומים	12.
13	עיבוד באי-פליחה	12.1
14	מחקרים באי-פליחה באזורים צחיחים למחצה	12.1.1
14	מחקרים באי-פליחה בצפון הנגב	12.1.2
15	כיסוי/חיפוי הקרקע	12.2
16	רעייה	12.3
17	מחקרים על רעייה בצפון הנגב	12.3.1
18	השפעת חלופות משנה לממשקים חקלאיים על סחף קרקע	13.
18	עיבוד בקווי גובה	13.1
18	גימום	13.2
19	מחזור גידולים	13.3
19	אזורי חיץ	13.4
19	הערכת הסחף משדות הבעל במרחב שקמה	14.
22	סיכום הערכת השפעת ממשקים חקלאיים במרחב שקמה על שימור קרקע ומים	15.
22	אי-פליחה	15.1
22	חיפוי בקש	15.2
22	רעייה	15.3

16.	מידת הוודאות של השפעות חלופות ממשקי עיבוד משמר על ויסות קרקע ומים.....	23
17.	סיכום	23
	נספחים – ארבעת המשקים העיקריים במרחב שקמה	24
	ביבליוגרפיה	25

רשימת איורים

איור 1:	הקשר בין תפוקת סחף ועובי משקעים שנתי	5
איור 2:	מודל קונספטואלי של תפוקת סחף כתלות בגודל אגן הניקוז.	7
איור 3:	מפת סיכוני סחיפה של אגן נחל שקמה כולל חלקות גידולי הבעל	20
איור 4:	מידת הוודאות של השפעות חלופות ממשקי עיבוד משמר.	23

רשימת טבלאות

טבלה 1:	קצבי שקיעת סחף וגאוויות במאגר שקמה	12
טבלה 2:	תפוקות סחף שנתיים ממחקרים באגן נחל שקמה	12
טבלה 3:	תפוקות הסחף ועובי קרקע השנתי שנסחף מחלקות גידולי הבעל	22

תקציר

ויסות קרקע ומים, בהיבט החקלאי, הינו שירות מערכת אקולוגית (שמ"א), אשר מווסת תהליכים של סחף קרקעות ויצירת נגר עילי מהשדות המעובדים, ההכרחי לקיום חקלאות בת-קיימא. הקרקע הינה משאב חיוני לייצור ביולוגי ראשוני, ונמצאת תחת איום מתמיד של אבדן/דלדול עקב השפעות טבעיות והשפעות אנתרופוגניות. אבדן קרקע על-ידי סחיפה הינה תופעה כלל עולמית אשר משפיעה על היצרניות של כל המערכות האקולוגיות. לרוב, קצבי הסחיפה גבוהים הרבה יותר תחת רוב מערכות החקלאות, מאשר בשטחים לא מעובדים. סחף קרקע משמעותי פוגע ביבול כתוצאה מהפחתה בזמינות המים, מביא לפגיעה בביטוח, בחומרי הזנה ובחומר האורגני בקרקע, ומביא לירידה בעובי הקרקע. למניעת המשך דלדול/אבדן קרקעות, יש להסיט את איזון יצרנות הקרקע מתהליכים מדלדלי קרקע לממשקים חקלאיים משמרי קרקע. ממשקי עיבוד משמר מהווים נדבך חשוב בתהליכים אשר משפיעים על אבדן/דלדול הקרקע, יכולת ההתאוששות של הקרקע ואיכותה. שלושה מרכיבים עיקריים של העיבוד המשמר הם צמצום ניכר בפליחת הקרקע (מינימום פליחה או אי-פליחה), חיפוי הקרקע בשלף/קש, והוספת חומר אורגני.

בחלקה הראשון של עבודה זו נערכה סקירת ספרות בנושא השפעת ממשקי עיבוד משמר על שירות המערכת האקולוגית ויסות קרקע ומים, בשדות בעל מעובדים. נבחנו מחקרים מאזורים צחיחים למחצה בעולם ומחקרים מצפון הנגב. הממשקים שנבדקו הם: ממשקי אי-פליחה; כיסוי קש והשאת שלף; ורעייה. ממחקרים אלו עולה כי מעבר לממשק של אי-פליחה עם כיסוי קש והשאת שלף עשוי להביא לירידה ניכרת (עד 100%) בנגר ובסחף משדות מעובדים. השפעת הרעייה על ויסות קרקע ומים הינה שנויה במחלוקת, ועל-כן על בסיס מחקרים אלו לא ניתן לתת הערכה חד-משמעית בנושא.

חלקה השני של עבודה זו ניסה לתת אומדן של סחיפת קרקע משדות הבעל המעובדים במרחב שקמה. לשם כך נלקחו נתונים ארוכי טווח של שקיעת סחף במאגר שקמה, ונלקחה מפת סיכוני סחיפה של אגן שקמה כאשר שדות הבעל סומנו על-גבי המפה. מניתוח ועיבוד הנתונים, עולה כי רוב שטחי שדות גידולי הבעל נמצאים בסיכון סחיפה גבוה, עם עובי סחיפה שנתי מוערך של 0.15-0.61 מ"מ/שנה. יתכן טווח טעות גדול שכן הנתונים מבוססים על אומדנים. על מנת לשפר אומדנים אלו, מומלץ לבצע ניטור ארוך טווח במרחב שקמה של נגר וסחף קרקע בשדות המעובדים. כמו כן מומלץ על שיתוף פעולה בין כל הגופים השונים.

1. מבוא

הקרקע מהווה את התשתית לייצור ביולוגי ראשוני של מזון, מספוא, סיבים, עצים ומרכיבים ביוכימיים של תעשיות הרפואה, צמחי המרפא, הקוסמטיקה ועוד. יחד עם זאת הקרקע הינה מארג עדין אשר רגיש להשפעות טבעיות ואנתרופוגניות. השפעות אלו עלולות להפחית את יכולת הקרקע לספק ייצור ראשוני (Safriel et al., 2011). אבדן קרקע על-ידי סחיפה הינה תופעה כלל עולמית אשר משפיעה על היצרניות של כל המערכות האקולוגיות הטבעיות כולל שטחים חקלאיים, יערות ושטחי מרעה (Pimentel, 2006). במהלך 40 השנים האחרונות, קרוב לשליש מהקרקעות הראויות לעיבוד, אבדו כתוצאה מסחיפה של מים ורוח, בקצב של כ- 100,000 קמ"ר בשנה. אבדן הקרקע הכלל-עולמי מוערך בכ- 172.2 מיליארד טון בשנה (Ito, 2007) ואובדן שכבת הקרקע העליונה מסחף ממים מוערך בכ- 20-30 מיליארד טון בשנה ועוד כ- 5 מיליארד טון בשנה משיטות עיבוד (Govers et al. 2014). לרוב, קצבי הסחיפה גבוהים הרבה יותר תחת רוב מערכות החקלאות, מאשר בשטחים לא מעובדים. הפחתה בעומק הקרקע כתוצאה מסחיפה עלולה

לפגוע בפוריות הקרקע, עם זאת חשוב לציין שהיחס בין הפחתה בעומק הקרקע לפגיעה ביבול אינו ליניארי וישנו סף התלוי בגידול, שבו הפגיעה משמעותית מאוד (תקשורת אישית עם בני יעקובי). לסחף קרקעות השפעות מקומיות, כגון התחתרויות ואבדן/דלדול קרקע והשפעות מרוחקות כגון הסעה של סחף אשר עלול לזהם ולסתום נחלים, אגמים ומאגרים (Uri, 2001). סחף קרקע פוגע ביבול כתוצאה מהפחתה בזמינות המים, מביא לפגיעה בביוטה, בחומרי הזנה ובחומר האורגני בקרקע, ולירידה בעובי הקרקע (Pimentel et al., 2004). ההפחתה במים הזמינים לצומח, נחשבת לפגיעה הקשה ביותר של סחיפת הקרקע, מכיוון שקרקעות שעוברות סחיפה קולטות פחות מים בחידור מאשר קרקעות שלא עברו סחיפה (Guenette, 2001). סחף קרקעות הוא תהליך מחזורי של דלדול עצמי על שדות מעובדים. כאשר הסחף מסיר את שכבת הקרקע העליונה ואת החומר האורגני, הנגר מתגבר והיבולים פוחתים. המחזוריות חוזרת על עצמה עם עוצמות הולכות וגדלות בגשמים עוקבים (Pimentel and Pimentel, 2008).

בד בבד עם גידול האוכלוסיה, סחיפת קרקעות, זמינות מים, אנרגיה ואבדן מגוון המינים מדורגים כבעיות הסביבתיות העיקריות ברחבי העולם. אוכלוסיות העולם יזדקקו בעתיד לאספקה מואצת ורבה יותר של מזון. שמירה על אספקת המזון העולמית והגדלתה, תלויים גם ביצרנות הקרקעות ואיכותן. השינויים שעברו על קרקעות לאורך השנים כתוצאה מסחף אנתרופוגני, הינם משמעותיים והובילו להפיכת קרקעות פוריות ללא יצרניות ולעיתים לנטישתן. סחיפה של קרקע פוגעת באיכות הקרקע וכתוצאה מכך מפחיתה את היצרנות של מערכות אקולוגיות טבעיות, חקלאיות ומיוערות. נוסף על כך, מגוון הצמחים, בעלי החיים והמיקרואורגניזמים בקרקע נפגע (Pimentel, 2006).

בשדות מעובדים ברחבי העולם סחף הקרקע הרב ביותר מתרחש באסיה, אפריקה ודרום אמריקה, עם ממוצע של 3,000-4,000 טון/קמ"ר/שנה (כ- 2.7-2 מ"מ/שנה). סחף הקרקע הנמוך ביותר מתרחש בארה"ב ואירופה עם ממוצע של 1,700 טון/קמ"ר/שנה (כ- 1.1 מ"מ/שנה) (Pimentel et al., 1995). קצב חידוש הקרקע בשדות מעובדים מוערך ב- 50-100 טון/קמ"ר/שנה (כ- 0.03-0.07 מ"מ/שנה). הסחף מאזורי מרעה בארה"ב מוערך בכ- 600 טון/קמ"ר/שנה (NAS, 2003), ומתגבר בעקבות רעיית יתר (Pimentel and Pimentel, 2008). ביערות, כתוצאה מהגנת הצמחייה על הקרקע, קצב סחף הקרקע מוערך בכ- 0.4 עד 5 טון/קמ"ר/שנה (Roose, 1988; Lal, 1994).

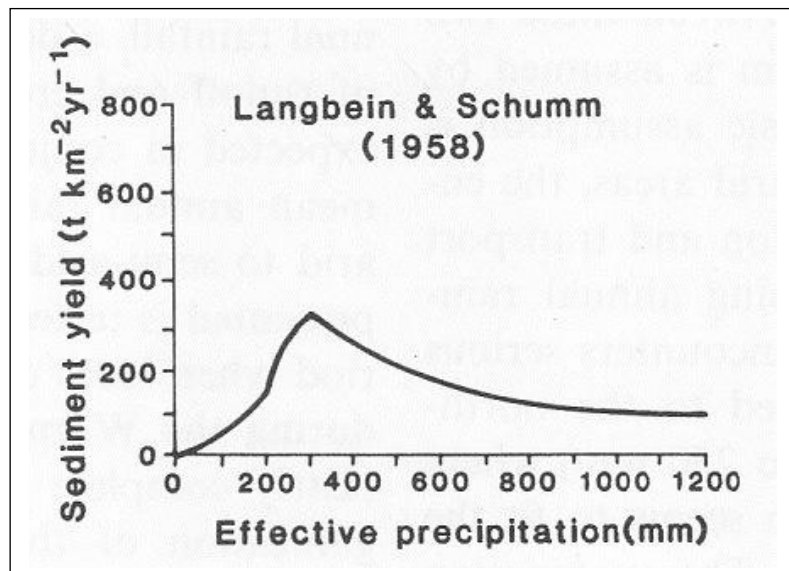
2. סחף קרקע באזורים ים תיכוניים, צחיחים וצחיחים למחצה

אבדן/דלדול קרקעות נפוץ בהרבה אזורים צחיחים למחצה (Unger, et al., 1991), ובעייתי במיוחד באזורים בעלי שונות אקלימית עונתית והיסטוריה ארוכה של לחץ אנתרופוגני, כגון אזור הים התיכון (García -Ruiz et al., 2013). מדידות סחף במאגרים, הראו שתפוקות הסחף הגבוהות ביותר התקבלו באזורים צחיחים למחצה (Langbein and Schumm, 1958). זמינות מים מועטה באזורים אלו מגבילה את התפתחות הכיסוי הצמחי ולפיכך מצטמצמת יכולתו להגן על פני הקרקע מפני גשם. חוסר הגנה על-ידי צמחים, יחד עם יחסי נגר/גשם גבוהים ודומיננטיות של נגר עילי הורטוני¹, גורמים לסחיפתיות גבוהה של

¹ עודפי מי גשם על קרקע לא רוויה - דבר זה קורה כאשר קצב ירידת הגשם על השטח מהיר יותר מהקצב בו המים יכולים לחלחל לקרקע וכל אגני הניקוז המקומיים מלאים. תופעה זאת נקראת "נגר עילי כתוצאה מעודפי מי גשם" או "נגר עילי הורטוני (Hortonian)"

הקרקע (Tooth, 2000). Vanmaercke et al. (2011), הראו בסקירה של תפוקות סחף באירופה, שלנחלים ים-תיכוניים ישנם תפוקות סחף גבוהות יותר מאשר ליתר האזורים האירופאים. הדבר יוחס לאקלים, טופוגרפיה, ליתולוגיה ושימושי קרקע. בעוד שסחיפת קרקעות הינה אחד הגורמים העיקריים לאבדן/דלדול קרקעות, הרי שכמות הסחף והיקף הנזקים שהוא גורם, קשים לכימות מדויק (Uri, 2001).

ממחקרים רבים מסתבר שישנו קשר ישיר בין תפוקת סחף שנתית לבין עובי משקעים שנתי לפחות עד כ- 300 מ"מ (Langbein and Schumm, 1958). מעל סף זה ישנה ירידה בתפוקת הסחף (איור 1).



איור 1: הקשר בין תפוקת סחף ועובי משקעים שנתי (מתוך: Langbein and Schumm (1958), צוטט אצל Yair and Enzel, 1987).

Inbar (1992), מראה שהגרף של Langbein and Schumm, מתאים לאזורים ים-תיכוניים (ישראל וספרד) וששיא תפוקת הסחף הצפוי יהיה ב-300 מ"מ של משקעים. חשוב לציין בהקשר זה, כי מחקרים של תפוקות סחף לרוב מייצגים אגני ניקוז שלמים ועל כן לא ניתן להפריד בין אזורים של שדות חקלאיים לאזורים אחרים, ויש צורך לבדוק האם תפוקת הסחף בשדות מעובדים ממשיכה לעלות גם מעבר לנקודה של 300 מ"מ משקעים. בני יעקובי, מאגף שימור קרקע וניקוז, טוען שבאזורי העמקים והשפלה המספר הוא לפחות 400 מ"מ משקעים (על פי מפת ממוצעי גשם של השרות המטאורולוגי).

3. סוגי סחף קרקע

סחיפה מתרחשת כאשר תלכיד הקרקע אינם יציבים, והיא חשופה לאנרגיה של גשם או רוח. טיפות הגשם פוגעות בקרקע חשופה באנרגיה גדולה ומנתקות ומפזרות את התלכידים שעל פני השטח. בצורה זו, טיפות הגשם מסירות שכבה דקה של קרקע מפני השטח וכתוצאה נוצרת סחיפה משטחית (sheet erosion). עוצמת הסחיפה מוגברת על אדמות משופעות ומבנה הקרקע משפיע על פוטנציאל הסחיפה שלה. קרקעות עם טקסטורה בינונית עד דקה, בעלות תכולה נמוכה של חומר אורגני והתפתחות מבנית חלשה, נוטות יותר לעבור סחיפה. זאת מכיוון שעל-פי רוב לקרקעות אלו ישנם קצבי חידור מים נמוכים ולכן הן נתונות לקצבים גבוהים של סחיפה על-ידי מים ורוח (Pimentel, 2006). בניגוד לסחיפה משטחית שבה הקרקע

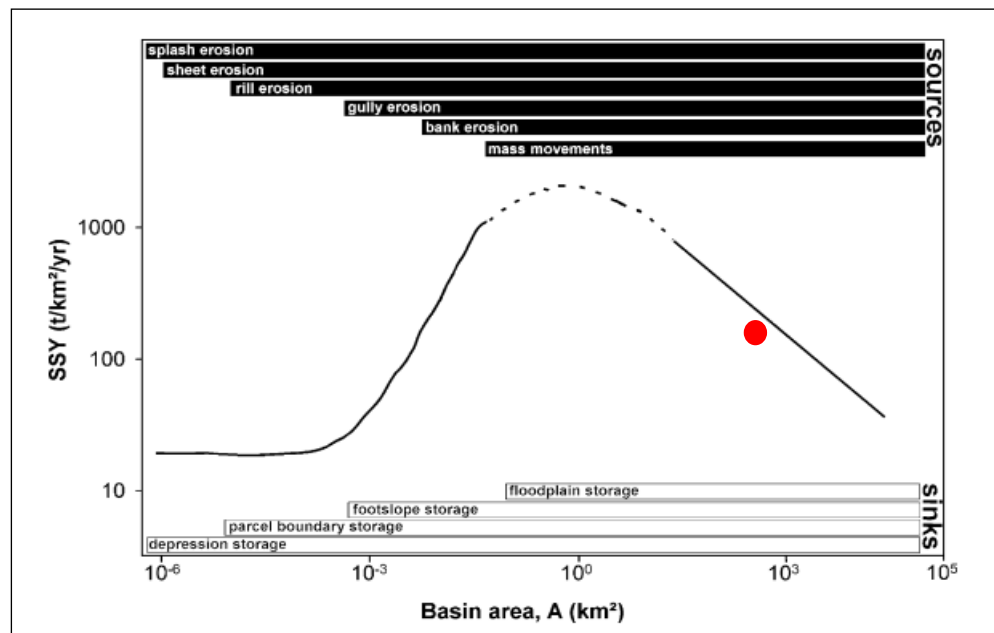
מתנתקת על-ידי פגיעת טיפות הגשם ומוסעת על-ידי נגר עילי, סחיפה של זרימה מרוכזת מוגדרת כניתוק והסעה של קרקע על-ידי נגר עילי מרוכז אשר מוביל ליצירת ערוצים זעירים (rills) וערוצונים (gullies) (Knapen and Poesen, 2010). סחיפת קרקע על-ידי זרימה מרוכזת תורמת באופן משמעותי לסך איבוד הקרקע (Poesen et al., 2003). התחתרות של ערוצונים (gullies) הינה בעיה חמורה ומהווה תהליך עיקרי בדלדול קרקע במגוון סביבות ואזורים ואת המקור העיקרי של סחף בקנה המידה האגני (Poesen et al., 2003; Martinez-Casanovas et al., 2003; Valentin et al., 2005). האמור נמצא נכון בייחוד באזורים ים-תיכוניים (Martinez-Casanovas et al., 2003). ההתחתרות גורמת לאיבוד ניכר של קרקע ולהסעה והשקעת נפחים גדולים של סחף. הערוצונים משמשים כחוליות קישור יעילות להעברת נגר וסחף ממדרונות לעמקים (Poesen et al., 2003). על כן, הימצאותם של ערוצונים באגני ניקוז, משמשת כאינדיקטור חשוב לשיעור ייצור הסחף באגנים אלו (Poesen et al., 2002).

תשומת לב הולכת וגוברת מופנית לתופעת המיחתור (piping). קרקעות העוברות ניתוק ופיזור (dispersion), ובעלות שכבות נתרניות, מועדות להתפתחות מנהרות חתורות אשר הופכות לערוצים זעירים ולערוצונים, כאשר תקרתם מתמוטטת (Valentin, 2005).

4. מדידת סחף קרקע

מחקרים רבים בוצעו בעשורים האחרונים בחקר סחיפה משטחית (interill erosion) וסחיפה של ערוצים זעירים (rill erosion), וכן בכימות וחיזוי התחתרות ערוצונים, אך מעטים התמקדו במקורו של הסחף ועוד פחות התמקדו במציאת פתרונות לתופעה. מדידה של סחיפת קרקע אינה מספקת דיה מכיוון שקצבי סחיפה הינם תלויי קנה-מידה, ולא ניתן מענה מהיכן הקרקע מוסרת ולהיכן היא מוסעת. נוסף על כך, סחיפת קרקע לעיתים אינה מובחנת מכיוון שקשה לזהותה בשטח (Boardman, 2006). כמות הקרקע שנשחפת מאזור מסוים תלויה לא רק בתכונות הקרקע באותו אזור, אלא גם בשימושי הקרקע באזורים סמוכים, בעיקר אזורים ממעלה האגן. בשל זאת, בכדי למדוד סחף ולהבין את גורמיו, יש לעבור מקנ"מ מקומי לקנ"מ אגני. ישנו קושי בזיהוי וכימות של סחיפת קרקעות, זאת הן בשל סוכני הסחיפה (רוח או מים) וסוגי הסחיפה (מעורצת או משטחית). על כן, לעיתים עדיף למדוד השקעה של סחף במוצא האגן (לדוג' במאגרים), מאשר למדוד כמה קרקע אבדה במקור (Safriel et al., 2011). תפוקת הסחף נחשבת כתלויה בגודל אגן הניקוז (Vanmaercke et al., 2011). הדעה הרווחת הינה, שישנו קשר שלילי בין תפוקת הסחף הסגולית לגודל אגן הניקוז. הוצעו לכך שלוש סיבות: (1) באגנים קטנים השיפועים לרוב גדולים ולכן קצבי הסחיפה גבוהים; (2) אגנים גדולים אינם פעילים בכל שטחם; (3) במורד אגן הניקוז גדלים שטחי האחסון לסחף (Walling, 1983; Yan et al., 2011). מניתוח נתוני תפוקת סחף ממספר מקורות באזורים ים-תיכוניים, הוצע יחס כללי בין תהליכי סחף פעילים, מבלעי סחף ותפוקת סחף כללית לגודל אגן הניקוז (deVente & Poesen, 2005). ככל שהשטח גדל, צפויה עליה בתפוקת הסחף ליחידת שטח מכיוון שמתאפשרים תהליכי סחיפה נוספים כגון סחיפה מערוצונים, סחיפה מגדות ערוצים ותנועת בליית אולם, מסף מסוים של גודל אגן ניקוז (± 1 קמ"ר), תפוקת הסחף נקבעת על-ידי הסעה והשקעה של

סחף ולא על-ידי תהליכי סחף פעילים. מערך סף זה והלאה, תפוקת הסחף פוחתת עם גידול בשטח אגן הניקוז (איור 2). ניתן לראות כי אגן נחל שקמה, המסומן בנקודה אדומה, נמצא מתאים למודל [ע"פ נתונים מלרון (1995)].



איור 2: מודל קונספטואלי של תפוקת סחף כתלות בגודל אגן הניקוז ומקורות ומבלעים, אגן שקמה מסומן באדום (deVente & Poesen, 2005).

בני יעקבי, מאגף שימור קרקע וניקוז, מציע שעל פי ניסיונו, שני משתנים חשובים המשפיעים על תפוקת הסחף הם אורך ושיפוע מדרון ממוצע באגן מסוים (ללא קשר לגודלו). ניתוח של נתון זה ייתן יחס וכימות לאזורי מבלע-מקור.

5. עיבוד משמר למניעת דלדול/אבדן קרקע

למניעת המשך דלדול/אבדן קרקעות, יש להסיט את איזון יצרנות הקרקע מתהליכים מדלדלי קרקע לשיטות משמרות קרקע (Unger et al., 1991). שיטות עיבוד קרקע אינטנסיביות מסכנות שימוש בר-קיימא של משאבי הקרקע דרך השפעתן על יציבות ואיכות הקרקע ועל יכולתה להתאושש לאחר הפגיעה (Lal, 1993). העיקרון המנחה את העיבוד המשמר הוא שימור קרקע תוך הקטנת מספר העיבודים למינימום הנחוץ באמצעות דרך שונה להכנת הקרקע לזריעה ועיבודה על-ידי החקלאי (יעקבי ואיזנקוט, 2013). שיטות עיבוד משמר יכולות לאפשר לחקלאים לנצל בצורה יעילה יותר את נפח מי הגשמים (Agassi et al., 1986). באזורים יובשניים, יצרנות הקרקע תלויה בניצול מים זמינים. בצפון הנגב נמדדו כמויות נגר גבוהות: 30-50% מהגשם בחלקות קטנות (6 מ"ר), ו- 5-20% בחלקות גדולות (10,000 מ"ר). לכן, שיטות עיבוד יכולות להגדיל את היצרנות, כאשר המים חודרים לקרקע ונאגרים בה, או לפגוע ביצרנות כתוצאה מסחיפה שנגרמת מנגר עילי. כאשר שיטות של שימור קרקע ומניעת נגר וסחף מצליחות, התוצאה היא הגדלת הלחות בקרקע. על כן לחות הקרקע יכולה לשמש כמדד עקיף לשימור קרקע ומניעת נגר, ובאזורים יובשניים יכולה גם לשמש כאינדיקציה לפוטנציאל הייצור הראשוני ושמירה על מגוון המינים (Safriel et al., 2011).

ממשקי עיבוד מהווים נדבך חשוב בתהליכים אשר משפיעים על אבדן/דלדול הקרקע, יכולת ההתאוששות של הקרקע ואיכותה. בשימוש נכון, עיבוד קרקע יכול לשפר את היצרנות הפוטנציאלית של הקרקע. בשימוש שגוי, עיבוד יכול לחולל מגוון רחב של תהליכי דלדול קרקע כגון פגיעה במבנה הקרקע, האצת הסחיפה, ירידה בכמות החומר האורגני ובפוריות הקרקע והפרעה במחזוריות של מים, פחמן וחומרי הזנה עיקריים (Lal, 1993). יישום נכון של ממשקי עיבוד משמר עשוי להקטין את קצבי הסחף בין פי 2 ועד פי 1,000 בממוצע, ואת איבוד המים בין פי 1.3 ועד פי 21.7 בממוצע. בנוסף צפויה הפחתה משמעותית באיבוד חומרי הזנה (Pimentel et al., 1995).

בנוסף, ממשקי עיבוד חקלאי משמר מפחיתים סחיפה ונגר ומשפרים את איכות המים בהשוואה לממשקי עיבוד שאינם משמרים. כמו כן, קיבול השדה בקרקע גדל תחת עיבוד משמר, ומשמש כמאגר זמין של מים לצומח בזמן תנאי בצורת. החומר האורגני בקרקע לרוב יהיה גבוה בשכבת הקרקע העליונה תחת עיבוד משמר, דבר המשפיע על תכונות הקרקע ופוריותה, ועל התהליכים הקשורים באספקה של שרתי המערכת האקולוגית (Palm et al., 2013). שלושה מרכיבים עיקריים של העיבוד המשמר הם: צמצום ניכר בפליחת הקרקע (מינימום פליחה או אי-פליחה), חיפוי הקרקע בשלף/קש ובארץ גם הוספת חומרים אורגניים, לאור החשש שלאורך זמן עלולה להיות פחיתה ביבולים. השארת כמות מספקת של קש על הקרקע, נמצאה כיעילה מאוד למניעת סחיפה על-ידי רוח ומים, ולהגברת שימור המים והיבול (Unger et al., 1991).

בארה"ב, החלו בפעולות לשימור קרקע החל מ-1933, בעיקר עקב סחיפת קרקע ע"י רוח באירועי קערת האבק (Dust Bowl). במקור פעולות אלו התמקדו ביתרונות המקומיים של שמירת הקרקע בשדה והגדלת היבול. החל משנות ה-80, מטרות המדיניות כללו באופן הולך וגובר, הפחתה של השפעות מרוחקות של סחיפה. כתוצאה מפעולות שימור אלו, סך סחיפת הקרקע בין השנים 1982 ל-1992 פחת ב-32% (Uri, 2001). Pimentel et al. (1995), מעריך שבארה"ב השקעה של 8.4 מיליארד דולר בשנה בעיבוד משמר, תחסוך הוצאה על נזקי סחף בסך 44 מיליארד דולר. בישראל, הטמעת ממשק חקלאי משמר קרקע היא פעולה שהחלה במחוז העמקים בשנת 1998. להטמעת הממשק החליט האגף לשימור הקרקע במשרד החקלאות לתמוך בשני נושאים: האחד, מיכון ייעודי – תמיכה ברכישת מזרעות אי-פליחה והשני, תמיכה בניהול שטח בממשק עיבוד משמר (יעקבי ואיזנקוט, 2013).

6. קצבי סחף קרקע בעולם ובארץ

נתונים שנאספו ממחקרים רבים במגוון סביבות ברחבי העולם, מראים שקצבי סחיפת קרקע ממוצעים משטחים חקלאיים המעובדים בפליחה (3.93 ± 0.32 מ"מ/שנה), גדולים ב-1-2 סדרי גודל מקצב ייצור הקרקע (0.036 ± 0.004 מ"מ/שנה), מסחיפה בשטחים טבעיים (0.053 ± 0.016 מ"מ/שנה) ומסחיפה גיאולוגית ארוכת טווח (0.173 ± 0.029 מ"מ/שנה). הסחיפה תחת עיבוד באי-פליחה (0.124 ± 0.022 מ"מ/שנה) קרובה מאוד לקצבים של ייצור קרקע, ולכן יכולה לשמש תשתית לחקלאות בת-קיימא (Montgomery, 2007).

בישראל המידע על קצבי אבדן קרקע חלקיים וחסרים. הערכות נעות סביב 1-2 מ"מ/שנה (יעקבי ואיזנקוט, 2013). אשל ואגוזי (2013), אספו נתונים על קצבי סחף משדות חקלאיים בארץ. באתר חירייה

(קרקע סיין חרסיתית חולית) נמדד קצב סחף שנתי של 4-7 מ"מ מקרקע חשופה. בחלקות באתר כדורי (בקרקע דומה), נצפתה סחיפת קרקע בזרימה משטחית בלבד (בן חור וחובריו, 2011), ועל כן נמדדו בהן קצבים שנמוכים בסדר גודל מהקצבים שלעיל. בשטחים מעובדים אינטנסיבית באזור רמת מנשה (קרקע רנדזינה) נמצא שעובי הקרקע לאחר כ-50 שנה פחת ב-20 ס"מ, בקצב ממוצע של 4 מ"מ לשנה (זיידנברג, 2007). יש לציין כי נתוני הבסיס של עובי הקרקע ברמת מנשה נלקחו מסקר קרקע ארצי לא מדויק בקנ"מ 1:20,000, וכי תתכנה שגיאות בערכיהם (רן משה, 2014, תקשורת אישית). אבדן קרקע ממוצע משטחים חקלאיים בעמק חרוד לאחר אירוע גשם קיצוני, בסוף אוקטובר 2006 נאמד בכ-3.8 מ"מ בארבעה ימים (זיידנברג, 2007). בארבע השנים האחרונות נמדדו קצבים של 4-7 מ"מ בשנה בקרקעות החמרה בשרון, בשטחים שגודלם 0.4, 0.8 ו-100 דונם. מדובר בהערכת חסר, כיוון שלא כל המקטע המרחף נמדד (אשל ואגוזי, 2013).

קרקעות ישראל משנות את תכונותיהן בקצב מהיר מאז קום המדינה. עיקר השינויים מתחוללים בקרקעות המעובדות, דבר המוביל לאבדן קרקעות, ירידה בפוריות הקרקע ולעתים אף לנטישת שדות מעובדים. בעקבות סקרי קרקע ברחבי הארץ, מעקב רב-שנתי ותצפיות שדה, אובחנו שלוש קבוצות של תהליכים אשר יצרו את הקרקעות הנוכחיות: 1. חשיפת אופקים תחתונים; 2. כיסוי קרקע טבעית בקרקע מיובאת; 3. שינוי בתכונות חתך הקרקע בהשפעת ממשקי עיבוד והשקיה (זיידנברג, 2013).

7. אגן נחל שקמה

אגן הניקוז של נחל שקמה נמצא באזור הספר שבין האקלים הים תיכוני בצפון והצחיח למחצה בדרום, עם משקעים שנתיים בטווח 300-400 מ"מ ושטח ניקוז של כ-760 קמ"ר (כהן, 2006). האגן מוגדר כבעל סיכויי סחיפה בינוניים עד גבוהים (FAO, 1967), ובעל מאפיינים משתנים במרחב. הטופוגרפיה הררית במזרח, שפלה במרכז ומישורית במערב. שימושי הקרקע: חקלאות אינטנסיבית, שטחים עירוניים ושטחי בור. הקרקעות מגוונות: חולות נודדים במערב האגן, חמרה אלוביאלית במוצא האגן, קרקעות חומות כהות במרכז ובמערב האגן, בהירות לסיות בדרום האגן, רגוסולים במרכז האגן, רנדזינות חומות בהירות בצפון מזרח האגן, ליתוסולים חומים וקרקעות חומות בהירות בדרום מזרח השפלה, קרקעות חומות כהות במזרח האגן וטרה רוסה כבדה במזרח האגן (כהן, 2006).

8. שינויים היסטוריים בשימושי קרקע באגן שקמה

Rozin and Schick (1966) בחרו באגן נחל הוגה (תת-אגן של אגן שקמה), בעל שטח של 65 קמ"ר, כמייצג את האזור, לניטור והסבר על השינויים במערכת הנחלית אשר עברו על האזור בעקבות שינויים בשימושי הקרקע כתוצאה מההתיישבות היהודית מאז קום המדינה. לצורך כך, נעשה שימוש בתצלומי אוויר מ-1917, ותצלומים עוקבים בין השנים 1945-1975.

השינויים שעברו על אגן נחל הוגה חולקו לארבע תקופות:

1. לפני 1948 - המדרונות, הבתרונות והערוצים היו חשופים לגמרי (ללא צמחיה כתוצאה מרעיית יתר). ללא ייעור, כאשר עיבוד חקלאי מתבצע על חלקות קטנות בשיטות מסורתיות.

2. 1948-1965 - החלה הופעה של צמחיה, בעיקר באזור הבתרונות ובקרבת הערוצים. הרעייה הייתה מבוקרת, והייתה התחלה של פעולות ייעור. רוב החקלאות נעשתה בשיטות עיבוד משמר שהיו נהוגות באותה תקופה (שונות מהשיטות הנהוגות היום). בתקופה זו, קצבי הנגר והסחף פחתו בצורה ניכרת כתוצאה מהפחתה בשטחי הרעייה. הדבר עודד התפתחות של כיסוי צומח, אשר הוביל להפחתת הסחף בבתרונות, במדרונות, ובגדות הערוצים. הגדלת השטחים אשר עובדו בשיטות משמרות תרמה גם היא להפחתה בסחף.
3. 1965 - סוף שנות ה-70 - עליה בצפיפות הרעייה, אך עדיין רעייה מבוקרת. שיטות העיבוד המשמר ננטשו לטובת שיטות קונבנציונליות, בייחוד במדרונות. באזור הבתרונות ולאורך הערוצים, המשיכו לעבד בשיטות משמרות. בתקופה זו הייתה עליה זמנית בתפוקות הסחף והנגר באגן. הסיבה העיקרית לכך הייתה הפחתה בשיטות עיבוד משמר, כמו גם העלייה בצפיפות הרעייה.
4. תחילת שנות ה-80 - 1992 - שטחי המרעה צומצמו בצורה ניכרת, כמו גם כמות ראש צאן ליחידת שטח. צפיפות הצומח באזורים לא מעובדים גדלה. אזור הבתרונות נהפך לשמורת טבע ופעולות הייעור התרחבו לאזורים חדשים. מאמצי השימור הופנו מהמדרונות אל אזורים לאורך הערוצים ואל הבתרונות. בתקופה זו חלה ירידה משמעותית בתפוקות הסחף והנגר. הסיבה לכך היא התרחבות האזורים בהם עברו לשיטות עיבוד משמר, כמו גם הכנסת שיטות חדשות של עיבוד משמר.

9. מחקרי סחף באגן שקמה

Seginer (1966) ביצע מחקר של ניתוח תצלומי אוויר עוקבים (1949-1964) בנוסף למדידות בשטח, וחקר את התרומה של ערוצונים לתפוקת הסחף באגני הבשור ושקמה (ברור חיל, רוחמה ותקומה). המסקנה הייתה שהתחתרות ערוצונים מהווה מקור עיקרי של סחף באזורים אלו. הערוצונים אינם מפוזרים באופן אחיד באגן הניקוז, ישנם אזורים בהם צפיפות הערוצונים מנעה המשך עיבוד חקלאי בהם. באגן רוחמה (3.5 קמ"ר), הושקעו במשך שנתיים 4,400 טון סחף במאגר. יוצא שתפוקת הסחף השנתית הממוצעת (באגן זה) עומדת על כ-629 טון/קמ"ר.

Nir and Klein (1974) ביצעו מחקר על ארבעה ערוצונים באגן נחל שקמה (נחל הוגה והאזור שבין רוחמה לאחוזם), על-ידי בחינת תצלומי אוויר עוקבים מ-1945 ו-1966, ומיפוי גיאומורפולוגי בשטח. נמצא שהערוצונים מהווים מקור חשוב לסחף באגן נחל שקמה, דבר המאשש את ממצאיו של Seginer (1966). לפני 1948, האזור היה תחת עיבוד חקלאי נרחב, עם שדות משופעים אשר נחרשו עד לקצה הערוצונים. בעקבות השינוי הפוליטי של 1948, נכנסו לשימוש שיטות עיבוד משמרות קרקע כגון חריש בקווי גובה, שבהם ננטשו אזורים הצמודים לערוצונים כמו גם ערוצים מסדר ראשון. החוקרים מניחים שהמעבר לחריש בקווי גובה, אשר הפחית את סחיפת הקרקע מהשדות החקלאיים, גרם להנעה של שני תהליכים:

1. הגברת הזרימה בתת הקרקע וכתוצאה תופעות של מיחתור (piping) באפיקי הערוצונים הפעילים.
2. הפחתת הסחיפה בערוצים מסדר נמוך, כתוצאה מהתבססות של צמחיה בערוצים אלה וכתוצאה מזרימה וסחף מוגברים בערוצונים ואף לחשיפת סלע האם.

Cohen et al. (2008) פיתחו מודל עמימות לוגית² לחיזוי סחיפה באגן נחל שקמה. המודל אומת בהצלחה על-ידי נתוני סחף מאגן נחל בכרה אשר בדרום הר חברון. אגן מזרחי של אגן נחל שקמה מצוי כיום בתהליכי סחיפה מואצים יותר מתת האגן המערבי. זאת בניגוד לנתונים מלפני 40 שנה, המראים שתת האגן המערבי היה מצוי תחת תהליכי סחיפה רבים יותר מהאגן המזרחי. התוצאות מתאימות לממצאים מאגן נחל הוגה הסמוך (Rozin and Schick, 1996), אשר הראו שכתוצאה מהפחתת הרעייה והכנסת שיטות עיבוד משמרות, התפתחה צמחייה אשר הפחיתה את הסחף וייצבה את המערכת הנחלית.

10. שימור קרקע בשדות בעל בצפון הנגב – שנות ה-80'

Agassi et al. (1982) מצאו, באזור הנגב הצפוני, ערכים גבוהים של נגר כתוצאה מהתפתחות קרומים פיזיקליים אשר נגרמים מפגיעת טיפות הגשם. בניסוי בהמטרה מלאכותית על דגימות קרקע מייצגות, נמצא שהוספת פוספוגבס מעל פני הקרקע, מנע יצירת קרומים והביא לעליה בקצבי חידור מים לקרקע. כתוצאה, צפויה ירידה משמעותית בקצבי הנגר וסחף הקרקע בשדות חקלאיים, אשר חשופים לגשם.

Rawitz et al. (1983) ערכו מחקר שנעשה כחלק מפרויקט שנועד לפתח שיטות עיבוד משמר אשר מתאימות לאזורים צחיחים למחצה. באזורים צחיחים למחצה עוצמות הגשם גבוהות, הקרקעות בעלות קצבי חידור נמוכים, תכולת החומר האורגני נמוכה ויציבות התלכידים נמוכה. נערכו ניסויי שדה ומעבדה על קרקעות לס בעלות קרומים מקיבוץ עלומים שבצפון הנגב, המיועדים לגידול כותנה. מטרת המחקר הייתה לפתח שיטות להגברת חידור מי הגשמים לקרקע. נמצא ששיטת העיבוד המקובלת של חריש עמוק (35-45 ס"מ), דיסקוס, החלקה ויצירת תלמים היא השיטה הגרועה ביותר אשר יכולה להביא לאיבוד נגר בשיעור של עד 60% מהגשם ולהגברת סחף הקרקע. נעשתה השוואה בין שיטת העיבוד הנ"ל לשיטות עיבוד שונות. נמצא שהשיטה היעילה ביותר להגברת קצבי החידור ומניעת נגר, היא שיטת הסכרונים (tied ridges, basin tillage) – סכירת תלמים על-ידי חסימות עפר לרוחבם המביאה לשורות של אגמים קטנים (שקתות) לאורך התלמים. מעבר למחקר, לא ידוע אם נעשה שימוש בשיטה.

Morin et al. (1984), בהמשך לפרויקט של Rawitz et al. (1983), בדקו האם שיטת שימור הקרקע של סכרונים (tied ridges, basin tillage) מתאימה גם לשטחים המיועדים לגידולי חיטה. נמצא שאפילו בעונה של 1980-1981, אשר הייתה יחסית יבשה (54% ממוצע המשקעים העונתי), שיטת הסכרונים הצליחה להגדיל את היבול בכ- 50% ומנעה סחיפת קרקע. יש להמשיך ולבדוק את השיטה בעונות עם כמות משקעים שכיחה יותר.

² עמימות לוגית מאפשרת לגשר בין העולם הדיגיטלי המדויק והקשיח למציאות המעומעת של מערכות מורכבות. מערכות מחשב מבוססות על לוגיקה של חישוב בינארי של 0,1, כאשר מערכות טבעיות לעומת זאת אינן מאופיינות בלוגיקה ובגבולות כה קשיחים. באמצעות לוגיקה עמומה ניתן לפתח מודלים מרחביים אמינים יותר ע"י תאור כמותי, במקום התעלמות או הרחקה מלאכותית של העמימות המובנת במערכות טבעיות (מצוטט מהתיזה של שגיא כהן, 2006)

11. שקיעת סחף במאגר שקמה

מאגר שקמה נבנה ב-1958 במטרה לנצל מי גאוויות על-ידי אגירה זמנית של גל הגאות במאגר גיא, והחדרה של אוגר זה למי תהום בשדות פיזור המצויים בסמיכות למאגר (לרון, 1995). על-פי חברת מקורות, הספיקה השנתית הממוצעת בפתחו של מאגר שקמה, הינה כ-6,000,000 מ"ק. מילוי המאגר בסחף מאפשר כימות והערכה של סחף אשר מקורו מכל אגן נחל שקמה. במשך 6 שנים בין 1958-1964 נמדדו בממוצע שנתי כ-172,000 מ"ק של סחף (על-פי ריכוזי רחופת), וספיקה של כ-6,666,667 במאגר שקמה (FAO, 1967). נבו (1979), מביא נתונים של תה"ל המבוססים על 18 שנות הפעולה הראשונות של המאגר. ההערכה לפנייהם הייתה שקצב ההשקעה של סחף הינו כ-100,000 מ"ק בשנה ושתכולת הסחף במי הגאוויות הינה כ-1.6% על-בסיס נפחי. עומק הסחף במאגר שקמה נמדד לאחר 35 שנה של שקיעת סחף (1960-1995), ונעשתה הערכה של נפח ממוצע של השקעת סחף שנתית. התוצאות מראות על נפח ממוצע של כ-74,000 מ"ק סחף בשנה. טבלה 1 מציגה ממוצע שנתי של קצבי שקיעת סחף וגאוויות במאגר שקמה (לרון, 1995).

טבלה 1: קצבי שקיעת סחף וגאוויות במאגר שקמה.

מקור	מס' שנים	קצב ממוצע של השקעת סחף (מ"ק)	ספיקת נגר (מ"ק)	ריכוז ממוצע של רחופת במי הגאוויות (%)	תפוקת רחופת (מ"ק)
חב' מקורות			6,000,000		
FAO, 1967	6	172,333	6,666,667	2.6	173,333
נבו, 1979	18	100,000		1.6	96,000
לרון, 1995	35	74,000		1-3 (טייג, 1996)	60,000-180,000

טבלה 2 מציגה תפוקות סחף שנתיות ממחקרים שונים באגן נחל שקמה. קצב השקעת הסחף ששימש לחישובים בעבודה זו הוא של לרון (1995) מפני שהוא מבטא ממוצע ארוך טווח של 35 שנה, ומבטא השקעת סחף שנמדד בפועל.

טבלה 2: תפוקות סחף שנתיות ממחקרים באגן נחל שקמה.

מקור	אגן ניקוז	שטח (קמ"ר)	משקעים (מ"מ)	תפוקת סחף (טון/קמ"ר)	הערות
Seginer, 1966	רוחמה	3.5	300-400	629	שנתיים של מדידות במאגר
Negev, 1972	שקמה	746	390	160	צוטט אצל Inbar (1992)
נבו, 1979	שקמה	785	350	80	
לרון, 1995	שקמה	785	350	151	
טייג, 1996	שקמה	740	390	160	
				153	רעייה
Seydell, 1998	רוחמה	4.2	350	77	עיבוד לפי קווי גובה

אחד היתרונות של מדידת סחף במאגרים הינו קבלת ממוצע ארוך טווח של קצב השקעה. יחד עם זאת, לרוב מדובר על הערכות אשר מלוות בטעויות בחישוב נפח הסחף המושקע (לרון, 1995; deVente et al., 2004). בנוסף, מדידת הסחף במאגר אינה מאפשרת זיהוי של מקורות הסחף ואינה לוקחת בחשבון שקיעת סחף באזורי מבלע באגן הניקוז. זאת אומרת, שסחף אשר לא הגיע למאגר, לא ימדד (deVente et al., 2004). חישובי סחף המבוססים על ריכוזי רחופת בגאוויות, עלולים להיות בהערכת חסר, שכן הם צריכים לקחת בחשבון איזה נפח מהגאות גלש מהמאגר (יעילות לכידת הסחף של המאגר). במקרה של מאגר שקמה, סכר המאגר הוגבה מספר פעמים בשל סיבה זו (לרון, 1995).

12. חלופות ממשקים חקלאיים הקיימים כיום בחקלאות הבעל במרחב שקמה והשפעתן על ויסות קרקע ומים

במשקי הבעל במרחב שקמה מופעלים ממשקים חקלאיים מגוונים, לרבות ממשקי עיבוד משמרים בתפוצה ורמות שונות. במרבית שדות הבעל נהוגה שיטת עיבוד מינימאלי (קילטור בין גידול לגידול) ובחלק קטן יותר, נהוגה שיטת אי הפליחה בשילוב עם השארת שלפים במידה מעטה (של עד 15 ס"מ). בנוסף, מידי כמה שנים מתבצע בחלק מהשטח עיבוד עמוק, שנועד להתמודד עם הקושי בטיפול בעשבים רעים ו/או בעלי חיים מזיקים לחקלאות, ובחלק קטן מהחלקות (רק בגד"ש רוחמה) מתבצע גימום: יצירת גומות להחזקת המים על השטח. כמו כן, בחלק ניכר מהמשקים קיימת רעייה. במרחב שקמה ישנם ארבעה משקים עיקריים, שכל אחד מהם מנהל את השטח החקלאי שלו בדרכו הייחודית לו. לפירוט לגבי הממשקים הנהוגים בכל משק במרחב שקמה ראה נספח 1 עמ' 23. להלן מובאת סקירת ספרות לגבי השפעת חלופות ממשקי עיבוד חקלאיים: אי פליחה, השארת שלפים, ורעייה על שירות המערכת האקולוגית: ויסות קרקע ומים.

12.1 עיבוד באי-פליחה

פעולות החריש המקובלות בחקלאות הרגילה גורמות לערעור מבנה הקרקע ולחשיפת שכבת הקרקע העליונה לתהליכי בליה מואצים של מים ורוח. יתרה מכך, בגלל החריש גוברת עוצמת הנגר העילי, ואיתו סחף קרקע ושיטפת חנקות וחומרי הדברה מהשדות למקווי מים. ממשק אי-פליחה הכולל חיפוי הקרקע בקש ידוע בעולם כשיטה להקטנת ומניעת סחף קרקע ומים. בונפיל במחקריו בצפון הנגב טען שיש יתרונות רבים להשארת שלף בגובה של לפחות 30 ס"מ בשדה (כ-300 ק"ג לדונם). מבנה הקרקע היציב אינו נהרס בעיבודים, על-כן הקרקע עמידה יותר בפני סחף הנגרם עקב רוחות ונגר (מופרדי וחובריו, 1999). בגידול דגנים, הקרקע נותרת חשופה בסתיו ובחלק מהחורף, בחפיפה עם אחת התקופות בעלת המשקעים הרבים ביותר באזור הים התיכון, ובעונה עם עוצמות הגשם החזקות ביותר, בייחוד במערב הים התיכון. יש הגורסים כי מערכות עיבוד באי-פליחה הן האפשרות היחידה להפחתת סחף קרקעות ללא הפחתה ביבולים (García-Ruiz, 2013). בישראל, משרד החקלאות תומך בעקרונות עיבוד משמר, שאחד מהם הוא הקטנת סחיפת קרקע מהשטח החקלאי על-ידי השארת השלף וזריעה באי פליחה המצמצם את מספר העיבודים במחזור הגידולים (יעקובי ואיזנקוט 2013).

12.1.1 מחקרים באי-פליחה באזורים צחיחים למחצה

Larney and Lindwall (1995) בדקו שיטות עיבוד משמר בשדות חיטה בערבות קנדה. נמצא שלעיבוד באי-פליחה יתרון משמעותי בשימור מים ומניעת סחף.

Delaune and Sij (2012) בדקו הבדלים בנגר ותפוקות סחף בגידולי חיטה עם מרעה חורף בטקסס. מעבר מעיבוד באי-פליחה לעיבוד בפליחה הגדיל את כמות הנגר ב- 38% ואת כמות הסחף ב- 78%.

מחקרים באוסטרליה שעסקו בפליחה, מראים שעיבוד משמר הכולל חיפוי קש, הפחתת הפליחה ומחזור גידולים עשוי לאפשר אגירת מים רבה יותר בעונות בור, להפחית את סחף הקרקע ולהגדיל את היבול (Freebairn et al., 1992).

Huang et al. (2012) בדקו שיטות עיבוד משמר בשדות חיטה בצפון מערב סין. נמצא שבהשוואה לשיטות עיבוד משמר בפליחה, אי-פליחה עם חיפוי בקש הגדיל את אגירת המים בקרקע בכ- 10.5-15.3%, הגדיל יעילות ניצול מים בכ- 7.8-9.6% והגדיל את היבול בכ- 7.0-12.8%.

Liu et al. (2011) מביאים נתונים מצפון מזרח סין על הבדלים בין עיבוד בפליחה, באי-פליחה ובפליחה מופחתת. נמצא שכמויות הנגר היו פחותות ב- 92.4% באי-פליחה לעומת פליחה, וגבוהות ב- 0.2% בפליחה מופחתת לעומת עיבוד בפליחה. תפוקות הסחף היו פחותות ב- 98.3% באי-פליחה לעומת פליחה, וגבוהות ב- 56.1% בפליחה מופחתת לעומת פליחה. היבולים היו גבוהים ב- 10-15% באי-פליחה לעומת פליחה.

Mrabet et al. (2011) מביאים נתונים ממרוקו. עיבוד באי-פליחה הפחית את הנגר ותפוקת הסחף בכ- 50% לעומת עיבוד משמר, שיפר את איכות הקרקע והביא לעליה ביבול.

Soane et al. (2012) מביאים נתונים מדרום מערב אירופה. עיבוד באי-פליחה בשילוב עם כיסוי הקרקע בקש, הולך ותופס חלק דומיננטי בשיטות לשימור קרקע ומים. בצפון מזרח ספרד, נמצא שיבול שעורה הניב 200 ק"ג/דונם לעומת 100 ק"ג/דונם בפליחה קונבנציונלית, כתוצאה ממים זמינים לצומח. נוסף על כך, חיסכון בעלויות עיבוד, עשוי לשמש תמריץ להמשך אימוץ שיטה זו.

12.1.2 מחקרים באי-פליחה בצפון הנגב

במכון גילת בצפון מערב הנגב גודלה חיטה תחת גידול ברוטציה עם כרב נח ובגידול רציף, בשתי השיטות נעשתה השוואה בין גידול חיטה באי-פליחה מול גידול בחריש. התוצאות הראו בצורה ברורה שבעונות בצורת, עיבוד באי-פליחה מלווה בחיפוי קש, מוצלח יותר מאשר עיבוד בחריש. שיטת עיבוד זו נמצאה גם כמגדילה את אגירת המים בקרקע ואת היבול (Bonfill et al., 1999). בהשוואה לממשק המסורתי, ממשק גידול באי-פליחה וחיפוי קש מאפשר שימוש יעיל יותר במי גשם גם במערכות של גידול רציף של חיטה וגם במחזור חיטה/כרב (Bonfill et al., 1999). ממשק אי-פליחה וחיפוי אף קשורים עם דרגת אילוח פחותה יותר בנמטודות (עמיר וחובריו, 1996). במחקרים הראשונים שנעשו בארץ הראו עמיר וחובריו (1996) יתרון רב שנתי של 13% לטובת הממשק החדש. היתרון התבטא רק בשנים דלות משקעים. מאוחר יותר הראו, שהממשק החדש מגביר את יבול החיטה ביותר מ- 60% במערכת ייצור הכוללת שנתון כרב, וב- 18% עד

75% במערכת של גידול רציף בהשוואה לממשק המסורתי (Bonfill et al., 1999). היבול שהתקבל בממשק אי-פליחה הראה עליה של 40% ביבול הגרעינים לעומת ממשק פליחה רגיל (לנדאו וחובריו, 2001).

עיבוד באי-פליחה מגדיל את יעילות ניצול המים ואת יבולי החיטה בתנאים יובשניים. כרב נח לרוב מגדיל את כמות המים הנאגרים בקרקע (Bonfill et al., 1999). במחקר שבוצע בתחנת גילת בצפון הנגב, עם ממוצע משקעים שנתי של כ-240 מ"מ, הושווה עיבוד באי-פליחה לעיבוד בחריש בשדות חיטה. התוצאות מראות על חשיבות כרב נח בשנה העוקבת באזורים יובשניים. עיבוד באי-פליחה הגביר את צמיחת נבטי החיטה ואת הישרדותם. השארת כרב נח בשנה העוקבת, אפשר אגירת מים בקרקע לעונה הבאה, דבר אשר הגדיל עוד את זמינות המים והיבול. מגמה ברורה ועקבית הראתה על כושר ייצור והנבה גבוהים של כל גידולי השדה בממשק אי-פליחה לעומת ממשק מקובל או מינימום עיבוד. בשדות ובחלקות המגודלים ברציפות באי-פליחה יש פחיתה ברמת המינרלים הזמינים לגידול עקב צריכה מוגברת בעבר, ועקב כך חיוני לדשן בהתאם. הקפדה על מחזורי זרעים וחומרי הדברה תקינים חיוני לגידול תקין בממשק אי-פליחה ומקטינה הופעת עמידות לחומרים השונים. לא נצפתה בעיית מחלות כלשהי. לא ניתן להסיק כי בעקבות שינוי שיטת הגידול יש החרפה בנוכחות מזיקים. מחישובי כלכליות שונים ניתן להסיק כי התרומה למגדל עולה בכ- \$10 לדונם בעקבות הגידול באי-פליחה עם חיפוי לעומת גידול בממשק מקובל או במינימום עיבוד. לאור תוצאות כל הניסויים עד היום, ממליצים החוקרים ליישם שיטת גידול זו בהקדם בשדות הפלחה בישראל (Klein et al., 2002).

מחקר נוסף, נועד לבחון את התאמת שיטת הגידול באי-פליחה לשדות הנגב. המחקר, אשר התמקד בגידול חיטה, אך בחן גם קשת רחבה של גידולי שדה, נערך בחלקות הניסוי בתחנת המחקר בגילת, ובמקביל בשדות מסחריים אשר רובם ברחבי הנגב. היעדר עיבודי קרקע תרם למניעת סחף קרקע על-ידי רוח ומים ללא תלות בסוג הקרקע ובמיקום הגיאוגרפי, בשילוב עם חיפוי הקרקע בקש התקבלו חדירות מים ואוגר מים בקרקע מירביים, ומגמה ברורה ועקבית של כושר ייצור והנבה גבוהים של כל גידולי השדה לעומת ממשק מקובל ומינימום עיבוד (בונפיל וחובריו, 2004). איסוף המידע בחלקות הניסוי נמשך עד היום (2014). על פי נתונים שהוצגו על ידי דוד בונפיל, אך טרם פורסמו מסתמנות מגמות דומות.

12.2 כיסוי/חיפוי הקרקע

כיסוי פני השטח בקש הינו מרכיב מרכזי בחקלאות משמרת. הכיסוי מפחית את נפחי הנגר ואת התחתרות שכבת הקרקע העליונה אשר מכילה בתוכה זרעים וחומרי דישון. הדבר חוסך עלויות ובזבז מים גשמים ואנרגיה. כיסוי מתאים, מגן על הקרקע מפגיעת טיפות גשם ומקרינה ובכך מקטין את איטום פני השטח, יצירת קרומים, והתאדות. כמו כן, כיסוי בקש ממתן תנודות בטמפרטורת פני השטח, ומספק אנרגיה וחומרי הזנה לאורגניזמים תחת פני השטח, וכתוצאה משפר את פוטנציאל היבול (Derpsch et al., 2010). באזור יובשני בבוליביה, נמצא שהיבול הרב ביותר הושג בשילוב של אי-פליחה עם כיסוי בקש לעומת אי-פליחה ללא כיסוי (Wall, 1999). Sayre et al. (2006), הציגו נתונים דומים מגידולי חיטה ותירס במקסיקו. הפסקה של כיסוי בקש בעיבוד באי-פליחה הובילה לירידה ניכרת ביבולים ובהחזר הכלכלי. בדרום מערב אירופה, במערכת של אי-פליחה, שימור קרקע ומים הוגבר על-ידי כיסוי הקרקע בקש, כתוצאה מהגדלת חידור המים והפחתת ההתאדות (Soane et al., 2012).

במחקר שנערך בפקיסטן ובדק את כיסוי הקש הנדרש על-מנת להגן על הקרקע מפני סחיפה נמצא שכמות של 302 ק"ג/דונם נתנה את קצבי הסחף המועטים ביותר, וכמות של 62 ק"ג/דונם נתנה את קצבי הסחף הגבוהים ביותר (Bari et al., 1995). נתונים דומים התקבלו על-ידי לנדאו וחובריו (2000), אשר מצאו שכמות חיפוי הקש הרצויה לפי ניסיון אמפירי היא כ-300 ק"ג/דונם. מכיוון שכמות הקש והשלפים בשנה ממוצעת של 250 מ"מ גשם היא כ-250 ק"ג חומר יבש (Zaban, 1981), אזי עיבוד באי-פליחה וחיפוי, אם מבוצע כהלכה, מחייב להשאיר בשטח את השלף לאחר איסוף הגרעינים, בצורת קומה נמוכה וקש קצוץ מפורז. כך, מוותר היוגב על הכנסותיו מקש ומרעייה בשלפים וכך מצטמצמים השטחים הזמינים לרעייה בנגב (לנדאו וחובריו, 2000). Klein et al. (2002), מצאו שעיבוד באי-פליחה מלווה בחיפוי הקרקע בקש בכמות של בין 150-300 ק"ג/דונם, הגדיל את שרידות נבטי החיטה, במקרים של נביטה מוקדמת שבעקבותיה תקופת יובש ו/או בעונות הבצורת. הדבר מאפשר לחקלאים באזורים צחיחים או צחיחים למחצה, לזרוע גם כאשר השדה יבש, ללא צורך להמתין לגשם הראשון.

יתרון נוסף בכיסוי קש והשארת שלף בעיבוד באי-פליחה, הינו היעדר כמעט מוחלט של אבק, דבר המועיל למפעיל ולחקלאי מכיוון שעבודה בסביבה נטולת אבק מצריכה פחות תחזוקה של טרקטורים וכלי עבודה, מאריכה את חייהם ומפחיתה את עלויות הייצור (Lumpkin and Sayre, 2009). עקב היעדר מחקרים בנושאי סחף מים ורוח משדות מעובדים באגן שקמה, מומלץ לבדוק בעזרת חוות דעת מומחים, האם באגן שקמה אי פליחה עם חיפוי קש קטן מהמומלץ (עקב ייצור מועט), אפקטיבי למניעת סחף?

12.3 רעייה

ישנם מחקרים המראים על קשר חזק בין סחיפת קרקעות לבין שימושים לרעייה ולהיווצרות נגר. במחקר שנערך לאורך גרדיאנט אקלימי ים-תיכוני במיקומים אחדים באגן הים התיכון נמצא כי הקשר בין המשטר ההידרולוגי-הגיאומורפולוגי לבין שימושי הקרקע, ובעיקרם רעייה, הוא הדוק יותר מאשר הקשר בין התהליכים הגיאומורפולוגיים לבין משטר האקלים (Cerde, 1998). שש סיבות לכך שהרעייה גורמת להיווצרות נגר ולעלייה בסחיפתיות של הקרקע: (1) הסרת צומח (Coughenour, 1991; Bilotta et al., 2007); (2) חשיפת תלכיד הקרקע למכות טיפות הגשם; (3) השפעה על תכונותיה ההידראוליות של הקרקע; (4) הפחתה בתכולת החומר האורגני בקרקע (Savadogo et al., 2007) והחלשת תלכיד הקרקע (Chenu et al., 2000; Warren et al., 1986); (5) לחץ פרסת הבהמה מהדק את הקרקע, מגדיל את הצפיפות הגושית של הקרקע (Van Haveren, 1983), גורם לירידה במוליכות ההידראולית של פני הקרקע ומעודד יצירה של נגר עילי וסחיפה (Savadogo et al., 2007); (6) דריכת בהמות הרעייה מקטינה את חספוס התבליט ומעלה את מהירות הנגר ומאמץ הגזירה (Nash et al., 2003). רעייה מתחחת את אופק הקרקע העליון באמצעות דריכה ושבירת הקרומים יחד עם דחיסה של אופקי קרקע עמוקים יותר ומאפשרת סחיפה משטחית ביתר קלות (Pietola et al., 2005). בעקבות הפיכת סחף קרקע לזמין ללא מכת טיפות הגשם, הגורם המגביל של סחיפה משטחית במקרה זה הוא כמות הנגר להסעת הסחף הזמין, והיא איננה תלויה ישירות בעוצמת הגשם (Uchida et al., 2000). שטחים של מרעה אינטנסיבי ולא מבוקר חשופים לבעיות סחיפת קרקע רבות. הרעייה גורמת לרוב לחיתוך מלא של הצמחייה, להידוק מוגבר של הקרקע וכתוצאה לירידה בכושר חידור המים לקרקע (במיוחד בגשם הראשון בשנה

ההידרולוגית). תופעות מצטברות אלה גורמות לעליית היחס בין הנגר לגשם ומגדילות את רמת הסחיפתיות של הקרקע. ברעייה אינטנסיבית יהיו פני הקרקע חשופים בתחילת עונת הגשמים, ויכולים להיגרם נזקי סחף עד לנביטה וכיסוי הקרקע בצמחייה עונתית. עם זאת, רעייה היא אמצעי חשוב להקטנת סכנת שרפות. שרפה באזור החיץ תותיר אותו חשוף וזמין לסחיפה בתחילת עונת הגשמים. באזור החיץ אפשר להתיר רעייה מבוקרת, בעת הרעייה על השלף בשדה החקלאי (רשות ניקוז שקמה-בשור, 2011).

מצבם של שדות מרעה רבים התדרדר כתוצאה מרעיית יתר (Ilan et al., 2008; Radford et al., 2008; Steffens et al., 2008), וזאת לרוב כתוצאה מהאצת סחף הקרקע. מחקר שנעשה במישורי הלס הצחיחים למחצה בסין, השווה בין שדות תחת רעייה לשדות שלא עברו רעייה. נמצא שבשדות שלא עברו רעייה, הייתה הצפיפות הסגולית של הקרקע פחותה משמעותית, הייתה תכולת מים גבוהה יותר בקרקע, היו תלכידים יציבים יותר וקצבי חידור גבוהים יותר, מאשר בשדות שעברו רעייה. התנגדות הקרקע לסחיפה, הייתה פחותה בשדות שעברו רעייה כתוצאה מדריכת הבהמות, אשר הידקה את הקרקע והרסה את השורשים (Zhou et al., 2010).

ישנם מחקרים אשר לא מצאו השפעות שליליות להכנסת רעייה מבוקרת לשטחים מעובדים. לדוגמה, תוצאות מחקר מארגנטינה מצביעות על כך שהכנסת רעייה למשטר של עיבוד באי פליחה, לא משפיעה לרעה על תנאי הקרקע ואיכותה (Quiroga et al., 2009). (Franzluebbers and Studemann, 2008), מצאו שהכנסת רעייה לא גרמה נזק משמעותי לקרקע. Lessen (2013), הראו שלרעייה בשדות בור הייתה השפעה מוגבלת על יבול החיטה. הרעייה נמצאה כשיטה מתאימה לניהול כיסוי הקרקע בקש ושלף בניהול מערכות רוטציה של חיטה-כרם. בשדות מרעה ים-תיכוניים, נמצא כי רעייה מבוקרת עשויה להגדיל את פוריות הקרקע, קיבול המים והכיסוי הצמחי (Carmona et al., 2013).

במחקר שנערך לאחרונה בשטח הסמוך לחוות בודדים ליד יער יתיר (בקרב מרחב שקמה) נמצאו השפעות חיוביות של דריכת בעלי חיים (שרפי, 2008). לדוגמה, קריסה של מחילות מכרסמים בעקבות הדריכה מאפשרת חידור של מי נגר אל תת הקרקע, דבר אשר תורם לירידת מקדם הנגר ולירידת קצב סחיפת הקרקע מהמדרון, גם בשטחים הנמצאים תחת רעייה אינטנסיבית.

12.3.1 מחקרים על רעייה בצפון הנגב

באגן נחל הוגה, תת-אגן של אגן שקמה, בשנת 1954 הייתה רעייה ב- 68% משטח האגן, אשר ירדה ל- 9% בשנת 1992. הירידה הניכרת בשטחי הרעייה ובמספר ראשי הצאן ליחידת השטח, גרמה לשיקום כיסוי הצמחייה, הקטנת הנגר העילי והקטנת תפוקת הסחף (Rozin and Schick, 1996).

באגן רוחמה, בשנת 1975 הייתה רעייה ב- 80% משטח האגן, אשר ירדה ל- 20% בשנת 1986. באותה עת, קצבי הסחף ירדו מ- 153 טון/קמ"ר ל- 77 טון/קמ"ר, כאשר ניתן לייחס זאת, מעבר לירידה הניכרת ברעייה, למעבר לעיבוד משמר בקווי גובה (Seydel, 1998; Rozin and Schick, 1996).

לנדאו וחובריו (2001), מצאו שרעייה לא השפיעה באופן מובהק על יבול גרעיני החיטה או הרכבם. מאחר שהחיפוי אינו דרוש לקבלת יבול חיטה מיטבי (בכמות ואיכות) בממשק אי-פליחה, נמצא כי אין אפקט שלילי לרעייה, ומאחר שהממשק החשוף רווחי יותר, נראה שאין ניגוד בין ממשק אי-פליחה לבין רעייה

בשלפים וכי ממשק אי-פליחה חשוף, הכולל רעייה, מתאים לאזור קו הבצורת. לנדאו וחובריו (2003), טוענים שעיכוב המעבר לשלפים עד מחצית יולי מבטיח כנראה שאין זרעים ברי נביטה בגללים. מכאן, נראה כי ניתן לשלב רעייה בואדיות ובשלפים ביתר יעילות ולמנוע מתחים אם מאריכים את עונת הרעייה בצומח הטבעי ומעבירים אותם לשלפים רק במחצית יולי.

שרפי (2008), בדק את ההשפעה של דריכת בעלי חיים על תפוקת נגר וסחף. מסקנותיו: הסרת צומח מגבירה את יעילות תפוקת הנגר והסחיפה המשטחית ואילו דריכה בעוצמות רעייה נמוכות מעכבת תפוקת נגר, אך השפעת הסרת הצומח גדולה מהשפעת הדריכה. Safriel et al. (2011), הראו שבאזור יער יתיר, החלק המיוער, וחלקים לא מיוערים אשר לא היו תחת רעיית יתר, יצרו מעט מאוד נגר ואילו אזורי מרעה שהיו תחת רעיית יתר, יצרו הרבה נגר וסחף.

Stavi et al. (2015) השוו בין ממשק עם רעייה לבין ממשק השארת שלפים בגובה 10 ס"מ ללא רעייה בשטחי חיטה-בעל בחוות מיגדה בה ממוצע הגשמים הוא סביב 200 מ"מ. הם מצאו כי להכנסת רעייה מבוקרת לשטחים מעובדים אין השפעות שליליות: לא על פוריות הקרקע, לא על פחמן אורגני בקרקע וכמעט ולא על היבול.

לסיכום, ניתן לומר שרעייה אינטנסיבית מגבירה תופעות של סחף ונגר, אך יתכן כי ממשק של רעייה מבוקרת בעונה היבשה יצמצם התגברות תופעות אלו ואף יהיה בר קיימא.

13. השפעת חלופות משנה לממשקים חקלאיים על סחף קרקע

13.1 עיבוד בקווי גובה

שיטה זו מיועדת למניעת זרימת מי נגר אל מחוץ לתחום השדות. כיוון החריש עוקב אחר קווי הגובה של הטופוגרפיה הטבעית. בשיטה ניכר המאמץ מצד החקלאי, בהשוואה לקלות החרישה הניצבת. עם זאת, עיבוד לפי קווי גובה משמר את מי הנגר בתוך תחום השדה. השיטה משנה את מראה המרחב ברמת המקור. מבחינת טקסטורת הנוף לא ייצפו יותר נופי "שתי וערב" – משבצות נוף. הנוף החקלאי ייראה רך יותר ויעקוב אחר התכסית הטופוגרפית (רשות ניקוז שקמה בשור, 2011). מחקרים רבים מראים שעיבוד בקווי גובה מונע סחיפת קרקע ומשמר מים. הדבר נכון הן בסביבות לחות והן בסביבות יובשניות, אך שימור מים חשוב הרבה יותר באחרונה. למרות זאת, לעיבוד בקווי גובה כשלעצמו השפעה מוגבלת בהפחתה של סחף קרקע (Finkel, 1986). יש לציין כי השיטה אינה מיושמת כיום במרחב שקמה.

13.2 גימום

שיטת עיבוד משמר נוספת אשר מגדילה את אגירת המים בקרקע, היא גימום: יצירת הרבה גומות קטנות על-פני השטח. מכשור חקלאי מיוחד פותח ליצירת גומות אלו לפני או אחרי הזריעה. בניסויי שדה, לא נמצאו השפעות שליליות של גימום על נביטה או יציבות הצומח (Agassi et al., 1986). כשיורדים גשמים, קולטות הגומות את המים אשר היו נשטפים במדרון לולא היו גומות. בשיטה זו גדלה כמות המים הזמינה בקרקע. היעילות של חלקות שיש בהן גימום בהגברת החלחול ובהפחתת הנגר העילי הנה רבה (רשות ניקוז שקמה בשור, 2011). במרחב שקמה השיטה מיושמת כיום בגד"ש רוחמה.

13.3 מחזור גידולים

שיטה נוספת המקטינה את סחף הקרקע בחלקות החקלאיות היא על-ידי מחזור של גידולים המתאימים לתנאי הסביבה המשתנים בין אזור לאזור (כמויות הגשם, סוג ושיפוע הקרקע וכו'). בנוסף, שיטה זו גם משמרת את פוריות הקרקע. נעשה שימוש בחלקת שדה לשם גידול גידולים מתחלפים, ללא חזרה על אותו גידול פעמיים במהלך המחזור, ומתן מנוחה לקרקע בכל כמה שנים. ברוב שיטות מחזורי הזרעים מקובל לשבץ גידול קטניות כדי להעשיר את הקרקע בחנקן (רשות ניקוז שקמה בשור, 2011). השימוש במחזור גידולים מגוון, מסייע במיתון ושליטה בבעיות של עשבים רעים, מחלות ומזיקים, ובניצול ההשפעות המועילות של חלק מהגידולים על תנאי הקרקע והיצרנות של גידולים עוקבים (Verhulst et al., 2010).

13.4 אזורי חיץ

אזור החיץ מפריד בין אזור חקלאי לבין ערוץ או תעלה. ממשק אזור החיץ מכוון לתפקידו העיקרי: שימור קרקע ומניעת התחתרות, ובו-בזמן מועיל למערכת האקולוגית כיוון שהמרכיב העיקרי בו הוא ייצוב צמחי. הרכב הצמחים וממשק אזור החיץ משתנים על פי התנאים המקומיים: רוחב אזור החיץ, קיום צמחייה טבעית, משק המים, סוג הקרקע וכדומה (רשות ניקוז שקמה בשור, 2011). בחלק מאגן שקמה מיושמת גישה של הותרת רצועות מגן לא מעובדות ורחבות לצד הנחל, אך לא בהיקף גדול - ברוב האגן לא מיושמת.

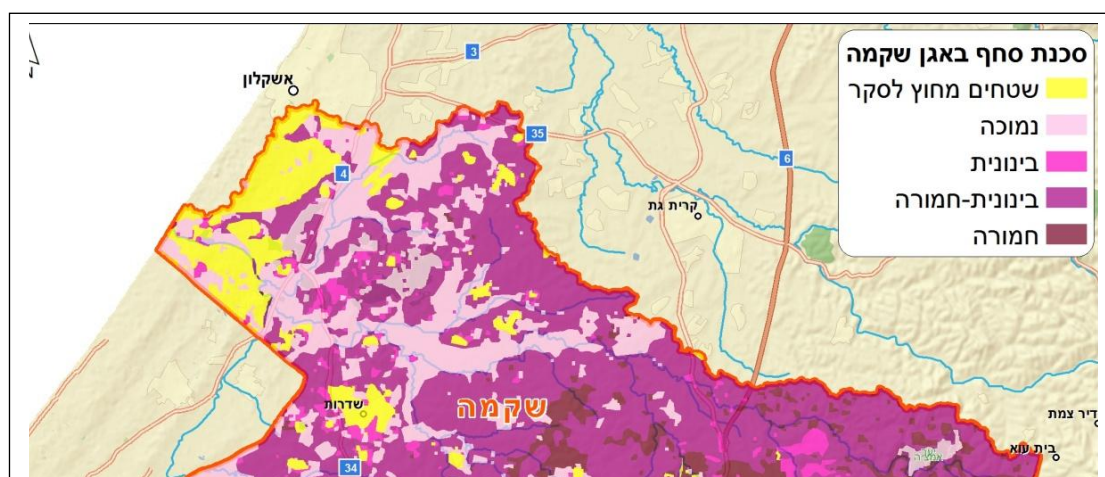
14. הערכת הסחף משדות הבעל במרחב שקמה

בחלק זה של הדו"ח נעשה ניסיון להעריך את הקצב השנתי הממוצע של הסחיפה המשטחית משדות הבעל במרחב שקמה, על-ידי שימוש בנתוני סחף כפי שנמדדו במאגר שקמה ובמפת סיכוני סחיפה של אגן הניקוז.

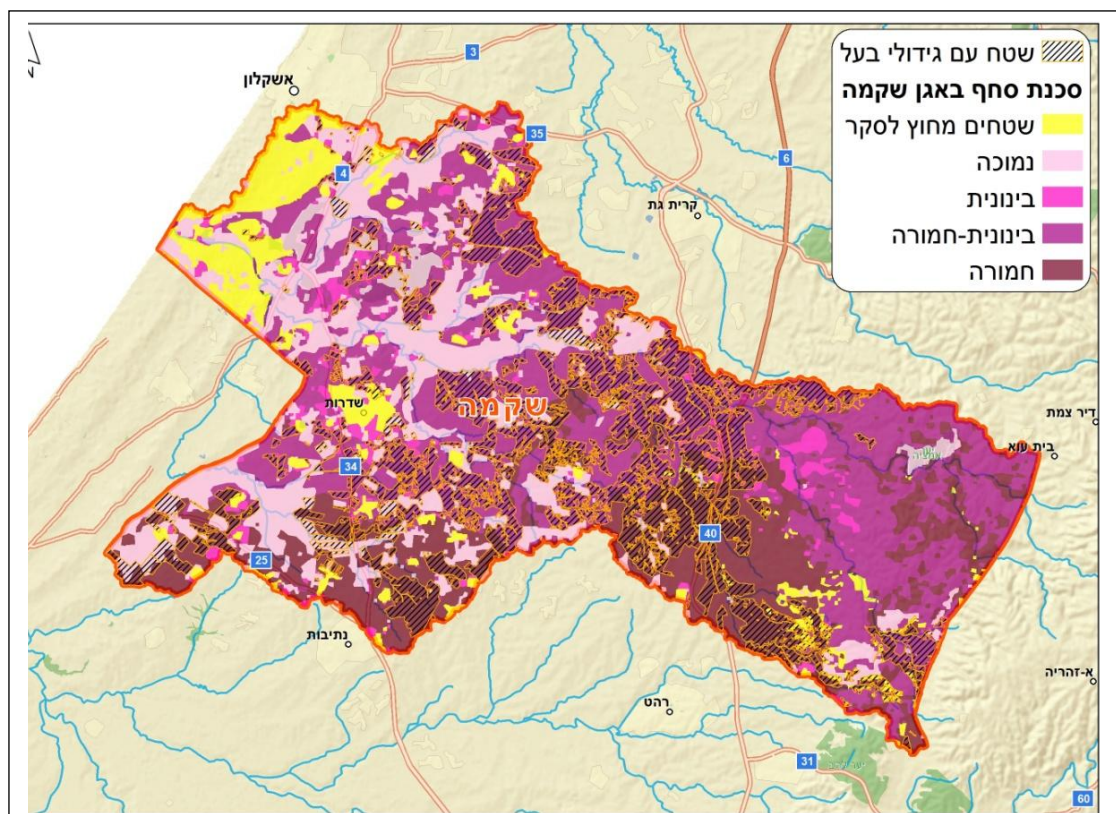
ראשית נלקחו נתוני סחף כפי שנמדדו מסחף שהצטבר במאגר שקמה, נלקח ערך של 74,000 מ"ק סחף מ"ק/שנה (טבלה 1), שכן הוא מבטא ממוצע ארוך טווח (35 שנה) של קצב השקעת סחף במאגר, ומבטא סחף אשר שקע בפועל במאגר לעומת סחף שמחושב על-פי ריכוזי רחופת (לרון, 1995). מערך זה הורד החלק היחסי של הסחף אשר נתרם מחלקי האגן מעבר לקו הירוק מכיוון שהם אינם ממופים במפת סיכוני הסחיפה.

בנוסף נלקחה מפת מודל סיכוני סחיפה של אגן שקמה (איור 3), אשר מחלקת את האגן ל-4 רמות של סיכון סחיפה (רשות ניקוז שקמה בשור, 2011). מכיוון שהמודל אינו כמותי, לכל רמות הסיכון הוערכו (בשיתוף מומחים), ערך של פקטור חסר יחידות אשר מבטא את ההבדל היחסי ביניהם.

לבסוף סומנו כל שטחי שדות הבעל על-גבי מפת סיכוני הסחיפה, על-מנת לקבל חלוקה של שדות הבעל על-פי רמת סיכון הסחיפה (איור 4).



איור 3: מפת סיכוני סחיפה של אגן נחל שקמה.



איור 4: מפת סיכוני סחיפה של אגן נחל שקמה כולל חלקות גידולי הבעל.

ערכי הסחף שהתקבלו הם בהערכת חסר משלוש סיבות (לרון, י', 2014, תקשורת אישית):

1. כמות רבה של סחף דק גרגר יוצא ממאגר שקמה באירועי זרימה גדולים הממלאים את המאגר.

2. באגן שקמה, ישנם אזורים לאורך גדות הנחלים בהם ישנה השקעה של סחף דק גרגר ויצירת גדות מוגבהות ובעיקר בשיטפונות גדולים המסיעים חלק נכבד מהסחף הרב שנתי. סחף זה אינו מגיע למאגר ועל כן אינו מובא בחשבון בעת מדידת הסחף ששוקע במאגר.

3. הסחיפה אינה מתבטאת באופן שווה בכל המרחב של כל אחד מאזורי סיכון הסחיפה, דבר אשר יכול להביא להבדלים גדולים בקצבי סחף בין חלקות חקלאיות שונות.

לאור כל זאת, הערכים שחושבו עשויים למעשה להיות גבוהים בפקטור של 3 מהערכים שחושבו (לרון, י', 2014, תקשורת אישית). טבלה 3 מרכזת את חלוקת שטחי שדות הבעל ואת תוצאות טווחי הסחף הממוצעים הכוללים תיקון להערכת החסר.

על מנת לשפר אומדנים והערכות של נגר וסחף במרחב שקמה, מומלץ לבצע ניטור ארוך טווח במספר תחנות מדידה באגן הניקוז של לחות הקרקע בשדות בעל בממשק פליחה לעומת אי-פליחה. כמו כן מומלץ על שיתוף פעולה בין כל הגורמים העוסקים בנושא (משרדי ממשלה, רשות הניקוז, קק"ל, רשות המים, גופי מחקר, חקלאים ועוד).

טבלה 3: תפוקות הסחף ועובי קרקע השנתי שנסחף מחלקות גידולי הבעל.

רמת סיכון סחיפה	שטח יחסי מאגן הניקוז	שטחי בעל ברמת הסיכון	פקטור תרומת הסחף	תפוקת סחף (טון/קמ"ר/שנה)	ממוצע עובי קרקע שנסחף (מ"מ/שנה)
נמוכה	21.5	7.3	2	0-22	0-0.02
בינונית	3.4	0.3	13	23-145	0.02-0.15
בינונית-חמורה	43.1	54.6	30	146-335	0.15-0.34
חמורה	23.9	35.7	55	336-615	0.34-0.61

ניתן לראות בטבלה 3, שהסחף הצפוי בשטחי בעל ברמת סיכון סחיפה נמוכה (7.3% משטחי הבעל) הינו זניח (0-0.02 מ"מ/שנה). רובם המוחלט של שטחי הבעל נמצאים ברמת סיכון בינונית חמורה וחמורה (54.6%-35.7%, בהתאמה). בחישוב של עובי סחף משדות אלו חושבו ערכים של 0.15-0.34 מ"מ/שנה משדות בעל עם רמת סיכון סחיפה בינונית-חמורה, ו-0.34-0.61 מ"מ/שנה משדות עם רמת סיכון סחיפה חמורה. מספרים אלו קטנים בסדר גודל מערכי סחף אשר מובאים ממחקרים בעולם (Montgomery, 2007) וממחקרים בישראל (יעקבי ואיזנקוט, 2013; אשל ואגוזי, 2013). נתונים אלו הגיוניים בהתחשב בכך שהקרקע חולית ופחות רגישה לסחף מים, ואילו רק חלקו המזרחי הגבוה של אגן נחל שקמה הוא לסי, בעל מדרונות משופעים יותר אשר חתורים בערוצונים אשר מהווים כנראה חלק עיקרי ממנגנוני הסחיפה (לרון, י', 2014, תקשורת אישית).

15. סיכום הערכת השפעת ממשקים חקלאיים הקיימים במרחב שקמה על שימור קרקע ומים

15.1 עיבוד באי-פליחה

מחקרים באזורים צחיחים למחצה מראים שמעבר לממשק של אי-פליחה עשוי להביא לירידה ניכרת בסחף הקרקע משדות מעובדים. כמו כן צפויה עליה מסוימת ביבולים.

15.2 חיפוי בקש

במחקרים רבים נמצא כי חיפוי משמעותי בקש מונע סחף ומשמר מים והינו מרכיב מרכזי בעיבוד משמר. כמו כן, נמצא כי לעומת עיבוד באי-פליחה בשילוב כיסוי בקש, אי-פליחה ללא כיסוי נותן יבול מופחת, מאיץ סחיפה, מקטין חידור מים לקרקע ומגדיל התאדות. מכיוון שחיפוי בקש משולב לרוב בממשק של אי-פליחה, ישנו קושי לבדד את השפעת חיפוי הקש בלבד.

15.3 רעייה

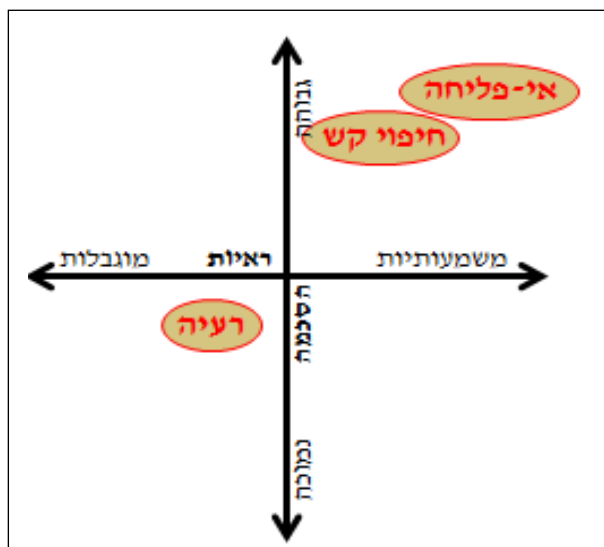
מחקרים רבים מראים שהכנסת רעייה מבוקרת לשדות חקלאיים בעונה היבשה לא משפיעה על שימור קרקע ומים. קיימים גם מחקרים שמראים על עליה בקיבול המים ושיפור במאגר הפחמן האורגאני בקרקע ומנגד מחקרים שמראים על הגברת הסחף. אי לכך קשה על-בסיס מחקרים אלו לתת הערכה חד-משמעית של השפעת רעייה מבוקרת על שימור קרקע ומים.

16. מידת הוודאות של השפעות חלופות ממשקי עיבוד משמר על ויסות קרקע ומים

בבואנו לבחון את מידת הוודאות של השפעת עיבוד משמר על ויסות קרקע ומים, נבדקים שני פרמטרים:

1. מידת ההסכמה המדעית לגבי השפעת שיטת העיבוד המשמר על שימור קרקע ומים.
2. כמות הראיות התומכות (מספר המחקרים בנושא).

איור 5 מציג גרף של מידת הוודאות של השפעות חלופות העיבוד המשמר על ויסות קרקע ומים. בציר X, כמות הראיות התומכות, ובציר Y, מידת ההסכמה.



איור 3: מידת הוודאות של השפעת חלופות עיבוד משמר על ויסות קרקע ומים.

כפי שניתן לראות באיור 5, עיבוד באי-פליחה נמצא על-פי מחקרים רבים ובהסכמה גורפת, כמועיל ביותר בויסות קרקע ומים. חיפוי הקרקע בקש ממוקם גבוה בגרף במידת ההסכמה ומעט פחות בכמות הראיות, שכן אמנם הוא נמצא כמועיל בהפחתת נגר וסחף ושימור לחות הקרקע, אך לרוב בשילוב עם ממשק אי-פליחה. נוסף על כך, באזורים צחיחים למחצה, נכנס שיקול כלכלי של השארת הקש והשלפים במטרה להגדיל יבול ולהקטין סחף או מכירת הקש והכנסת רעייה בשדות. רעייה ממוקמת נמוך בכמות הראיות ובמידת ההסכמה, שכן הדעות חלוקות לגבי יתרונותיה בויסות קרקע ומים.

17. סיכום

1. רוב שטחי שדות גידולי הבעל נמצאים בסיכון סחיפה גבוה, עם עובי סחיפה שנתי מוערך של 0.15-0.61 מ"מ/שנה. יתכן טווח טעות גדול שכן הנתונים מבוססים על אומדנים. לבדיקה מעמיקה יותר של כמויות הסחף נדרשים ניסויים מדעיים בקנה מידה נרחב יותר מאלה שנערכו עד כה במרחב שקמה. יש לציין שבמפגשי מומחים שהתקיימו במשרד החקלאות ב-9.7.14 וב-23.9.14 לקבלת משוב על הנתונים, העירו המשתתפים שההערכה נמוכה בהרבה ממה שהיו מצפים. הם מעריכים שעובי הסחף השנתי בשדות בעל בפארק שקמה מגיע ל-1-2 מ"מ/שנה והיו כאלו שהעריכו שאף עד 4 מ"מ/שנה. עם זאת, לא נמצא הסבר ברור להבדלים. הם שיערו שחלק מהסיבה לפערים יכולה להיות הערכת חסר של מבלעי סחף באגן הניקוז וסחף איאולי שלא נכלל בהערכה. אך בהעדר מחקר מדעי ארוך טווח ישנו קושי לתת הערכה מדויקת של הסחף מהשדות.

2. העברת שדות הבעל במרחב שקמה לממשק אי-פליחה הכולל השארת שלפים רצויה של כ-300 ק"ג לדונם, עשויה להביא לירידה ניכרת בנגר ובסחף הקרקע משדות מעובדים. כיום, על-אף שכחמישית-רבע משדות הבעל במרחב שקמה כבר מעובדים בשיטת האי פליחה, רובם משאירים שלף במידה מועטה בלבד ועל כן לא מביאים לתוצאות מרביות. על פי מרבית המחקרים בקיום ממשק אי פליחה נכון צפויה גם עליה מסוימת ביבולים, אבל נושא זה לא נבדק באגן שקמה במחקר מסודר בקנה מידה משמעותי.
3. הדעות חלוקות לגבי השפעת רעייה בשדות בעל, על וויסות קרקע ומים.
4. על מנת לשפר אומדנים, מומלץ לבצע ניטור ארוך טווח במרחב שקמה של נגר וסחף קרקע במספר תחנות מדידה ושל לחות הקרקע בשדות. כמו כן מומלץ על שיתוף פעולה בין כל הגופים השונים.

נספחים

נספח 1: ממשקים חקלאיים הקיימים כיום בשדות הבעל במרחב שקמה:

במרחב שקמה ישנם ארבעה משקים עיקריים, שכל אחד מהם מנהל את השטח החקלאי שלו בדרכו הייחודית לו :

- **גד"ש רוחמה** : רוב שטחי הבעל מעובדים בשיטת אי-הפליחה ובשיטת הגימום, עם מחזור של משתת כל חמש שנים. מתקיימת השארת חיפוי שלפים של כ-10-15 ס"מ וללא הכנסת רעייה.
- **גד"ש דורות** : רוב שטחי הבעל מעובדים בשיטת הקילטור, עם מחזור של חריש כל 6-9 שנים. מתקיימת השארת שלפים של כ-5 ס"מ והכנסת רעייה מעטה ומוסדרת.
- **גד"ש מושבי גת** : כל שטחי הבעל מעובדים בשיטת מינימום עיבוד – קילטור רדוד, עד 10 ס"מ עומק. קיימת רעייה על קצת פחות מרבע מהשטח.
- **גד"ש שקמה-משמר הנגב** : שדות הבעל מעובדים באי פליחה (חלקם 12 שנה באי פליחה רציפה). בנוסף, לעיתים גם בשדות שבהם מתקיימים מחזורי שלחין - יש גידולי פלחה באי פליחה. מתקיימת השארת שלפים מעטה התלויה בכמות הגשמים השנתית. בשנת בצורת לא משאירים קש, בגלל מתן עדיפות לרווח המתקבל ממכירתו. קיימת רעייה בלחץ לא גבוה.

ביבליוגרפיה

- אשל ג' ואגוזי ר', 2013. הקרקע בשטחים המעובדים נשמטת מתחת לרגליים. אקולוגיה וסביבה, 4(2): 134-136.
- בונפיל ד', רובין, ב', שטיינברג, ד', מופרדי, י', אסידו, ס', כיתאין, ש', נפתליהו, ע' וואזה, א'. 2004. ממשק אי-פליחה וחיפוי בקש - סיכום רב שנתי. גן שדה ומשק, 8: 13-23.
- בן-חור מ', לאדו מ', טנאו ח' ואחרים. 2011. מניעת נגר עילי וסחף קרקע באמצעות שימוש ברסק גזם לחיפוי קרקע. אקולוגיה וסביבה 2(3): 202-208.
- זיידנברג ר', 2007. מה קורה לקרקעות המעובדות – הסיפור האמיתי. יבול שיא, עיתון לחקלאות מתקדמת, 25: 42-44.
- זיידנברג ר', 2013. תנועת האדמה – מבט מן השטח על מצב קרקעות ישראל. אקולוגיה וסביבה, 14(1): 17-19.
- טייג מ', 1996. ניצול סחף המצטבר במאגרי שטפונות. כנס 'מאגרים כמקור מים לנגב'. יונתן לרון (עורך), משרד החקלאות ופיתוח הכפר נציבות המים, קרן קיימת לישראל, אוניברסיטת בן גוריון, מקורות חברת המים הלאומית.
- יעקבי, ב' ואיזנקוט, א', 2013. מחוז העמקים – עיבוד משמר בשטחי פלחה סקירת הניסיון המצטבר בממשק עיבוד משמר ודו"ח סיכום עד סוף שנת 2013. משרד החקלאות ופיתוח הכפר, מחוז העמקים.
- כהן ש', 2006. מודל לוגיקה עמומה מבוסס מערכות מידע גאוגרפיות להערכת פוטנציאל סחיפת קרקעות. עבודת גמר לתואר מוסמך, אוניברסיטת בן גוריון בנגב.
- לנדאו י', בונפיל, ד', ברקאי, ד' ורוזיליו, י', 2000. גידול חיטה באי פליחה ורעייה. הנוקד, 34: 18-22.
- לנדאו י', רוזיליו, י', בונפיל, ד', ברקאי, ד' וארידי, ב', 2001. אין ניגוד בין גידול חיטה באי-פליחה וחיפוי לבין רעייה בשלפים. גן שדה ומשק, 3: 8-13.
- לרון, י', 1995. תכנון הכרייה במאגר שקמה. דוח לחברת מקורות. באר שבע: המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.
- לרון, י', 2014. תקשורת אישית.
- מופרדי י', דולגין, ב', אסידו, ס', בונפיל ד', פיזיק, א' ואגסי, מ', 1999. השפעת ממשק אי-פליחה וחיפוי הקרקע בקש על סחף קרקע ומים. גן שדה ומשק, 4: 15-17.
- נבו, נ', 1979. מפעל ניצול מי גאוויות שקמה – בדיקת הכדאיות הכלכלית של קיבול המאגר, סיכום פרויקט 1401 לחברת מקורות. תה"ל. 14 עמ'.
- סקוטלסקי, א' וגבריאלי, י', 2010. מסדרונות אקולוגיים באזורים חקלאיים: עקרונות לתכנון ממשק חקלאי. קמפוס טבע, אוניברסיטת ת"א. www.mnh.tau.ac.il
- עמיר, י', מופרדי, י', קליטמן, ס' ואסידו, ס'. 1996. טכנולוגיה חדשה של אי פליחה וחיפוי בפלחה בנגב. השדה, 76: 51-56.

רשות ניקוז שקמה בשור, 2011. תכנית אב לשימור קרקע באגני הנחלים בשור ושקמה – סקר מצב קיים ועקרונות למדיניות.

שרפי, י', 2009. השפעות רעיית עיזים על תכונות קרקע, יצירת נגר וסחיפת קרקעות באזור צחיח למחצה. עבודת גמר לתואר מוסמך, אוניברסיטת בן גוריון בנגב.

Agassi, M., Morin, J. and Shaltnberg, I. 1982. Laboratory studies of infiltration and runoff control in semi-arid soils in Israel. *Geoderma*, 28: 345-356.

Agassi, M., Benyamini, Y., Morin, J., Marish, S., and Henkin, E. 1986. The Israeli concept for runoff and erosion control in semi-arid and arid zones in Mediterranean Basin. Ministry of Agriculture, Soil Erosion Research Station, Emek-Hefer, Israel. Submitted to: PAP, Regional Activity Center, UNEP, SPLIT. Project No. DA-8/me 5102-83-05.

Amir, J., Krikun, J. Putter, J. and Klitman, S. 1991. Wheat production in an arid environment. 1. Water-use efficiency as affected by management practices. *Field Crops Research*, 27: 351-364.

Bari, F., Wood, M.K. and Murray, L. 1995. Livestock grazing impacts on interrill erosion in Pakistan. *Journal of Range Management*, 48(3): 251-257.

Bilotta, G.S., Brazier, R.E. and Haygarth, P.M. 2007. The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands. *Advances in Agronomy*, 94: 237-279.

Boardman, J. 2006. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, 68: 73-86.

Bonfill, D., Mufradi, I., Klitman, S. and Asido, S. 1999. Wheat Grain Yield and Soil Profile Water Distribution in a No-Till Arid Environment. *Agronomy Journal*, 91: 368-373.

Carmona, C.P., Roder, A., Azcarate, F.M. and Peco, B. 2013. Grazing management or physiography? Factors controlling vegetation recovery in Mediterranean grasslands. *Ecological Modelling*, 251: 73-84.

Cerda, A. 1998. The influence of geomorphological position and vegetation cover on the erosional and hydrological processes on Mediterranean hillslopes. *Hydrological Processes*, 12: 661-671.

- Chenu, C., Le Bissonnais, Y. and Arrouays, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 64 (4): 1479–1486.
- Cohen, S., Svoray, T., Laronne, J.B. and Alexandrov, Y., 2008. Fuzzy-based dynamic soil erosion model (FuDSEM): Modelling approach and preliminary evaluation. *Journal of Hydrology*, 356: 185-198.
- Coughenour, M.B. 1991. Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, ranching, and native ungulate ecosystems. *Journal of Range Management*, 44: 530–542.
- DeLaune, P.B. and Sij, J.W. 2012. Impact of tillage on runoff in long term no-till wheat systems. *Soil and Tillage Research*, 124: 32-35.
- Derpsch, R., Friedrich, T. Kassam, A. and Li, H.W. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 3: 1-25.
- de Vente, J., Poesen, J., Verstraeten, G. 2004. Evaluation of reservoir sedimentation as a methodology for sediment yield assessment in the Mediterranean: challenges and limitations. *SCAPE Soil Conservation and Protection for Europe: Briefing Papers*, second SCAPE workshop, Cinque Terre, Italy, 13-15 April 2004: 139-145.
- de Vente, J., Poesen, J. 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. *Earth-Science Reviews* 71: 95-125.
- Eshel, G., Lifschitz, D., Bonfil, D.J. and Stenberg, M. 2014. Carbon exchange in rainfed wheat fields: effects of long-term tillage and fertilization under arid conditions. *Agriculture, Ecosystem, Environment*, 195:112-119.
- FAO, 1967. Pilot Project on Watershed management on the Nahal Shiqma, Israel.
- Finkel, H.J., 1986. Semiarid soil and water conservation. CRC Press, Boca-Raton, FL.
- Franzluebbers, A. and Studemann, J.A. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. *Soil and Tillage Research*, 100: 141-153.
- Freebairn, D.M., Loch, R.J. and Cogle, A.L. 1993. Tillage methods and soil and water conservation in Australia. *Soil and Tillage Research*, 27: 303-325.

- García-Ruiz, J.M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N. and Beguería, S. 2013. Erosion in Mediterranean landscapes: changes and future challenges. *Geomorphology*, 198: 20-36.
- Govers, G., Van Oost, K. and Weng, Z. 2014. Scratching the Critical Zone: The Global Footprint of Agricultural Soil Erosion. *Procedia Earth and Planetary Science* 10: 313 – 318.
- Guenette, M. 2001. Measurements of Water Erosion and infiltration in Alberta Using a Rainfall Simulator. [http://www.agric.gov.ab.ca/sustain/rainfall2.html\(12/8/2002\)](http://www.agric.gov.ab.ca/sustain/rainfall2.html(12/8/2002)).
- Huang, G., Chai, Q., Feng, F. and Yu, A. 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Arid Northwest China. *J Integrative Agric.*, 11(8): 1286-1296.
- Inbar, M. 1992. Rates of Fluvial Erosion in Basins with a Mediterranean Type Climate. *Catena* 19: 393-409.
- Ito A. Simulated impacts of climate and land-cover change on soil erosion and implication for the carbon cycle, 1901 to 2100. *Geophysical Research Letters*. 2007 May 10;34(9):-
PubMed PMID: ISI:000246493900005. English.
- Klein, J.D., Mufradi, I., Cohen, S., Y. Hebbe, Y., Asido, S., Dolgin, B. and Bonfill, D.J. 2002. Establishment of wheat seedlings after early sowing and germination in an arid Mediterranean environment. *Agron. J.*, 94: 585-593.
- Knapen, A. and Poesen, J. 2010. Soil erosion resistance effects on rill and gully initiation points and dimensions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35: 217–228.
- Lal, R. 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage Research*, 27: 1-8.
- Lal, R. 1994. Water management in various crop production systems related to soil tillage. *Soil and Tillage Research*, 30: 169-185.
- Lumpkin, T.A. and Sayre, K. 2009. Enhancing resource productivity and efficiency through conservation agriculture. Lead Paper. 4th World Congress on Conservation Agriculture, New Delhi, India, 4-7 February 2009 (2009), pp. 3-9.

- Langbein, W.L. and Schumm, S.A. 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *American Geophysical Union Transaction*, 39: 1076-1084.
- Larney, F.J. and Lindwall, C.W. 1995. Rotation and tillage effects on available soil water for winter wheat in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 36: 111-127.
- Liu, X.B., Zhang, S.L., Zhang, X.Y., Ding, G.W. and Cruse, R.M. 2011. Soil erosion control practices in Northeast China: a mini-review. *Soil and Tillage Research*, 117: 44-48.
- Martinez-Casasnovas, J.A., Anton-Fernandez, C. and Ramos, M.C. 2003. Sediment production in large gullies of the Mediterranean area (NE Spain) from high resolution digital elevation models and geographical information systems analysis. *Earth Surface Processes and Landforms* 28(5): 443–456.
- Montgomery D.R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33): 13268-13272.
- Morin, J., Rawitz, E., Benyamini, Y., Hoogmoed, W.B. and Etkin, H. 1984. Tillage practices for soil and water conservation in the semi-arid zone. II. Development of the Basin-Tillage system in wheat fields. *Soil and Tillage Research*, 4: 155-164.
- Mrabet, R., Moussadek, R., Fadlaoui, A. and van Ranst, E. 2012. Conservation agriculture in dry areas of Morocco. *Field Crops Research*, 132: 84-94.
- NAS, 2003. *Frontiers in Agricultural Research: Food, Health, Environment and Communities*, Washington, DC., National Research Council, National Academy of Sciences, National Academies Press.
- Nash, M.S., Jackson, E. and Whitford, W.G. 2003. Soil microtopography on grazing gradients in Chihuahuan desert grasslands. *J. Arid Environments*, 55(1): 181–192.
- Negev. M. 1972. *Suspended sediment discharge in western watersheds of Israel*. Hydrological Paper 14, Israel Hydrological Service, Water Commission, Jerusalem.
- Nir, D. and Klein, M. 1974. Gully erosion induced in land use in a semi-arid terrain (Nahal Shiqma, Israel). *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement band* 21: 191-105.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L. and Grace, P. 2013. Conservation Agriculture and ecosystem services: An Overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>

- Pietola, L., Horn, R. and Yli-Halla, M. 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil and Tillage Research*, 82(1): 99-108.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Sphpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. and Blair, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 1117–1123.
- Pimentel, D., Berger, B., Filberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E. and Nandagopal, S. 2004. *Water Resources, Agriculture, and the Environment*. Environmental Biology, Report No. 04-1. New York State College of Agriculture and Life Sciences.
- Pimentel, D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8: 119–137.
- Pimentel, D., and Pimentel, M. 2008. *Food, Energy and Society*, 3rd edn., CRC, Boca Raton, FL.
- Poesen, J., Vandekerckhove, L., Nachtergaele, J., Oostwoud Wijdenes, D., Verstraeten, G. and van Wesemael, B. 2002. Gully erosion in dryland environments. In: Bull, L.J., Kirkby, M.J. (Eds.), *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 229-262.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. and Valentin, C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50: 91–133.
- Quiroga, A., Fernandez, R. and Noellemeyer, E. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil and Tillage Research*, 105: 164-170.
- Radford, B.J., Yule, D.F., Braunack, M. and Playford, C. 2008. Effects of grazing sorghum stubble on soil physical properties and subsequent crop performance. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(4): 734–742.
- Rawitz, E., Morin, J., Hoogmoed, W.B., Margolin, M. and Etkin, H. 1983. Tillage practices for soil and water conservation in the semi-arid zone. I. Management of fallow during the rainy season preceding cotton. *Soil and Tillage Research*, 3: 211-231.

- Roose, E. 1988. Soil and water conservation lessons from steep-slope farming in French speaking countries of Africa, in *Conservation Farming on Steep Lands*, Ankeny. IA, Soil and Water Conservation Society, pp. 130–131.
- Rozin, U. and Schick, A.P. 1996. Land use change, conservation measures and stream channel response in the Mediterranean/semiarid transition zone: Nahal Hoga, southern Coastal Plain, Israel. *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives* (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996). IAHS Publ. no. 236.
- Safriel, U.N., Berliner, P., Novoplansky, A., Laronne, J.B., Karnieli, A., Moshe, I., Kharabsheh, A., Mohammad, K.A.G. and Kusek, G. 2011. Soil Erosion – Desertification and the Middle Eastern Anthroscapes. In: Kapur, S., Eswaran, H. and Blum, W.E.H. (Eds.), *Sustainable Land Management, Learning from the Past for the Future*. Springer, New York, pp. 57-124.
- Savadogo, P., Sawadogo, L. and Tiveau, D. 2007. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1–4): 80–92.
- Sayre, K., Govaerts, B., Martinez, A., Mezzalama, M. and Martinez, M. 2006. Comparison of alternative conservation agriculture technologies for rainfed production in the highlands of Central Mexico, 28 August-3 September 2006. In: *Proc. 17th ISTRO Conf.*, Kiel, Germany, pp. 1012-1018.
- Seginer, I. 1966. Gully development and sediment yield. *Journal of Hydrology*, 4: 236-253.
- Seydell, I. 1998. Effects of land use on soil erosion, Ruhama Basin, Israel, 1998. Unpubl. Vertieferarbeit (M.Sc), Technical University of Darmstadt, 57 pp.
- Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F. and Roger-Estrade, J. 2012. No-Till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 118: 66-87.
- Stavi, I., Ungar, E.D., Lavee, H. and Sarah, P. 2008. Grazing induced spatial variability of soil bulk density and content of moisture, organic carbon and calcium carbonate in a semi-arid rangeland. *Catena*, 75: 288–296.

- Stavi, I.; Barkai, D.; Kandikar, R.I.; Zaady, E. 2015. No adverse effect of moderate stubble grazing on soil quality and organic carbon pool in dryland wheat agro-ecosystems. *Agron. Sustain. Dev.* 35:1117–1125.
- Steffens, M., Kölbl, A., Uwe Totsche, K., Kögel-Knabner, I. 2008. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). *Geoderma*, 143: 63–72.
- Tooth, T. 2000. Process, form and change in dryland rivers: A review of recent research. *Earth-Science Reviews*, 51: 67-107.
- Uchida, T., Ohte, N., Kimoto, A., Mizuyama, T. and Chaghua, L. 2000. Sediment yield on devastated hill in China: effects of microbic crust on surface erosion process. *Geomorphology*, 32: 129-145.
- Unger, P.W., Stewart, B.A., Parr, J.F. and Singh, R.P. 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semiarid regions. *Soil and Tillage Research*, 20(2-4): 219-240.
- Uri, N. 2001. A Note on Soil Erosion and Its Environmental Consequences in the United States. *Water, Air & Soil Pollution*, 129(1): 181-197.
- Valentin, C., Poesen, J. and Li, Y. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63: 132–153.
- Van Haveren, B.P. 1983. Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a shortgrass prairie site. *Journal of Range Manage*, 36: 586–588.
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Verstraeten, G., de Vente, J. and Ocakoglu, F. 2011. Sediment yield in Europe: Spatial patterns and scale dependency. *Geomorphology*, 130: 142–161.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Deckers, J. and Sayre, K.D. 2010. Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems? In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 137-208.
- Wall, P. 1999. Experiences with crop residue cover and direct seeding in the Bolivian highlands. *Mountain Res. Dev.* 19: 313-317.
- Walling, D.E. 1983. The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, 65: 209-237.

- Warren, S.D., Thurow, T.L., Blackburn, W.H. and Garza, N.E. 1986. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. *Journal of Range Management*, 39: 491–495
- Yair, A. and Enzel, Y. 1987. The relationship between annual rainfall and sediment yield in arid and semi-arid areas - The case of the northern Negev. In: Ahnert, F., (Ed.), *Geomorphological models - Theoretical and empirical aspects*. Catena Supplement 10, pp. 121-135.
- Yan, Y., Wang, S. and Chen, J. 2011. Spatial patterns of scale effect on specific sediment yield in the Yangtze River basin. *Geomorphology*, 130: 29-39.
- Zaban, H. 1981. A study to determine the optimal rainfall land use systems in a semi arid region of Israel. D. Phil. Thesis, University of Reading, UK.
- Zhou, Z.C., Gan, Z.T., Shangguan, Z.P. and Dong, Z.B. 2010. Effects of grazing on soil physical properties and soil erodibility in semiarid grassland of the Northern Loess Plateau (China). *Catena*, 82: 87-91.