



Research article

מאמר מחקר

## לעובדה ולשומרה – סוגיות בעיבוד הקרקע ושימורה בשטחים צחיחים וצחיחים למחצה: צפון הנגב, מקרה בוחן

ע' מור-מוסרי<sup>1,2</sup>, א' צעדי<sup>3</sup>, ס' לואי<sup>4</sup>, פ' בר (קוטיאל)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן גוריון בנגב  
<sup>2</sup> המחלקה למדעי הקרקע והמים, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות  
<sup>3</sup> המחלקה למשאבי טבע, מינהל המחקר החקלאי, מרכז מחקר גילת  
<sup>4</sup> המכונים לחקר המדבר, שדה בוקר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב

פרטי התקשורת: amir.mussery@gmail.com

### ת ק צ י ר

שטחים חקלאיים המצויים באזורים מדבריים או מדבריים למחצה חשופים במידה רבה לסחף ולאִיבוד פוריות הקרקע אף בהשוואה לאזורים אקלימיים אחרים. רגישות זאת נובעת בעיקר עקב מאפייני המשקעים בתחומם (עוצמות גבוהות, אף שלזמן קצר) ומהקרקע החרסיתית המצויה בחלק ניכר מהם (המתאפיינת, יחסית לקרקעות במרקם שונה, ברגישות גבוהה להשפעות פיזיקליות קיצוניות כגון הידוק ופליחה עמוקה). רגישות זאת מצריכה שימת לב ותכנון נכון של עיבוד הקרקע ושל ניהולה. עיבוד הקרקע המקובל להכשרת שדה לשימוש חקלאי מסתמך על מספר רב של עיבודי פליחה המלווים בשימוש בכלים חקלאיים בעלי אמצעים מכניים שונים (טרקטורים, מחרשות וכדומה). גם הטיפולים הנוספים הנדרשים לטיפוח השדה לאחר זריעה או שתילה של הגידול החקלאי מצריכים שימוש באמצעים מכניים נוספים עבור פעולות כמו דישון, השמדת עשבים רעים, קציר ואיסוף היבול. מעל לכל אלה, ניצול אינטנסיבי של הקרקע, המתבטא לעיתים בכמה מחזורי גידול עוקבים לאורך השנה, וכן התבססות על גידול יחיד לאורך השנים (מונוקולטורה), מצריכים שימוש מוגבר בחומרי הזנה והדברה כימיים, העלולים לפגוע במבנה ובמרקם של הקרקע, בהרכבה הכימי ובמיקרואורגניזמים החיים בתוכה. עיבודים מקובלים אלו עלולים לגרום לירידה בפוריות הקרקע, להמלחתה ולהגברת תהליכי הנגר והסחיפה. הדבר בולט בייחוד בשטחים חקלאיים המצויים באזורים צחיחים כמו הנגב, שמרביתם מתאפיינים בקרקעות בעלות ריכוז חרסית בינוני עד גבוה ובממטרים בעוצמות גבוהות. בחלקים רבים מהם, כתוצאה מעיבוד חקלאי לקוי וממושך משום חוסר מודעות של החקלאיים, נוצרה אף פגיעה בקווי המתאר הגאוגרפיים. מאפיינים אלו יחדיו עלולים להגביר תהליכי מדבור עד כדי מניעת המשך השימוש בקרקעות. גישות הלופיות למניעת תופעות לוואי של העיבוד הממוכן כוללות אי-פליחה, ממשק הוברך (ניהול שדה כשטח בור לשנים ספורות לשם שחזור פוריותו), השארת שאריות גידול בשדה, חטיוי סולרי, חיפוי קרקע בשלפים או בנשר עצים, מחזורי זרעים, שתילת רצועות צומח בלמימת סחף ולהחזרת הפוריות, מחזורי גידול ושילובי גידולים, ניהול נכון ומשמר של הסביבה הטבעית המקיפה והמצויה בתוככי השטח החקלאי באזורים צחיחים אלו, ושינוי תבליט פני השטח. מאמר זה יסקור את הסיבות לסחף קרקע משדות חקלאיים, יביא את השיטות למניעתו ויבחן את יישומן בארץ ובעולם.

מילות מפתח:  
לדול קרקע  
חקלאות ממוכנת  
חקלאות משמרת

הראשונות להתחממות הגלובלית. גידול זה נובע מעלייה בטמפרטורה ובפליטת הפחמן הדו-חמצני, שמאיצות את גדילת הצמח ואת התפתחותו (Cline, 2007). עם זאת גם אותם מדענים שפיתחו מודלים אלה ציינו שבשלבים מתקדמים יותר של ההתחממות צפויה פגיעה בייצור החקלאי, ונוסף להתחממות עצמה יחולו תופעות שאינן מיוצגות במודלים אלו כגון שינויים במאפייני הגשמים והרוח.

כל הגורמים האמורים חשופים אמנם לעידוד ייצור חקלאי משמר, אולם מרבית החוקרים מסכימים שעיקר תשומת הלב צריכה להינתן להתמעטות השטחים החקלאיים כתוצאה משנים של הזנחה ושל עיבוד לקוי (Blanco-Canqui and Lal, 2008). על פי הערכת ארגון

### 1. מבוא

אחד הציוויים הראשונים שנצטווה האדם היה לעבד את הקרקע לצרכיו תוך כדי הבטחת שימורה לדורות הבאים (ויקח ה' אֶלְהֵיִם, אֶת-הָאָדָם; וַיִּצְוֵהוּ בְנֵי-עֵדֶן, לְעִבְדָהּ וּלְשָׁמְרָהּ, בראשית פרק ב, פסוק טו). ציווי זה מקבל משנה תוקף לנוכח הגידול באוכלוסייה העולמית, המגיעה מעל 7.3 מיליארד תושבים, לנוכח קצב הריבוי העולמי המוערך ב-1.1% (Wolfgang, 2004) ולנוכח הצפי להתרחבות רצועת המדבריות בין קווי הרוחב 20° ו-30° כתוצאה מתהליכים שונים הקשורים להתחממות הגלובלית, גישה הנתמכת על ידי מרבית המדענים. יש לציין, שיש מודלים חדשים המצביעים דווקא על עלייה בייצור החקלאי בשנים

מקטע החרסית הגבוה מתאפיינות קרקעות אלו מצד אחד בפוריות רבה (Catt, 2001) אך מצד שני הן רגישות לתופעות כגון הידוק, קושי לחזור למבנה המרחבי הקודם ונטייה ליצור קרום שאינו חדיר כתוצאה מלחץ חיצוני ומעיבוד לקוי (Hillel, 2003).

### 3. השפעות העיבוד החקלאי המכני על הקרקע

מרבית העיבוד החקלאי המקובל נעשה באמצעות מכשור מכני, המשלב יחידות הנעה ועיבוד (Mazoyer and Roudart, 2006). לעיתים יחידות ההנעה והעיבוד משולבות באותו כלי, כגון זחלים המניעים את יחידת העיבוד, ולעיתים הן נפרדות, כגון טרקטור המושך או דוחף את יחידת העיבוד (Hillel, 2003). מסיבה זו יוקדש ניתוח נפרד להשפעת המעבר של כלי העיבוד החקלאי על סחיפת הקרקע ועל פוריותה או להשפעת הכלי המניע אותו וכן לפעולת הפליחה עצמה.

#### 3.1 השפעת מעבר הכלים החקלאיים על סחיפת הקרקע ועל פוריותה

מעבר הכלים החקלאיים גורם להידוק הקרקע ומחולל בכך שני תהליכים המכונים במונח המדעי soil compaction ו-soil consolidation. המונח הראשון, soil compaction, מתייחס לתהליך פיזיקלי של יציאת אוויר בלתי הפיכה מהחללים הבין-רגביים, שנלווה לה שינוי במבנה המרחבי של הקרקע. זהו תהליך בעל השפעת ההידוק הגדולה ביותר בקרקעות בתכולת רטיבות נמוכה מזו המכונה קיבול שדה (Hillel, 2003). לעומתו, soil consolidation הוא תהליך המתבטא ביציאת המים הספוגים בקרקע ללא חדירת אוויר לחללים, הוא מלווה בשינוי המבנה המרחבי של הרגבים, ומתרחש בעיקר ברטיביות קרקע הקרובות לקיבול שדה (Hillel, 2003). במאמר זה תיסקר השפעתם של שני התהליכים הללו כגורם אחד של הידוק קרקע.

בשטח החקלאי בקרקעות כבדות מבוטאת תופעת ההידוק בסוליית החריש (איור 1א). מתחת לסוליית החריש יש שכבת קרקע מהודקת, שהמבנה המרחבי הייחודי שלה העניק לה בספרות המדעית את השם בצל הידוק. עוצמת ההידוק בכל נקודה מתחת לסוליית החריש מתוארת באמצעות נוסחת בוסנסק (Boussinseq) (איור 1ב). הנוסחה מבטאת את הכוח שמפעילים גלגלי הכלי המניע על הקרקע ואת מרחק הנקודה הנבדקת במרחב התלת-ממדי משטח המגע של הכלי המניע עם הקרקע (Hillel, 2003). הנוסחה כוללת, לכן נפח בצל הידוק והערכים המתקבלים בפועל תלויים בלחות הקרקע ובמספר המעברים של הכלים החקלאיים (Hillel, 2003).

הידוק הקרקע מקשה על חדירת השורשים לקרקע, ופוגע בקצב חדירת המים לתוכה. לאורך רצועת ההידוק נגרמת גם פגיעה בפעילות המיקרואורגניזמים בקרקע, ומואצים תהליכים פיזיקליים נוספים. דוגמה לכך היא דיספרסיה (dispersion), שבה הפגיעה במבנה המרחבי של שכבות האלקטרוליטים בקרקע הרגבים גורמת להתפוררות הרגבים, לאי-יכולת לסתור את המטען השלילי על מינרלי החרסית, ובעקבות זאת להעלאת הרגישות לסחיפה (Arshad and Coen, 1992; Levy et al., 1993).

לדעת חוקרים אחדים, נוסף להשפעות ההידוק על מבנה רגבי הקרקע תיתכן פגיעה גם במרקם הקרקע. ביטוייה הוא עליית אחוז מקטע החרסית בשל שחיקת מקטעי הסילט והחול (Guo et al., 2013).

GRACE Communications Foundation (כפי שמופיעה באתר הבית שלו: [www.sustainabletable.org](http://www.sustainabletable.org)) חלה בארבעים השנים האחרונות ירידה של 30% בשטח השמיש לחקלאות. בארץ יש כארבעה מיליון דונם של שטחי חקלאות (ללא שטחי מרעה), כ-70% מהשטח הזה נתון בסכנה של סחיפת קרקע ברמות שונות, ומרביתו נמצא באזורים מדבריים ומדבריים למחצה (הדס וחובי, 2006). ערכים אלה מתייחסים לחישוב שערך זיידנברג ועמיתים (2006), והם מבטאים את מצב פני הקרקע ואת אופן העיבוד החקלאי בשנים 2005 ו-2006. כיום, כתוצאה מהתמשכותם של התהליכים האמורים ותהליכים נוספים בתת-הקרקע, סביר שהערכים גבוהים יותר מאשר אלה שהובאו על ידי זיידנברג ועמיתים (2006).

תופעה נוספת היא הפחיתה שחלה במשך השנים ביכולת הניצול של שטחים חקלאיים רבים, המתבטאת בירידה במספר מחזורי הגידול האפשריים בפרק זמן נתון ובמעבר משטחים מעובדים לשטחי מרעה (Bakker et al., 2005). להערכתם של אשל ואגוזי (2013), קצב איבוד הקרקע באזורים מדבריים בערכי חסר בשנה נע בין 12 ל-16 מיליון מ"ק. על מנת לשקם את הקרקע ולנהלה בצורה בת-קיימא, יש ללמוד את מאפייני האזורים המדבריים והחצי מדבריים, לבחון את השפעות העיבוד החקלאי המקובל ולהבין את התהליכים המשפיעים על סחף הקרקע ועל הפגיעה בפוריותם של שטחים אלו. לאחר כל זאת יגובשו דרכים לעיבוד בר-קיימא של שטחים חקלאיים באזורים אלו, כפי שנעשה בנגב.

#### 2. המאפיינים הייחודיים של רצועת המדבריות

מרבית האזורים הצחיחים בעולם נמצאים ברצועת המדבריות המשתרעת בין קווי הרוחב 20° ו-30° בשני חצאי הכדור, הצפוני והדרומי. פרט לרצועה זו יש אזורים מדבריים במקומות נוספים, ואלה נובעים לעיתים מתנאים מקומיים. המונח אזור צחיח מתייחס לאזורים שסך המשקעים בהם לשנה אינו עולה על 200 מ"מ. אזורים צמודים המתאפיינים בכמות משקעים בת 200–300 מ"מ לעונה, נקראים צחיחים למחצה או סָפָר המדבר. במאמר זה יכלול המונח אזור צחיח גם את השטחים הצחיחים למחצה. גולדרייך (2003) סקר סיווגים אחדים של אזורי אקלים בהתבסס על מדדים פיזיקליים, אקולוגיים והידרולוגיים. על פי ערכי הסף שהוצגו לעיל, נקראים האזורים צחיחים וצחיחים למחצה, אך יש להדגיש כי זהו מינוח כוללני, שכן בשנות בצורת הערכים גְדִלים, ובשנים ברוכות הם קטנים. הדעה המקובלת היום היא שכתוצאה מתהליכי ההתחממות הגלובלית מתפשטים המדבריות למקומות שהיו בעבר פוריים (Grainger, 2013; Le Houérou, 1996).

נוסף למיעוטה היחסי של כמות הגשמים הכוללת באזורים אלו, הגשמים מקומיים ברובם, והם ניתכים בעוצמה גבוהה בפרק זמן קצר. פרקי גשם אלה נקראים סופות קונבקטיביות (Pilgrim et al., 1988), ונמצא שהם תורמים לסחף קרקע גבוה במיוחד (Stone and Hilborn, 2000). גם ההפרשים הגבוהים בין טמפרטורת היום והלילה תורמים להגברת סחף הקרקע (Goldreich, 1998). לא רק תנאי אקלים ייחודיים יש למדבריות, אלא גם קרקע ייחודית. הקרקעות החקלאיות במדבריות הן ברובן בעלות מקטע חרסית בינוני עד גבוה (ברובן עד 30% חרסית) כגון לס (Hudson, 1987). כתוצאה מריכוז

### 3.2 השפעת הפליחה על סחיפת הקרקע החקלאית

עד 1930 הייתה מודעות מועטה להשפעות העיבוד על תהליכים פיזיקליים וכימיים בשטחים החקלאיים ובאזורים סמוכים (Derpsch, 2003). באותה שנה התחוללו בארצות הברית סופות אבק, שנלווה להן סחף קרקע ניכר. בעקבותיהן נעשה מחקר מקיף על סחף הקרקע ועל התהליכים הפיזיקליים והכימיים המשפיעים עליו. הגורמים מרוכזים במשוואת ה-USLE (Universal Soil Loss Equation) הזו:

$$A=R*K*L*S*C*P$$

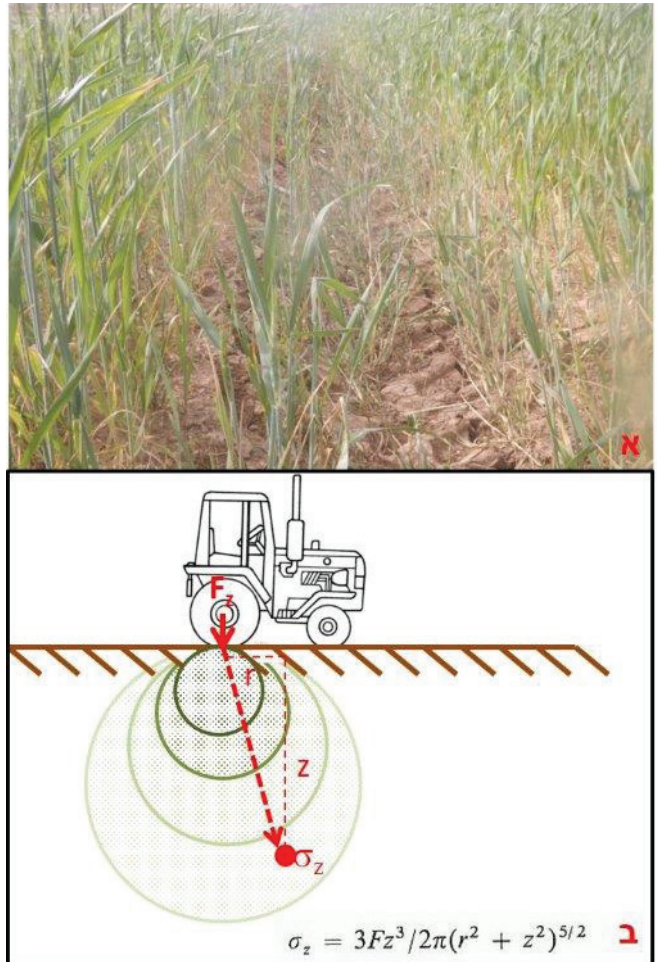
משוואה זו היא משוואה מושגית המציינת את השפעתם היחסית של המקדמים  $R, K, L, S, C, P$ , שלכל אחד מהם מקדם סחיפתיות (erodibility factor) משלו, על מניעת סחף מקרקע נתונה או על קיומו של סחף: הערך 0 מציין מניעת סחף כתוצאה ממאפייניו של הגורם הנבדק, ואילו הערך 1 מייצג אי-מניעה מוחלטת. מכפלת הערכים – ערך ה-A – מציינת את השפעתם הכוללת של מקדמי הסחיפתיות מקרקע נתונה. המשוואה נועדה להשוות בין קרקעות בתנאים שונים, והיא אינה מציינת את כמות הסחף הצפויה (Stone and Hilborn, 2000). R הוא מקדם הסחיפתיות של המשקעים: הערך מרכז את סך כמות הגשם הניתך לאירוע, עוצמתו (האנרגיה הנפלטת ממגע הגשם בקרקע) וזווית בקרקע (ערך זה בדרך כלל גבוה בסופות קונבקטיביות המאפיינות אזורים מדבריים, בהשוואה לגשמי חורף מפורזים, Llasat, 2001)

K הוא מקדם הסחיפתיות של סוג הקרקע. קרקעות כבדות כגון לס מקבלות ערך גבוה; L – מקדם הסחיפתיות של זווית השיפוע; S – מקדם הסחיפתיות שגורם אורך השיפוע; C – מקדם הסחיפתיות של הכיסוי הצמחי, שיכול להיות כמובן הגידול החקלאי, ו-P הוא מקדם הסחיפתיות של אופן עיבוד הקרקע. מחקרים הראו שפעולת החריש, המיוצגת במשוואה במקדם P, מעלה את מקדם הסחיפתיות של הקרקע (soil erodibility) לערכים הנעים בין 0.6 ל-1.0. אלה ערכים גבוהים ביותר בהשוואה להפרעות קרקע אחרות המשפיעות על הסחיפה, לדוגמה רעייה, המוערכת בכ-0.3 (Stone and Hilborn, 2000).

משוואת ה-USLE היא אם כן מושגית, ומרכזת מספר רב של גורמים כאקלים וככיסוי צמחי. בשיטה שונה, הנקראת soil loss tolerance value, מוגדרת כמות הסחף הצפויה ביחידת שטח כתוצאה מעיבוד קרקע מסוים (Stone and Hilborn, 2000). החוקרים מצאו שערך זה (T value) יכול להגיע ל-1.1 טון סחף קרקע לדונם לשנה בגין חריש, בהשוואה לעיבודי קרקע אחרים, שערכם נע בין 0.2 ל-0.4 טון לדונם (Stone and Hilborn, 2000). יש לציין שהנתונים מתייחסים לסחף אלוביאלי בלבד, כלומר לסחף שנגרם בהשפעת כוח המים. עבור סחף איאולי הנגרם מכוח הרוח (Woodruff and Siddoway, 1965), נבנתה משוואה הקרויה Wind Erosion Equation עם מדדים דומים למשוואת ה-USLE. נמצא שבדומה לסחף האלוביאלי, גם סחף הרוח מתאפיין בערכים גבוהים באזורים חקלאיים מדבריים בהשוואה לשטחים לא מעובדים (Ravi et al., 2010).

ואן אוסט ועמיתים (Van Oost et al., 2006) מצאו שוני בולט בין המאפיינים הגאומורפולוגיים של סחף אלוביאלי משטחים פתוחים ללא פליחה לבין המאפיינים של סחף משטחים חקלאיים לאחר פליחה,

היווצרות קרום הקרקע והפגיעה בקצב הדירת המים מקטינות את עמידות הקרקע לסחיפה. התוצאה היא סחף סדימנטים ושיטפת חומרי ההזנה מהשטח, ולבסוף פגיעה בפוריות ובייצור החקלאי (Hamza and Anderson, 2005). השפעות אלו גוברות בכל מחזור עיבוד, ועוצמתן משתנה בהתאם ללחות הקרקע, להרכבה המכני ולהיסטוריית עיבוד השדה. גאוו ועמיתים העריכו שבשיטות העיבוד המקובלות 90% משטח השדה מושפעים במידה מסוימת מההידוק (Guo et al., 2013).

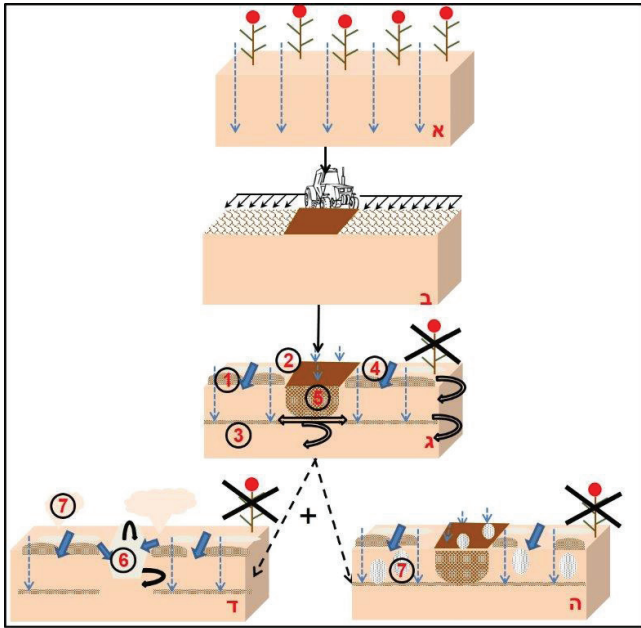


איור 1: השפעת ההידוק על הקרקע

השפעת סוליית חריש על צימוח החיטה. שדות החיטה בדבירה, פברואר 2014 (צילום: עמיר מור-מוסרי)

סכמה המתארת את השפעת הכוח המופעל מגלגלי הכלי המניע על עוצמת ההידוק בנקודה הנמצאת במרחב התלת-ממדי (על פי נוסחת Boussinesq, 1932; Hillel, 2003).  $F_z$  – הלחץ שמפעיל גלגל הכלי המניע,  $z$  – המיקום האנכי של הנקודה הנבדקת,  $r$  – המיקום הרוחבי של הנקודה הנבדקת והלחץ בנקודה הנבדקת.

העיוגים מציינים את עוצמות ההשפעה של גלגל הכלי המניע בשטח המצוי בבצל ההידוק; צבעים כהים – השפעות חזקות, צבעים בהירים – השפעות חלשות. הסכמה והנוסחה מתארות מצב של גלגל חלק וישר במעבר יחידי על רצועת שטח. ככל שמספר המעברים עולה, כך עולה גם נפחם של בצלי ההידוק, הלחץ המופעל על ידי הגלגל הממונע המחובר למנוע יהיה גבוה יותר מגלגל נגרר, ואילו גלגל מחורץ ובעל בליטות, כמו הגלגלים של מרבית הטרקטורים, יתאפיין בשונות גבוהה מביחית הלחצים המופעלים על הקרקע, בהשוואה לגלגל ישר וחלק כיום באזורים הצחיחים והצחיחים למחצה. בארץ גלגלים הדוחף או מושך אותן. מסיבה זו חישבו כוח ההידוק בקרקע המוצג לעיל מבוסס על הכוח שמפעילים גלגלי הכלי המניע. פרט לכלים אלה יש יחידות פליחה הנעות בשטח באמצעות זחלים (caterpillar) (track/crawler). הן מיועדות בעיקר לשטחים חקלאיים נרחבים מאלו המצויים בארץ, והשפעתן על הידוק הקרקע מתוארת במשוואות אחרות, שלא יוצגו במסגרת זאת (ראו Domier et al., 1971; Berli et al., 2003).



**איור 3:** השפעת העיבוד הממוכן על הקרקע עד לאי-כשירותה לעיבוד חקלאי נוסף מצב תחילתי: שדה טבעי לא חרוש, המתאפיין בחדירות גבוהה של מי גשם לכל אופקי הקרקע

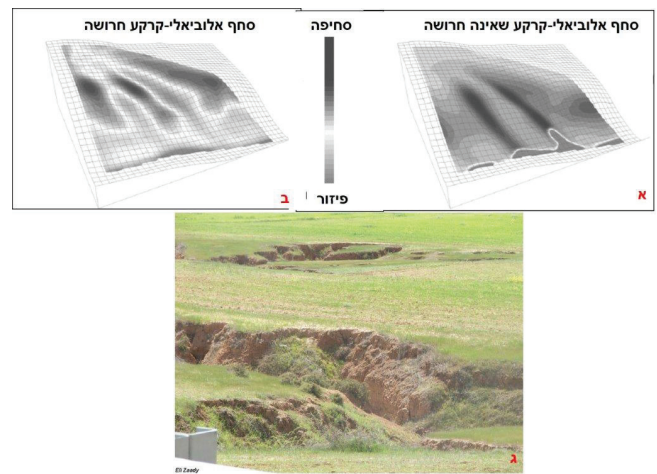
כלי עיבוד חוצה את השדה (להלן כדוגמה, טרקטור המחובר ליחידת פליחה) השפעת יחידת הפליחה על הקרקע (1-4): מעבר הקרקע גורם לחשיפת אופקים נמוכים – 1 ולהצטברות ערמות קרקע בתחתית השדה – 2, נוסף לכך, כתוצאה ממעבר יחידת הפליחה אופקי הקרקע הנמוכים בשדה החרוש עלולים לעבור "הידוק" – 3, דבר המגביר את הסחף המשטחי – 4, השפעת הטרקטור במעברו על הקרקע על "בצל ההידוק" – 5 (השפעה המתגברת בכל מעבר של הטרקטור וברטיביות קרקע גבוהות) בקרקעות כבדות (כגון לס) באזורים מדבריים מצטרפים לעיתים להשפעות הקודמות נתיבי זרימה בצורת ערוצונים וערוצים מתחרים, (6) סחף תת-קרקעי (piping erosion) (7) וסחף איאולי מוגבר (8) באזורים מדבריים, לעיתים כתוצאה מאי-חדירת המים בשדה החרוש, נמנעת שטיפת שכבות הקרקע, וכך מצטרפת להשפעות הקודמות המלחת הקרקע, תהליך המואץ בהשקיה במים מליחים (Dexter, 1997) (9) ובשימוש בדשן מינרלי (Jiang-Tao and Zhang, 2007) הערה: החצים הכפולים מציינים השפעה מרחבית תלת-ממדית רוחבית-אורכית ובציר העומק – הגדלה בטווח הנתון לאחר כל מחזור עיבוד

**4. חקלאות בת-קיימא**

לחקלאות בת-קיימא יש הגדרות אחדות. נראה שאת ההגדרה המדויקת ביותר טבע ארגון המזון והחקלאות של האו"ם (FAO) ב-2014: Save and Grow – לשמור ולגדל. בהקשר זה נסקור במאמר זה את ההיסטוריה של השיטות החלופיות לפליחה המקובלת, ויובאו דוגמאות ליישום שיטות חלופיות בשטחים המדבריים בארץ.

הדעה הרווחת היא שהתפתחות שיטות העיבוד החלופיות לפליחה בכלל ולשיטות הממוכנות בפרט היא תוצאה המודעות לנוקים שגרמו העיבודים הממוכנים לקרקע. לאמיתו של דבר ידוע שכבר בתרבויות העתיקות כגון בתרבות המצרית הקדומה, באינקה ואף בתרבויות המזרח הקרוב נעשו עיבודי קרקע ללא פליחה (Mazoyer and Roudart, 2006; Starkey, 2000), שהתפתחו בשל האנרגיה והאמץ הרב הכרוכים בשיטות האחרות: עיבוד ידני ועיבוד המלווה בכוח בהמה. מניע אחר לפיתוחן של שיטות עיבוד קרקע ללא פליחה, בד בבד עם עיבוד הקרקע המכני, היה השימוש האינטנסיבי בחומרי הדברה להשמדת מזיקים: חרקים, בעלי חיים ועשבים רעים (Derpsch,

זאת נוסף להיבט הכמותי. במחקרם נמצא שסחף משטחים ללא פליחה מתאפיין ביצירת נתיבי זרימה, ומתבטא בערוצונים (rills) ובערוצים מתחתרים (gullies) (איור 2א). לעומתם שטחים לאחר פליחה מתאפיינים במעבר קרקע (soil deposition), המתבטא בכך שבשולי החלקה המעובדת מצטבר עפר, ואילו בחלקים אחרים נחשפים אופקים רדודים של הקרקע, ולעיתים אף נחשף סלע האם. סחף זה מכונה סחף חריש (tillage erosion) (איור 2ב) (Van Oost et al., 2006). ואן אוסט ועמיתים ביצעו את מחקריהם באזורים בעלי אקלים ממוזג, שניתן להבדיל בהם בין שני סוגי הסחף. אולם בשטחים חקלאיים מדבריים, המתאפיינים באקלים קיצוני ובקרקעות לס סחיפות, מתקבל סחף המשלב את מאפייני סחף החריש עם תופעת נתיבי הזרימה הפעילים, כלומר ההתחרות (איור 2ג) (Poesen et al., 1996).



**איור 2:** סחף קרקע משדות חקלאיים בהשוואה לשטח לא מעובד  
 א. מודל לסחף קרקע אלוביאלי משטח שאינו מעובד (Van Oost et al., 2006)  
 ב. מודל לסחף קרקע אלוביאלי משטח חקלאי מעובד (Van Oost et al., 2006)  
 ג. סחף קרקע המלווה בהתחרות בשדה חיטה בצפון הנגב (צילום: אלי צעדי) ניתן להבחין שבאזורים ממוזגים יוצר סחף אלוביאלי בשטחים שאינם חרושים (התמונה התחתונה) ערוצי סחיפה (rills/gullies) ארוכים וצרים, ואילו סחף חריש גורם להתפזרות ולמעבר קרקע (soil deposition), עד כדי יצירת אזורים שבהם מוסרת שכבת הקרקע העליונה, ונחשף סלע האם. בנגב ובאזורים מדבריים נוספים בעולם, כתוצאה ממאפייני הקרקע והאקלים הייחודיים, נוצר שילוב של שני מאפייני סחף אלו.

מלבד סחף הקרקע הנובע מפעולת הפליחה נמצא שהמעבר של יחידות הפליחה עצמן גורם להיווצרות שכבת קרקע מהודקת מתחת לשכבת החריש. שכבה זו מקשה על חדירת מים ושורשי צמחים, ולכן נדרשת פליחה עמוקה יותר והידוק בשכבה נמוכה יותר וחוזר חלילה (Pagliai et al., 2004). עוד נמצא שזמינות חומרי ההזנה לצמח פוחתת, ונטייתם לחלחל מתחת לשכבת בית השורשים של הגידול החקלאי גוברת (Triplet and Dick, 2008). (איור 3). סיכום התהליכים המתארים את השפעותיו של החריש על הקרקע ועל הסביבה עד להפיכתה לבלתי כשירה לשימוש חקלאי נוסף, מובא באיור 3. יש לציין שלמרות התייעוד של השפעות אלו, יחסי הגומלין ביניהן אינם מוגדרים במלואם, ועדיין רב הנסתר על הגלוי, בייחוד באזורים מדבריים (Merritt et al., 2003).

נבדקו בשיטות פולות פליחה ועיבוד חלופיות, שנוקן לסביבה מועט בהרבה בהשוואה לאותן פעולות שנעשות באורח ממוכן. עומק הפליחה, אמצעי הפליחה, תזמונה, תבניתה והתאמתה לגידול ולתנאי האקלים הם חלק מהמשנתים המושפעים מפעולות החריש החלופיות, שנקראות חריש משמר (conservation tillage) (Carter, 1994; Mannering and Fenster, 1983). לדוגמה, עומק הפליחה משפיע ישירות על האנרגיה הדרושה לעיבוד השדה, ומשום כך הוא משפיע גם על מספר יחידות הפליחה הנגרות על ידי טרקטור. ככל שעומק הפליחה רדוד יותר, כך ניתן לשלב מספר יחידות פליחה רב יותר לטרקטור, סחף החריש נמוך יותר, והידוק הקרקע מופחת (Tebrügge and During, 1999).

סוג יחידות הפליחה משפיע על הלחץ המופעל על הקרקע וכתוצאה מכך על סחיפתה (Hillel, 2003). גורם נוסף בעל השפעה בולטת על סחף הקרקע הוא תבנית החריש. נמצא שחריש בשטחים מושפעים שמשתרעים לאורך קווי הגובה, מפחית את סחף החריש בהשוואה לחריש מאונך. הבדלים נמצאו אף בין פליחה במעלה הגבעה לבין פליחה במורד ואפילו בין זוויות פליחה שונות (Van Oost et al., 2006). בשטחים מישוריים מוצעות תבניות פליחה ייעודיות להפחתת ההידוק (אלפר, 1986).

#### 4.2 ניהול קרב (איור 4ב') והשארת שיירי גידול (איור 4ג')

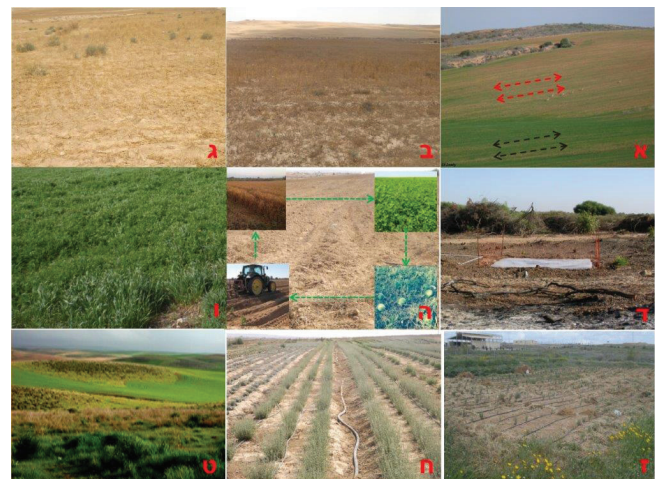
כרב (fallow) הוא שדה שנוצל למטרה חקלאית ולאחר מכן נותר שרוי במנוחה. בכרב אין מגדלים גידולים חקלאיים, ומנסים להשביח אותו על ידי עיבוד תומך כגון חריש או על ידי הובר (Roose and Barthes, 2001). במקורות היהודיים (ראו לדוגמה הורביץ, 1956) נזכרים ארבעה סוגי כרב עיקריים: (1) כרב נח – שדה שאין עושים בו כל פעולה אחרי הפסקת הגידול; (2) כרב נע – שדה הנחרש לשם השמדת הצומח העשבוני, ושהשאריות הצמחיות שלו נותרות בשטח; (3) כרב שחור – שדה הנחרש, והשאריות הצמחיות מוצאות ממנו ו- (4) כרב תפוס – שדה הנזרע בצמחייה עשבונית ומנוצל למרעה. בספרות המדעית נחקרה שיטת הכרב בכמה אזורים בעולם, ונמצא שכלל ששנות הכרב רבות יותר, כן עולה פוריות הקרקע עד הגיעה לשינוי משקל אקולוגי (Ehui et al., 1990; Roose and Barthes, 2001). הסיבה לכך נעוצה בהשארת החומר הצמחי וגם בפעילות המיקרואורגניזמים החיים בקרקע, שמואצת עקב אי-השימוש בריסוסים, בדשנים ובחריש, שהם ממאפייני העיבוד החקלאי המודרני. דרך השבחה נוספת מבוססת על השארת שאריות הגידול אחרי הקציר עד לזריעה של היבול הבא. נמצא ששאריות הצומח שנותרות בשטח לאחר הקציר תורמות להעלאת רמתם של החומר האורגני והומרי ההזנה בקרקע (Bakht et al., 2009) ולהפחתת של סחף אלוביאלי (Alberts and Neibling, 1984) ואיאוילי (Michels et al., 1995) עד בלימתם המוחלטת.

#### 4.3 חיטוי סולרי (איור 4ד')

החיטוי הסולרי (soil solarisation) הוא עיבוד קרקע חלופי לשיטה שהייתה מקובלת בעבר להשמדת עשבים רעים ומחוללי מחלות – פליחה עמוקה וריסוסים כימיים – והוא מייצר את השימוש בפעולות

החומרים האלה ביטלו באורח חלקי את הצורך בפליחה, שאחת ממטרותיה העיקריות היא השמדת מזיקים שונים (Triplet and Dick, 2008). דחיפה נוספת ליישום אופן עיבוד זה נתנו סופות הרוח העזות שהתרחשו בצפון ארצות הברית ב-1936 וסחף הקרקע שנלווה להן, שקושרו על ידי חוקרים לעיבודי הפליחה האינטנסיביים שהיו נהוגים עד אז בשטחים החקלאיים (Hobbs et al., 2008), אולם יישום נרחב של שיטות עיבוד הקרקע החלופיות החל רק ב-1980 בארצות הברית, כתוצאה מהצטברות נתונים ממחקרים רחבי היקף וארוכי טווח על הרסניותם של עיבודי הפליחה המקובלים, ומשם התפשט לכל העולם (Triplet and Dick, 2008).

היתרון הגדול של פליחה ממוכנת עבור החקלאי הוא בקיומה של תכנית עבודה סדורה, המשלבת אמצעי עיבוד מקובלים עם פעולות עיבוד מוגדרות, שמואמות למגוון רחב הן של קרקעות והן של תנאי סביבה. נוסף על כך, בסוף כל שלב הדרוש להכשרת השדה לגידול חקלאי מתקבלת תוצאה צפויה. בניגוד לעיבוד החקלאי הממוכן העיבוד המשמר בנוי מאוסף שיטות, שרק שילוב ייחודי שלהן, מותאם לגידול המסוים ולתנאי השטח הייחודיים, יוכל להיות תחליף ראוי לעיבוד המקובל.



איור 4: עיבודי קרקע משמרים בשטחים מדבריים

- פליחה באזור גבעתי. החצים השחורים מציינים חריש משמר במקביל לקווי הגובה של הגבעה. החצים האדומים מציינים חריש המגביר את סחף הקרקע במאונך לקווי הגובה של הגבעה
- כרב נע. שדה בהוברת במשך שנתיים, לאחר גידול חיטת בעל ולפני גידול אספסת שלחין, חוות ואדי עתיר, יוני 2015
- השארת שלפי הגידול הקודם להזנת הקרקע ומניעת סחיפתה, שטח חיטת בעל, מזרח חורה, יוני 2015
- חיטוי סולרי להשמדת זרעי שיטה מכחילה, צפון-מערב הנגב, 2014
- מחזור גידולי בעל תלת-שנתי המקובל במקווה ישראל. אבטיחים, חיטה, אספסת או גידולים אחרים ממשפחת הקטניות בעלי חיידקי ריזוביום מקבועי חנקן בשורשיהם, ופליחה לעומק 20 ס"מ
- שילוב גידולי תלתן ואספסת באזור רמות מנשה, פברואר 2016
- שימוש בשלפים לייצוב שדות חקלאיים, חוות ואדי עתיר, מרץ 2016
- שילוב גידולים בשורות להפחתת סחף קרקע, חוות ואדי עתיר, יוני 2015
- "איים של פוריות" טבעיים לאספקת שירותי מערכת לשדות חיטה המקיפים אותם, 2014

(צילום: עמיר מור-מוסרי, פועה בר [קוטיאל] ויהודה חכים)

#### 4.1 חריש משמר (איור 4א')

העיבוד הממוכן נמצא בשימוש עשיר שנים, ולכן מרבית ההשפעות שיש לפליחה ולעיבוד על הקרקע כבר ידועות. עם זאת בשנים האחרונות

שורות (row cropping) הוא גידולים שונים שתולים או זרועים בערוגות צמודות; (3) ממשק שילוב גידולים (mixed cropping) או (companion planting) הוא גידולים שונים שתולים או זרועים יחדיו; (4) ממשק גידולים משולב (relay intercropping) הוא עיבוד ייחודי, המורכב מגידול ראשון שנזרע או שנשתל וגדל עד לשלב מסוים, ואז מצורף אליו – בשתילה או בזריעה – הגידול השני. כשהגידול הראשון מגיע להנבה, הוא נאסף, ולאחר שהגידול השני מגיע להנבה, נאסף גם הוא. בהתאמת הגידולים לממשק המשולב יש להקפיד ששתילת הגידול השני לא תפגע בהתפתחות הגידול הראשון ולהפך. נוסף על כך נדרש להתאים את הדישון, את ההשקיה ואת כוח האדם הדרושים לכל אחד משני הגידולים הנפרדים (Ouma and Jeruto, 2010).

המדד להצלחה של עיבודי שילוב הגידולים השונים הוא ה-*LER* (Land Equivalent Ratio). המדד משווה בין היבול לדונם של עיבודי שילוב הגידולים לבין גידול כל יבול בנפרד, ובכך מאפשר להעריך את הרווח הצפוי. השוונות הגבוהה של ערכי ה-*LER* נעוצה בסוגי הגידולים, בזמני שתילתם ובעיבוד תוך כדי הגידול, מכאן שיש שילובים הכרוכים בהפסד כלכלי בהשוואה לגידול כל מין בנפרד או במחזור גידולים.

בחקלאות האורגנית מקובלת שיטה נוספת, שבה נלווית לגידול החקלאי שתילה או זריעה של גידול בעל יכולת להרחיק מזיקים כבעלי חיים ועשבים רעים ולמשוך מאביקים (Parolin et al., 2012). בחלק מהאזורים הצחיחים נהוג להשתמש בשילובי גידולים של תלתן ואספסת. עם זאת יש עיבודים של שילובי גידולים שההלכה אסרה משום כלאיים (אדרי, 2015). מלבד הסתמכות על הנימוק הדתי נקבעים הגידולים גם מתוך התחשבות בשימור הקרקע, שכן כפי שמצוין בספרות, תיתכן לשילובי גידולים מסוימים השפעה שלילית על פוריות הקרקע ועל מדד הסחיפה שלה (Zougmore et al., 2000).

#### 4.6 כיסוי בשלפים ובנשר צומח (איור 4'ז)

במחקרים רבים התברר שפיזור שלפים (litter) או נשר עצים (tree fall) בשדה חקלאי יכול להעלות את תכולת החומר האורגני, את לחות הקרקע וגם את ריכוז יסודות ההזנה וריכוז החרסית. זאת מכיוון שכתוצאה מפירוק השלף נוצרות תרכובות אורגניות הלוכדות את החרסית (Tisdall and Oades, 1982). התוצאה היא שבהשוואה לקרקע חשופה גוברת עמידות השדה לסחף קרקע, אפילו בעוצמות גשם גבוהות (בן חור וחוב, 2011; Xiang et al., 2014), ולסחף איאולי (Li et al., 2005). נמצא שהגורמים המשפיעים ביותר על יעילות השלפים או הנשר הם הכמות, הנמדדת ביחידות משקל ליחידת שטח או עובי כיסוי, מקור השלפים או הנשר (חלק מהמחקרים התמקדו בצורת העלים שלו) (Xiang et al., 2014) וצורת הפיזור בשטח החקלאי (Díaz-Zorita et al., 2002).

#### 4.7 שימוש בצמחייה לייצוב הקרקע (איור 4'ח)

מחקרים רבים בחנו את השימוש בצמחים לצורך ייצוב קרקע בשדה חקלאי. נמצאו ארבעה מדדים המשפיעים על בחירת הצמח ועל תבנית שתילתו. המדד הראשון הוא מין הצמח. לאזורים מדבריים תינתן עדיפות למינים בעלי עמידות ליובש, תוחלת חיים ארוכה, מערכת

אלה למשך שנים רבות. לא זו בלבד שהוא מקטין בכך את הסכנה לסחף חריש, אלא – כפי שטען ביניבריג' (Bainbridge, 1990) – לטווח הארוך הוא גם מעלה את פעילות המיקרואורגניזמים בקרקע, את התפתחות שורשי הצמחים ואת פוריות הקרקע (ריכוז החומר האורגני והמינרלים), ובכך מגביר את עמידותה לסחיפה.

החיסוי הסולרי פותח על ידי פרופ' יעקב קטן ועמיתים ב-1976 (Katan et al., 1976). עיבוד קרקע זה מתבסס על הרטבה של כל השטח המטופל בעונה החמה ולאחר מכן כיסוי הקרקע ביריעת פוליאיתילן למשך כשלושה עד שישה שבועות. הקרינה הנקלטת דרך היריעה גורמת לחימום המצע לטמפרטורה שנעה סביב 50°C לאורך פרופיל קרקע של כ-20 ס"מ, שבו נמצא עיקר בנק הזרעים (Espinar et al., 2005). החימום משמיד את העשבים הרעים ואת מרבית גורמי המחלות (Katan et al., 1976). מחקרים הראו שהצלחת העיבוד תלויה במצב הקרקע, לדוגמה לחותה (Al-Karaghoul and Al-Johnson et al., 2007), ומאפייני פליחתה (Kayssi, 2001) ובאופי היריעה – עובייה, הרכבה הכימית וצבעה (Stapleton, 2000) ובאופי פריסת היריעה – מידת הצמדתה לקרקע ומאפייני פריסתה המרחבית (Grinstein et al., 1995).

#### 4.4 מחזור גידולים (איור 4'ה)

אחד המאפיינים של החקלאות הממוכנת והאינטנסיבית הוא גידול בודד או חד-גידול (monoculture) על פני שטחים נרחבים ובכמה מחזורים. צורת הגידול הזאת פוגעת בפוריות הקרקע, היא מעודדת גדילה והתבססות של גורמי מחלות וצמחים ומאיצה תהליכי סחף קרקע, בעיקר בשטחים מדבריים (Littleboy et al., 1992). לעומת זאת מחזור של כמה גידולים שונים, הנקרא מחזור זרעים (crop rotation), מאפשר לשמר את פוריות הקרקע ואף להעלותה (Benjamin and Park, 2007). החוקרים הולוגלה וסקוט (Hulugalle and Scott, 2008) חישבו ומצאו שעלויות עיבוד השדה ביישום נכון של מחזור זרעים קטנות בהשוואה לשימוש בחד-גידול. מחזור הגידולים המקובל בנגב לגידולי בעל הוא שילוב של דגנים, המייצרים תרכובות אורגניות בעלות יחס C/N (פחמן-חנקן) גבוה (Gan et al., 2011), עם קטניות בעלות מערכת שורשים רדודה, שבה מאוכלסים חיידקי ריזוביום (*Rhizobium spp. Bacteria*) מקבעי חנקן אטמוספרי (Zahran, 1999) ועם צמחים בעלי שורשים עמוקים, כגון אבטיחים (Chouka and Jabari, 1997). מחקרים הראו שמחזורי זרעים משפיעים באופן שונה על פוריות הקרקע על פי מיני הגידולים וסדר גידולם (Díaz-Zorita et al., 2002). אם כן בתכנון מחזור הגידולים יש להתייחס להשפעתם על הקרקע, להתאמתם לאקלים ולרווח הכלכלי הכללי הצפוי מהם.

#### 4.5 שילוב גידולים (איור 4'ו)

עיבוד שילוב גידולים (inter-cropping) הוא גידול מקביל של לא פחות משני גידולים שונים באותו שטח. ניתן לחלק עיבוד זה לארבעה ממשקים עיקריים: (1) עיבוד שילוב תצורות צומח (multilayer cropping) הוא שילוב גידולים מתצורות צומח שונות, כגון עצי מטע לצד גידולים חד-שנתיים (עונתיים); (2) עיבוד שילוב גידולי

שורשים המשלבת שורשים שיפודיים עם קבוצת שורשים לטרלית וצפופה וחופה רחבה, המספקת נשר איכותי, שבהתרכבו עם הקרקע הוא מונע את סחיפתה (Schenk and Jackson, 2002). המדד השני הוא טופוגרפיית השטח. באזור הררי מומלצת שתילה לאורך קווי הגובה של המדרון (ראו איור 4' ואיור 4' ח), אך יש בספרות גם תיאורים של שתילה במאונך לקווי הגובה של המורד כדי לבלום סחף מדרוני (Clarke and Rendell, 2000). לגומחות טופוגרפיות מסוימות, המאפיינות שטחים בעלי התחרות גבוהה, כגון התמוטטויות קרקע וחשיפת סלע אם, הותאמו – נוסף על תבניות השתילה הכלליות – מיני צמחים על סמך מערכת משוואות, שמסתמכות על תוואי הגומחה ועל מאפייני הצמח (De Baets et al., 2009).

המדד השלישי שמשפיע על בחירת הצמח ועל תבנית שתילתו הוא הגידול החקלאי, צורת גידולו וצפיפותו בשטח. בגידולי שדה מומלץ להשתמש ברצועות צמחים שמייצבים את הקרקע בשורשיהם. מיני צמחים אלו נקראים צמחי כיסוי (vegetative filter strips, buffer) והם נשתלים בינות לשורות הגידול בסכמות מרחביות שונות, תלויות בצפיפות הגידול החקלאי ובצורות שתילתו (Berg and Karter, 1980; Triplett and Dick, 2008; Wilkinson, 1999). שולץ ועמיתים אף מביאים נוסחאות לחישוב של כמות צמחיית הכיסוי ותבנית השתילה שלה בשטח הנתון (Schultz et al., 1995).

המדד האחרון הוא סוג הסחף שמאפיין את השטח החקלאי. הצמחים שהוצגו בשלושת המדדים הקודמים מתאפיינים בעיקר ביכולת להפחית סחף פלוביאלי, הנגרם מתנועת מים על השטח, אך הם מתאימים גם לסחף אלוביאלי, הנגרם מסחף נהרות ומערוצי זרימה (Brooks et al., 2009). מערכת דומה נבנתה כדי לבחון מיני עצים ותבנית שתילתם לצורך הפחתת סחף איאולי בשדות חקלאיים (Cornelis and Gabriels, 2005; Guo et al., 2013).

#### 4.8 שימור וניהול נכון של שטחים טבעיים סמוכים (איור 4'ט)

עד לפני שנים אחדות הייתה התייחסות שלילית לשטחים הטבעיים הסמוכים לשדות חקלאיים או המצויים בתוכם, לכאורה בגלל הנזק שהם גורמים לעיבוד החקלאי (סקוטולסקי, 2009), ולכן המדיניות התמקדה בצמצום בדרכים שונות כהדברת הצומח הטבעי. מחקרים מקיפים שנערכו לאחרונה מצביעים על חשיבותם של השטחים הטבעיים הללו ועל תרומתם להצלחת הגידול החקלאי על ידי אספקת שירותים אקולוגיים (ecosystem services) (Zhang et al., 2007) שונים: האבקה (Morandin and Winston, 2006); אספקת שלפים (Zhang et al., 2007); מקום מחיה לטורפים כמו המושיית (*Coccinella septempunctata*), הניזונים מהמזיקים ומבצעים בכך הדברה ביולוגית ומאפשרים מקום מחיה לבעלי חיים שהם מעין מהנדסי סביבה, כמו נמלים ותולעי קרקע, שיש להם השפעה גם על אוורור הקרקע החקלאית, על פוריותה (Amador and Gorres, 2007) ועל מניעת סחף (Cammeraat et al., 2002). המחקרים מצביעים על החשיבות שבשימור מגוון המינים בשטחים חצי-טבעיים אלו (Hillel and Rosenzweig, 2005), והם אף ממליצים לשלב פעולות ניהול כשימור השטחים על ידי נטיעת עצים ושיחים ממינים מקומיים (סקוטולסקי, 2009; Tschardt et al., 2005). זאנג ועמיתים

#### 5. עיבודים משמרים בשטחים מדבריים ברחבי העולם

בספרות המדעית יש סקירות אחדות, המתייחסות להשפעות האקולוגיות והחקלאיות השונות של העיבודים המשמרים בעולם, בעיקר על אזורים מדבריים. העיבודים האלה משפיעים על היבול, על פוריות הקרקע החקלאית והרכבה, על מידת סחיפתה ולכן גם על עובי אופקיה השונים (Holland, 2004; Hobbs et al., 2008), ומכאן שגם על הפחתת אפקט החממה (Lal, 1997). במרבית הגידולים שנסקרו נמצא שהעיבודים המשמרים תרמו להפחתת הסחף במידה כזו, שהכמות שלו תאמה את קצב יצירת הקרקע על ידי בליית סלע האם וגם את בניית אופקי הקרקע באופן שמאפשר את המשך העיבוד החקלאי (Triplett and Dick, 2008). לצורך השוואה, בשיטות העיבוד הממוכן מגיעה כמות הסחף לפי שניים עד פי שלושה ביחס לקצב יצירת הקרקע.

מחקר השוואתי רב-שנתי שנערך בשנים 1984–2008 באוניברסיטת קנטקי בארצות הברית (University of Kentucky), הציג יישום של עיבודים משמרים בשדות שעד תחילת המחקר גידלו בהם חיטה, תירס וסויה, והם עובדו בעיבוד ממוכן (Herbek et al., 2009). המחקר מדגים את המורכבות של גישת אי-הפליחה ואת השפעתה על היבול. נמצא שבתירס ובסויה הדמיון ביבולים בין שתי שיטות העיבוד ניכר כבר במחזורי הראשונים, אך בחיטה התקבלה תמונה מורכבת. במחזורי הראשונים של החיטה היה ממוצע היבול גדול יותר בשיטה עם הפליחה (הבדל שבין 3% ל-4%), לאחר מכן היה דמיון ביבולים עם פליחה ובלעדיה, ואילו במחזורי האחרונים על אותם שטחים השתנתה המגמה, ובחלק ניכר משטחי המחקר היה ממוצע היבול בשדות חיטה שגודלו בשיטות המשמרות, גבוה במעט. גם בכמות המיקרואורגניזמים המזיקים נצפתה תנודתיות דומה: מספר המזיקים היה קטן יותר בשיטה ללא פליחה בהשוואה לשיטה המקובלת. לקביעת המחברים, בעת פרסום המאמר 70% משטחי החיטה במדינת קנטקי כבר עובדו ללא פליחה.

השינויים שחלו בכמות היבול בשל מעבר מעיבוד קונבנציונלי לעיבוד משמר, כלומר ירידה בכמות היבול במחזורי הגידול הראשונים ולאחריה עלייה, מתוארים במאמרים נוספים העוסקים בגידולים שונים ובאזורים שונים בעולם (Díaz-Zorita et al., 2002). לדעת נולר וברדשו, נוסף לעלייה בכמות היבול נוצר חיסכון במיכון החקלאי, בדלק ובכוח אדם (Knowler and Bradshaw, 2007). נראה, אם כן, שהמגמה המתמדת של התרחבות השטחים החקלאיים המעובדים בעקיבות בצורה משמרת, מקורה הן בסיבות אקולוגיות-סביבתיות והן בסיבות כלכליות. לצד זאת יש להעיר שבספרות מצוינים גידולים אחדים שעדיין לא נמצאו עבורם עיבודים משמרים חלופיים לעיבודים הממוכנים המקובלים (Díaz-Zorita et al., 2002). כמו כן כדאי

בצפון הנגב ומבוססת על עקרונות חקלאות הנגר (runoff farming) על פי (Prinz and Malik, 2002; Roose and Barthes, 2001). על פי המתווה שפותח, הוקמו לימנים בהפרשי גובה של חצי מטר לאורך משטחי הזרימה בשטח חקלאי הסובל מסחף אלוביאלי. בלימנים ניטעו עצים ושיחים שונים כגון שיטים, אלות ושיזפים, המותאמים לתנאי היובש השוררים באזור. השילוב בין שרשרות הלימנים והצמחייה הנטועה מאפשר לייצב את הקרקע באופן מיטבי הן ישירות על ידי שורשי הצמחים האלו (De Baets et al., 2009) והן בעקיפין על ידי הצמחייה העשבונית המתפתחת בסביבתם כתוצאה מתנאי הסביבה שהם יוצרים (Facelli and Temby, 2002). נוסף להקמת הלימנים שולבו שיטות חלופיות להריש, כגון השארת הצמחייה הטבעית והריש מופחת ורדוד לאורך קווי הגובה של הגבעה. השפעתם של כל הגורמים האמורים על העלאת פוריות הסביבה, על ייצוב הקרקע ועל מניעת הסחף ממנה, נבחנת באופן רציף.

### 6.2 תקינה ואכיפה

המידע הקיים בנושא מצב הסחיפתיות של הקרקעות החקלאיות מוגבל מאוד (אשל ואגוזי, 2013; הדס וחובי, 2008). לכן אין מגבשים תקינה מחייבת, ואין מבצעים מעקב אחר יישום של שיטות עיבוד משמרות. משרד החקלאות תומך בחקלאים המעבדים את שדותיהם בשיטות חלופיות לפליחה הממוכנת, וגובה התמיכה נקבע על פי מדדים שונים, לדוגמה עוצמת סחף הקרקע, מליחותה, עובייה, גובה מי התהום, שיפוע המדרון וכיווניות הפליחה (האגף לשימור קרקע וניקוז, 2011). כל אלה משמשים לחישוב מדד סחיפת הקרקע על פי משוואת ה-USLE (Stone and Hilborn, 2000). אולם מדדים חשובים נוספים המשפיעים על סחיפת הקרקע ואף מופיעים במשוואה זאת, כגון סוג הקרקע, האקלים ונוכחות חגורות צומח, אינם נכללים בחישוב התמיכה בחקלאי.

### 6.3 מחקר

הצלחת העיבוד המשמר תלויה בשילוב של עיבודי קרקע חלופיים המותאמים לסוג הגידול המבוקש, לאקלים, לקרקע ולקווי המתאר הייחודיים של כל אזור, אך רק מחקר עקיב ורציף יוכל לעמוד על

להוסיף שהחקרים מדגישים גם את החשיבות שבהתאמת העיבודים המשמרים לגידול המיועד ולתנאי האקלים הייחודיים של השדה החקלאי (Carter, 1994; Holland, 2004). יש בכך כדי להצדיק מחקר נוסף.

## 6. ניהול שטחי החקלאות בנגב

בניסיון כן לשנות את המצב בארץ פעלו הגורמים המוסמכים בשלושה מישורים: עיצוב פני הקרקע והקטנת סחיפתה בשטחים מועדים או פגועים מסחף; תקינה ואכיפה; מחקר. נראה שהם נחלו הצלחה מועטה מהסיבות שיפורטו להלן.

### 6.1 התערבות פיזית לשינוי פני השטח

באזורים מדבריים רבים גרם, כאמור, סחף החריש לחשיפת אופקי הקרקע הנמוכים עד כדי היעלמות השכבה החקלאית הפורייה והיווצרות התחתרויות (איור 5א). אחת הדרכים המאפשרות את המשך הניצול החקלאי של השטח היא כריית קרקע מאזורים אחרים ומילוי השטחים החסרים. כדי להצליח בפעולות שנועדו למנוע את המשך היסחפות הקרקע ולבנות תשתית לחקלאות בת-קיימא, יש צורך בליווי מדעי מתאים ובתיאום עם הרשויות הממונות, בעיקר עם האגף לשימור קרקע וניקוז במשרד החקלאות. מכון דש"א חקר את הנושא לעומקו, ולדבריו יש מקרים רבים שבהם החקלאים בנגב כורים קרקע וממלאים שטחים חסרים באופן לא חוקי וללא ליווי מתאים, ובכך הם גורמים לנזק רב יותר (רמון וחובי, 2009).

בדרך נוספת שבנויה על עקרון שינוי פני הקרקע, משלבים מבני קרקע טופוגרפיים ייעודיים לעצירת הסחף בשדות החקלאיים ולמניעת גלישתו לתוך שטחים בעלי ייעוד שונה. דוגמה לכך הם השיכים (contour trenching) והלימנים (liman) (שהשפעתם החיובית על פוריות הסביבה המקיפה מתוארת באיור 5ב) בהשוואה לשטח בלעדיהן, איור 5א) (ברנד ועמיתים, 2015). יתרונה העיקרי של התערבות פיזית זאת הוא בתוצאותיה המידיות. עם זאת יש לוודא שמבני הקרקע והשטחים סביבם יעובדו בשיטות משמרות לשם ייצובם. דוגמה ייחודית היא שיטה שנבחנת זה כמה שנים באזור ואדי עתיר



איור 5: שיקום שטח חרוש הסובל מסחף על ידי הקמת שרשרת לימנים לאורך משטח הזרימה, ואדי עתיר, פברואר 2016  
א. שטח חרוש סמוך המצוי בהתחלת אינטנסיביות שלא עבר טיפול לעצירתה

ב. השפעת שרשרת לימנים על הפוריות ועל היציבות של קרקע השדות החקלאיים המקיפים אותם. ממצאים ראשוניים מעידים על השפעה גוברת ומתרחבת של הלימנים על פוריות השדות המקיפים. ההשפעה מתבטאת במדדי פוריות שונים כגון בימוסה עשבונית, לחות וחומר אורגני בקרקע, ואדי עתיר, פברואר 2016 (Mor-Musser and Leu, 2012) (צילום: עמיר מור-מוסרי)



## תודות

תודות לפרופ' יעקב קטן על ההדרכה בנושא חיטוי הקרקע הסולרי, הדרכה שלוותה תמיד בחיך; למוטי שומרון ממכון התורה והארץ על הייעוץ בנושאים של שילובי גידולים והלכות כלאיים; ליהודה חכים, אחראי המשק ממקווה ישראל, על הייעוץ המעמיק ועל התמונות בנושא המיכון החקלאי.

המאמר מוקדש לד"ר ארקדי בריוזקין, שהיה עבורי בבחינת אורים ותומים בנושא המכניקה של הכלים החקלאיים והשפעתם על תופעות פיזיקליות וכימיות בקרקע [עמיר מור-מוסרי]

## מקורות

אדרי, י', 2015. איסור כלאיים. זמרת הארץ, הלכות כלאיים, נו-עא. <http://www.hamachon.co.il/UploadFiles/machon/Catalog/kilaim.pdf#page=1>

אלפר, י', 1986. מכונות חקלאיות: עקרונות ושימושים. מסדה. גבעתיים.

אשל, ג', אגוזי, ר', 2013. הקרקע בשטחים המעובדים נשמטת מתחת לרגליים. אקולוגיה וסביבה 4, 134–135.

בן-חור, מ', לאדו, מ', טנאו, ח', לייב, ל', ערב, ע', 2011. מניעת נגר עילי וסחף קרקע באמצעות שימוש ברסק גזם לחיפוי קרקע. אקולוגיה וסביבה 3, 202–209.

ברנד, ד', משה, י', שחק, מ', 2015. שיקום תפקודי של מערכות אקולוגיות ממודברות בצפון הנגב. הוצאת קק"ל. [http://www.kkl.org.il/files/HEBREW\\_FILES/yeurusviva/kkl-echut-hasviva/kkl-north-negev-position-paper.pdf](http://www.kkl.org.il/files/HEBREW_FILES/yeurusviva/kkl-echut-hasviva/kkl-north-negev-position-paper.pdf)

האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, 2011. הודעה לחקלאים בישראל על תמיכה בשימור קרקע פעולות ואמצעים, מיכון, עיבוד משמר, תחזוקת מערכות, תכנון כולל וסקרים. קול קורא 16/11.

האן, 2011. השטחים הפתוחים בישראל: השלכות הרפורמה המוצעת בתכנון. מכון דש"א. תל אביב. [http://www.deshe.org.il/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/OSIReforma.pdf](http://www.deshe.org.il/_Uploads/dbsAttachedFiles/OSIReforma.pdf)

האקדמיה הישראלית למדעים, 2013. דוח מצב המדע בישראל 2013/תשע"ג.

הדס א', טור ציון, י', איזנקוט, א', זיידנברג, ר', 2009. מניעת סחף קרקע: ניתוח עלות מול תועלת. ניר ותלם 13, 17–27. [https://www.researchgate.net/publication/266240053\\_mnyt\\_shp\\_qrq\\_nytwh\\_lwt\\_mwl\\_twt](https://www.researchgate.net/publication/266240053_mnyt_shp_qrq_nytwh_lwt_mwl_twt)

הוועדה לתכנון ולתקצוב, 2014. מערכת ההשכלה הגבוהה בישראל. המועצה להשכלה גבוהה.

הורביץ, ש', 1956. תורת השדה – פרקים בחקלאות כללית, השדה וגורמי פוריותו. הקיבוץ המאוחד. בני ברק.

המצב האמיתי בשטח הנחקר ועל מגמות של הרס או של שיקום. התמיכה הממשלתית במחקר החקלאי עלתה ב-2014 ב-21 מיליון ש"ח בהשוואה ל-2013 (חרותי-סובר, 2014). למרות זאת מספר העוסקים במחקר חקלאי נמצא בירידה מתמדת, ואחד המדדים המייצגים זאת הוא מספר הסטודנטים בתחום: בשנת תש"ע רק 1.5% מכלל הסטודנטים לתואר שני עסקו בתחומי החקלאות (הוועדה לתכנון ותקצוב, המועצה להשכלה גבוהה, 2014). מדד נוסף לירידה האמורה הוא אחוז המסיימים את התואר השלישי, ואינם מוצאים עבודה. נכון ל-2012 עמד ערך זה על 10% לכלל מדעי החקלאות, והוא הגבוה ביותר בין תחומי המחקר שנבדקו (האקדמיה הישראלית למדעים, 2013). תחום חקר הקרקע, עיבודה ושימורה נמצא בתחתית סולם התקצוב. מהשוואה רב-שנתית של פרסומי ה"קול קורא" של משרד החקלאות על ידי המחברים (מפורסמים בעת הוצאתם עד תאריך הגשתם באתר הבית של משרד החקלאות: <http://www.moag.gov.il>) עולה שהיו שנים שהוא אף לא תוקצב כלל בהשוואה ליתר תחומי החקלאות, כגון השבחת גידולים והגנת הצומח.

בעבר, בשל תמיכת המוסדות הממשלתיים, הייתה ישראל חוד החנית בתחום המחקר החקלאי. לחוקרים ממוסדותיה האקדמיים השונים, כדוגמת הפקולטה למיכון חקלאי בטכניון, הפקולטה לחקלאות ברחובות, מחלקות לחקלאות ממכון ויצמן והתחנה לחקר הסחף, יצא שם עולמי, והחוקרים ביצעו את מחקריהם ארוכי-טווח בארץ. נראה שכיום כתוצאה מהיעדר מודעות של המוסדות הממשלתיים, יש ירידה ניכרת במשאבים המוקצים למחקר. בעקבותיה פחת מספר החוקרים בתחום, נסגרו מחלקות במוסדות המחקריים הללו, ואילו מחלקות אחרות נמצאות בסכנת סגירה.<sup>2</sup>

## 7. סיכום

בשנת 1930 כתב פרנקלין רוזוולט: אומה שהורסת את הקרקע שלה, הורסת את עצמה (The nation that destroys its soil destroys itself) (Roosevelet, 1930). כדי למנוע הן את הפגיעה בפוריות השדות החקלאיים והן את סחף הקרקע מתחומיהם כתוצאה מעיבוד לקוי, בעיקר לנוכח התרחבות רצועת המדבריות, הקצנת תנאי האקלים (Grainger, 2013) וסחף הקרקע בשטחים חקלאיים אלו (García-Ruiz, 2010), יש לנקוט פעולה. על קובעי המדיניות ועל נציגיהם במשרד החקלאות להרחיב את הסיוע לחקלאים המעבדים את שדותיהם בשיטות החלופיות, וליצור התייחסות מיוחדת לשטחי לס באזורים מדבריים וחצי מדבריים. בד בבד צריכות הרשויות לתמוך במחקרים יישומיים ארוכי-טווח בנושא עיבודים חלופיים להריש המותאמים לשטחים החקלאיים השונים בארץ, ולהנגיש את תוצאותיהם לחקלאי. נוסף לכל זה, תפקיד העמותות והגופים הציבוריים להעביר את המידע לציבור על מנת שישמש אמצעי לחץ על הרשויות לפעול בהקדם לשיפור המצב, כפי שנעשה בעבר בסוגיות ציבוריות אחרות בנושאי סביבה (סלע-שפי וזרדו, 2015). התקווה היא שפרסום זה יהיה בבחינת נדבך למאמץ הציבורי.

2 מידע זה נאסף משיחות רבות שניהלו הכותבים עם חוקרים במוסדות המחקר השונים.

- Berli, M., Kirby, J. M., Springman, S. M., Schulin, R., 2003. Modelling compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery under various moisture conditions in Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 73 (1), 57–66.
- Blanco-Canqui, H., Lal, R., 2008. Principles of soil conservation and management. Springer Science and Business Media.
- Brooks, A. P., Shellberg, J. G., Knight, J., Spencer, J., 2009. Alluvial gully erosion: an example from the Mitchell fluvial megafan, Queensland, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms* 34 (14), 1951–1969.
- Cammeraat, L. H., Willott, S. J., Compton, S. G., Incoll, L. D., 2002. The effects of ants' nests on the physical, chemical and hydrological properties of a rangeland soil in semi-arid Spain. *Geoderma* 105 (1), 1–20.
- Carter, M. R., 1994. A review of conservation tillage strategies for humid temperate regions. *Soil and Tillage Research* 31 (4), 289–301.
- Catt, J. A., 2001. The agricultural importance of loess. *Earth-Science Reviews* 54 (1), 213–229.
- Chen, J., 2007. Rapid urbanization in China: a real challenge to soil protection and food security. *Catena* 69 (1), 1–15.
- Chouka, A., Jebari, H., 1997. Effect of grafting on watermelon vegetative and root development, production and fruit quality. *Acta Horti*, 492, 85–94.
- Clarke, M. L., Rendell, H. M., 2000. The impact of the farming practice of remodelling hillslope topography on badland morphology and soil erosion processes. *Catena* 40 (2), 229–250.
- Cline, W. R., 2007. Global warming and agriculture: impact estimates by country. Peterson Institute for International Economics. Washington DC.
- Cornelis, W. M., Gabriels, D., 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. *Journal of Arid Environments* 61 (2), 315–332.
- De Baets, S., Poesen, J., Reubens, B., Muys, B., De Baerdemaeker, J., Meersmans, J., 2009. Methodological framework to select plant species for controlling rill and gully erosion: application to a Mediterranean ecosystem. *Earth Surface Processes and Landforms* 34 (10), 1374–1392.
- Derpsch, R., 2003. Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In: Garcia-Torres et al. (Eds.), *Conservation Agriculture*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. pp. 181–190.
- זיידנברג, ר', זהבי, מ', דן, ר', 2006. מפת סיכוני סחיפת קרקעות. משרד החקלאות, האגף לשימור קרקע וניקוז.
- חרותי-סובר, ט', 2014. מי צריך חקלאות בישראל? *TheMarker*. <http://www.themarker.com/news/macro/1.2338979>
- סלע-שפי, ר', זרדז, נ', 2015. למה אנחנו סביבתיים ולמה לא? על הזיקה בין תרבות וזהות לבין פעולה סביבתית – ההקשר הישראלי. *אקולוגיה וסביבה* 6, 33–39.
- סקוטולסקי, א', 2009. מסדרונות אקולוגיים באזורים חקלאיים: עקרונות לתכנון ולמשק חקלאי. לקרן נקודת ח"ן.
- רמון א', בן דוד, א', גל, א', 2009. הכשרות קרקע חקלאית באזורים הרריים: מגמות בעבר והכוונות בעתיד. מכון דש"א. תל אביב.
- Al-Karaghoul, A. A., Al-Kayssi, A. W., 2001. Influence of soil moisture content on soil solarization efficiency. *Renewable Energy* 24 (1), 131–144.
- Alberts, E. E., Neibling, W. H., 1994. Influence of crop residues on water erosion. In: Unger, P. W. (Ed.), *Managing agricultural residues*. Library of Congress Press. pp. 19–44.
- Amador, J. A., Görres, J. H., 2007. Microbiological characterization of the structures built by earthworms and ants in an agricultural field. *Soil Biology and Biochemistry* 39 (8), 2070–2077.
- Arshad, M. A., Coen, G. M., 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7 (1–2), 25–31.
- Bainbridge, D. A., 1990. Soil solarization for restorationists. *Ecological Restoration* 8 (2), 96–98.
- Bakht, J., Shafi, M., Jan, M. T., Shah, Z., 2009. Influence of crop residue management, cropping system and N fertilizer on soil N and C dynamics and sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Soil and Tillage Research* 104 (2), 233–240.
- Bakker, M. M., Govers, G., Kosmas, C., Vanacker, V., Van Oost, K., Rounsevell, M., 2005. Soil erosion as a driver of land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105 (3), 467–481.
- Benjamin, L. R., Park, S. E., 2007. The conductance model of plant growth and competition in monoculture and species mixtures: a review. *Weed Research* 47 (4), 284–298.
- Berg, R. D., Carter, D. L., 1980. Furrow erosion and sediment losses on irrigated cropland. *Journal of Soil and Water Conservation* 35 (6), 267–270.

- Guo, Z., Zobeck, T. M., Zhang, K., Li, F., 2013. Estimating potential wind erosion of agricultural lands in northern China using the revised Wind Erosion Equation and geographic information systems. *Journal of Soil and Water Conservation* 68 (1), 13–21.
- Hall, R. I., Leavitt, P. R., Quinlan, R., Dixit, A. S., Smol, J. P., 1999. Effects of agriculture, urbanization, and climate on water quality in the northern Great Plains. *Limnology and Oceanography* 44 (3), 739–756.
- Hamza, M. A., Anderson, W. K., 2005. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82 (2), 121–145.
- Herbek, J., Murdock, L., Grove, J., Grabau, L., Van Sanford, V., Martin, J., James, J., Call, D., 2009. Comparing no-till and tilled wheat in Kentucky. Department of Plant and Soil Science. University of Kentucky. College of Agriculture. <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/id/id177/id177.pdf>
- Hillel, D., 2003. Introduction to environmental soil physics. Academic Press. London.
- Hillel, D., Rosenzweig, C., 2005. The role of biodiversity in agronomy. *Advances in Agronomy* 88, 1–34.
- Hobbs, P. R., Sayre, K., Gupta, R., 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture: philosophical transactions of the royal society B: Biological Sciences 363 (1491), 543–555.
- Holland, J. M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103 (1), 1–25.
- Hudson, N. W., 1987. The problem of agriculture in the semi-arid regions. *Soil and Water Conservation in Semi-Arid Areas*, FAO soil bulletin 57. [www.fao.org/docrep/t0321e/t0321e-08.htm](http://www.fao.org/docrep/t0321e/t0321e-08.htm)
- Hulugalle, N. R., Scott, F., 2008. A review of the changes in soil quality and profitability accomplished by sowing rotation crops after cotton in Australian Vertosols from 1970 to 2006. *Soil Research* 46 (2), 173–190.
- Jiang-Tao L. I., Zhang, B., 2007. Paddy soil stability and mechanical properties as affected by long-term application of chemical fertilizer and animal manure in subtropical China. *Pedosphere* 17 (5), 568–579.
- Johnson, W. C., Davis, R. F., Mullinix B. G., 2007. An integrated system of summer solarization and fallow tillage for *Cyperus esculentus* and nematode management in the southeastern coastal plain. *Crop Protection* 26 (11), 1660–1666.
- Derpsch, R., 2004. History of crop production, with and without tillage. *Leading Edge*, 3 (1), 150–154.
- Dexter, A. R., 1986. Model experiments on the behavior of roots at the interface between a tilled seed-bed and a compacted sub-soil. *Plant and Soil* 95 (1), 149–161.
- Dexter, A. R., 1997. Physical properties of tilled soils. *Soil and Tillage Research* 43 (1), 41–63.
- Díaz-Zorita, M., Duarte, G. A., Grove, J. H., 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research* 65 (1), 1–18.
- Domier, K. W., Friesen, O. H., Townsend, J. S., 1971. Traction characteristics of two-wheel drive, four-wheel drive and crawler tractors. *Transactions of the ASAE*, 14 (3), 520–522.
- Ehui, S. K., Kang, B. T., Spencer, D. S., 1990. Economic analysis of soil erosion effects in alley cropping, no-till and bush fallow systems in South Western Nigeria. *Agricultural Systems* 34 (4), 349–368.
- Espinar, J. L., Thompson, K., García, L. V., 2005. Timing of seed dispersal generates a bimodal seed bank depth distribution. *American Journal of Botany* 92 (10), 1759–1763.
- FAO (2014). Save and grow. Retrieved from [www.fao.org/3/a-i3940e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i3940e.pdf)
- Facelli, J. M., Temby, A. M., 2002. Multiple effects of shrubs on annual plant communities in arid lands of South Australia. *Austral Ecology* 27 (4), 422–432.
- Gan Y. T., Liang, B. C., Liu, L. P., Wang, X. Y., McDonald, C. L., 2011. C:N ratios and carbon distribution profile across rooting zones in oilseed and pulse crops. *Crop and Pasture Science* 62 (6), 496–503.
- García-Ruiz, J. M., 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena* 81 (1), 1–11.
- GRACE Communications Foundation (GCF). [www.sustainabletable.org](http://www.sustainabletable.org)
- Goldreich, Y., 2003. The climate of Israel: observation, research and applications. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Grainger, A., 2013. The threatening desert: controlling desertification. Routledge. New York.
- Grinstein, A., Kritzman, G., Hetzroni, A., Gamliel, A., Mor, M., Katan, J., 1995. The border effect of soil solarization. *Crop Protection* 14 (4), 315–320.

- Morandin, L. A., Winston, M. L., 2006. Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116 (3), 289–292.
- Ouma, G., Jeruto, P., 2010. Sustainable horticultural crop production through intercropping – the case of fruits and vegetable crops: a review. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1 (5), 1098–1105.
- Pagliai, M., Vignozzi, N., Pellegrini, S., 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research* 79 (2), 131–143.
- Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun, R., Bout, A., Boll, R., Poncet, C., 2012. Secondary plants used in biological control: a review. *International Journal of Pest Management* 58 (2), 91–100.
- Pilgrim, D. H., Chapman, T. G., Doran, D. G., 1988. Problems of rainfall-runoff modelling in arid and semiarid regions. *Hydrological Sciences Journal* 33 (4), 379–400.
- Poesen, J. W., Vandaele, K., Van Wesemael, B., 1996. Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences* 236, 251–266.
- Ponting, C., 1991. *A new green history of the world*. Sinclair-Stevenson Press. London.
- Prinz, D., Malik, A. H., 2002. *Runoff farming*. Institute of Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering, Department of Rural Engineering, University of Karlsruhe Press, D-76128 Karlsruhe, Germany. [https://agrilinks.org/sites/default/files/resource/files/runoff\\_farming%20manual.pdf](https://agrilinks.org/sites/default/files/resource/files/runoff_farming%20manual.pdf)
- Ravi, S., Breshears, D. D., Huxman, T. E., D'Odorico, P., 2010. Land degradation in drylands: interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116 (3), 236–245.
- Roose, E., Barthes, B., 2001. Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa: a contribution from Francophone research. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61, 159–170.
- Roosevelet, F. D., 1937. Letter to all State Governors on a Uniform Soil Conservation Law, February 26, 1937. <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=15373>
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H., Grinstein, A., 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-born pathogens. *Phytopathology* 66, 683–688.
- Knowler, D., Bradshaw, B., 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: a review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32 (1), 25–48.
- Lal, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil and Tillage Research* 43 (1), 81–107.
- Llasat, M. C., 2001. An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International Journal of Climatology*, 21 (11), 1385–1400.
- Le Houérou, H. N., 1996. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments* 34 (2), 133–185.
- Levy, G. J., Eisenberg, H., Shainberg, I., 1993. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Science* 155 (1), 15–22.
- Li, F. R., Kang, L. F., Zhang, H., Zhao, L. Y., Shirato, Y., Taniyama, I., 2005. Changes in intensity of wind erosion at different stages of degradation development in grasslands of Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments* 62 (4), 567–585.
- Littleboy, M., Silburn, D. M., Freebairn, D. M., Woodruff, D. R., Hammer, G. L., Leslie, J. K., 1992. Impact of soil erosion on production in cropping systems, I. Development and validation of a simulation model. *Soil Research* 30 (5), 757–774.
- Mannering, J. V., Fenster, C. R., 1983. What is conservation tillage? *Journal of Soil and Water Conservation* 38 (3), 140–143.
- Mazoyer, M., Roudart, L., 2006. *A history of world agriculture. From the Neolithic age to the current crisis*. Mcmbrez, J. H. (translator). NYU Press. New York.
- Merritt, W. S., Letcher, R. A., Jakeman, A. J., 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software* 18 (8), 761–799.
- Michels, K., Sivakumar, M. V. K., Allison, B. E., 1995. Wind erosion control using crop residue, I. Effects on soil flux and soil properties. *Field Crops Research* 40 (2), 101–110.
- Mor-Mussery, A., Leu, S., 2012. *Project Wadi Attir soil enhancement program (research report)*. Private publication. Israel.

- Xiang L., Jianzhi, N., Baoyuan, X., 2014. The effect of leaf litter cover on surface runoff and soil erosion in northern China. Plos One 9 (9), 1–15.
- Zahran, H. H., 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. Microbiology and Molecular Biology Reviews 63 (4), 968–989.
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., Swinton, S. M., 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological Economics 64 (2), 253–260.
- Zougmore, R., Kambou, F. N., Ouattara, K., Guillobez, S., 2000. Sorghum-cowpea intercropping: an effective technique against runoff and soil erosion in the Sahel (Saria, Burkina Faso). Arid Soil Research and Rehabilitation 14 (4), 329–342.
- Schäffer, B., Attinger, W., Schulin, R., 2007. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery: soil physical and mechanical aspects. Soil and Tillage Research 93 (1), 28–43.
- Schenk, H. J., Jackson, R. B., 2002. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above ground allometries of plants in water-limited ecosystems. Journal of Ecology 90 (3), 480–494.
- Schultz, R. C., Collettil, J. P., Isenhardt, T. M., Simpkins, W. W., Mize, C. W., Thompson, M. L., 1995. Design and placement of a multi-species riparian buffer strip system. Agroforestry Systems 29 (3), 201–226.
- Stapleton, J. J., 2000. Soil solarization in various agricultural production systems. Crop Protection 19 (8), 837–841.
- Starkey, P., 2000. The history of working animals in Africa. In: Blench, R. M., MacDonald, K. C. (Eds.), The origins and development of African livestock: archaeology, genetics, linguistics and ethnography. pp. 478–502. <http://www.animaltraction.com/StarkeyPapers/Starkey-HistoryAnimalTractioninAfrica-97-draft.pdf>
- Stone, R. P., Hilborn, D., 2000. Universal Soil Loss Equation, USLE. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Press. Canada.
- Tebrügge, F., Düring, R. A., 1999. Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. Soil and Tillage Research 53 (1), 15–28.
- Tisdall, J. M., Oades, J., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33 (2), 141–163.
- Triplett, G. B., Dick, W. A., 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! Agronomy Journal 100, 153–165.
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Krueß, A., Steffan-Dewenter I., Thies C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. Ecology Letters 8 (8), 857–874.
- Van Oost, K., Govers, G., De Alba, S., Quine T. A., 2006. Tillage erosion: a review of controlling factors and implications for soil quality. Progress in Physical Geography 30 (4), 443–466.
- Wolfgang, L., Sanderson, W. C., Scherbov, S., 2004. The end of world population growth in the 21<sup>st</sup> century. New challenges for human capital formation and sustainable development. Routledge. London.
- Woodruff, N. P., Siddoway, F. H., 1965. A wind erosion equation. Soil Science Society of America Journal 29 (5), 602–608.

### נספח: העיבוד החקלאי בראי ההיסטוריה ובימינו



**איור 6:** דוגמאות לאמצעי הפליחה ועיבוד הקרקע העיקריים המשמשים חקלאים בארץ ובעולם (צילום: עמיר מור-מוסרי ויהודה חכים, מקווה ישראל, יוני 2015)

#### פליחה ראשונית

- מחרשה בעלת יחידות פליחה מסוג מגרופית
  - מחרשה בעלת יחידות פליחה מסוג משתת
- #### פליחה להתאמת הקרקע כמצע גידול
- מחרשה בעלת יחידות פליחה מסוג דיסק
  - משדדה בעלת יחידות פליחה מסוג כף אווז ומסוג סיכות 15 ס"מ
  - מתחחת בעלת רטור מניע לתיחוח הערוגות
  - ארגז מיישר ליישור הקרקע
  - מעגלת משוננת לקרקע בעלת אחוז חרסית גבוה (קרקע כבדה)
  - מגרת לבניית ערוגות בעלת יחידות פליחה לקלטור הערוגות

#### עיבודים מכניים נוספים

- מזרעה המשלבת יחידה לחירוף הקרקע ולקלטור עדין

לעיבוד החקלאי יש כאמור השפעות שונות על הקרקע. יש לציין שנוסף למובא לעיל, המבנה המרחבי של יחידות העיבוד עצמן והשימוש השונה שעושים בהן משפיעים השפעה משתנה על המאפיינים הפיזיקליים של הקרקע ועל רגישותה לסחף. משום כך אפשר לקבל בשדה אותה תוצאה, אולם באמצעות שימוש בכלי עיבוד שונים ובהשפעה שונה על

### 8.3 העיבוד החקלאי הממוכן בארץ

מרבית העיבוד החקלאי בעולם ובארץ נעשה בצורה ממוכנת (Mazoyer and Roudart, 2006), אולם הוא גם העיבוד בעל ההשפעה המזיקה ביותר מבחינה סביבתית (Schäffer et al., 2007). לכן יפורטו כאן סוגיו השונים והשפעותיו על הקרקע ועל הסביבה. ניתן לחלק את סוגי העיבוד הממוכן על פי הפעולות הנדרשות משלב הכשרת השטח עד לאסיף היבול: פליחה ראשונית, פליחה להתאמת הקרקע כמצע לגידול (זריעה או שתילה), טיפולים במהלך הגידול ואיסוף היבול (אלפר, 1986).

#### 8.3.1 פליחה ראשונית

הפליחה הראשונית, שהייתה בעבר בשימוש נרחב, נעשית לעומק חצי מטר עד מטר. במקרים שאינם שכיחים, כמו הכנת שטח לנטיעת עצים, הפליחה עמוקה יותר. מטרתה לייבש את שכבת הקרקע העליונה, ובאמצעות החשיפה לשמש לפגוע במחוללי מחלות שונים כגון נמטודות ומיקרואורגניזמים ולחשוף שורשים וזרעים של עשבים רעים (וולף ומנור, 1986). הפליחה הראשונית נועדה גם לשבור רגבים ולפורר קרקע מהודקת, ובכך להקל על חדירת שורשי הגידול החקלאי לקרקע ולהגביר את חדירת המים (Dexter, 1986). את הפליחה מבצעת מחרשה המשלבת יחידות פליחה מסוג מגרופית (reversible plough) (איור 6א) או מחרשה בעלת יחידת פליחה מסוג משתת (sub-soil plough) (איור 6ב). הירידה לעומק הקרקע וההתנגדות הגדולה של הקרקע תובעות השקעת אנרגיה רבה, הכרוכה בשחיקה מהירה של כלי הפליחה. מסיבה זו היה נהוג בעבר לבצעה פעם אחת בלבד במחזור של שלוש עד ארבע שנים בקרקעות כבדות, כלומר קרקעות שמקטע החרסית בהן גדול מ-22% (וולף ומנור, 1986). לעומתן בקרקעות הקלות, שהחול בהן עולה על 89% (אלפר, 1986), אין התגבשות רגבים, ולכן גם לא היה צורך בעיבוד מסוג זה. לכלים החקלאיים הנדרשים לפליחה זאת ישנה השפעה פיזיקלית בולטת על הקרקע הן מתנועתם על פניה והן ממאפייני הפליחה.

#### 8.3.2 פליחה שניונית להתאמת הקרקע כמצע גידול

פליחה שנועדה להכשיר את הקרקע כמצע גידול מורכבת בדרך כלל משלושה שלבים עוקבים, שמטרתם פירור משני של שברי הרגבים והתאמה מרחבית של מצע הקרקע: בגידולים כגון חיטה ואספסת יוכשר כל השטח, ואילו בגידולים כגון ירקות, כותנה ותות יוכשר השטח בתבנית ערוגות. הפליחה רגישה ונדרש דיוק להפעלתה, לכן הותאמו לה יחידות פליחה שונות, שמוותמות גם למרקם הקרקע ולקיבול השדה (Hillel, 2003), שהוא מצב רטיבות הקרקע בהשוואה לכושרה לשאת מים בטרם ייחללו. בקרקע יבשה הרטיבות נמוכה מערך קיבול השדה, ואילו בקרקע רטובה הרטיבות עולה עליו, וקיבול השדה בקרקעות הכבדות נע בתחום שבין 20% ל-30% לחות משקלית (אלפר, 1986). בהתחשב בנתונים אלה, בקרקעות הכבדות-יבשות פליחה שנועדה לפורר רגבים מבוצעת במחרשה בעלת יחידות פליחה מסוג דיסק לעומק 10–20 ס"מ (disk plough) (איור 6ג) או בקלטרת (cultivator), המבוססת על יחידת פליחה מסוג אזמל לעומק 15–20 ס"מ. בקרקעות

הקרקע ועל מידת סחיפותה (Mazoyer and Roudart, 2006). בקרב הציבור הרחב חסר ידע בנושא העיבודים החקלאיים המקובלים. מסיבה זו הוא אינו ער דיו למשמעויות האקולוגיות של עיור מופרז ושל שינוי ייעוד של קרקעות חקלאיות בייחוד בשטחים מדבריים, ולכן שהנוק שהם מחוללים גדול לעיתים יותר מעיבוד חקלאי לקוי (האן, 2001; Chen, 2007; Hall et al., 1999). מסיבה זו תובא להלן סקירה מתומצתת של היסטוריית העיבוד החקלאי ובייחוד העיבוד החקלאי המכני בארץ. בסקירה חולקו אופני עיבוד הקרקע לשלוש תקופות עיקריות: (1) העיבוד החקלאי הידני והעיבוד המלווה בכוח בהמה, (2) העיבוד החקלאי הממוכן ו- (3) העיבוד החקלאי המשמר או עיבוד ללא פליחה (no-tillage management).

#### 8.1 העיבוד החקלאי הידני והמלווה בכוח בהמה

בד בבד עם התפתחות החקלאות הקדומה החל העיבוד החקלאי הידני (על פי מדרש רבה לבראשית ה כח, נח המציא את כלי הפליחה הראשון), ועד ל-6000 לפנה"ס לערך השתמש האדם בכלי עידור ועיבוד ידניים. בשל המאמץ הפיזי הרב שנדרש לכך בוצעה הפליחה רק לעומק של כ-20 ס"מ (Espinar et al., 2005), עומק בית השורשים של מרבית הגידולים החקלאיים, והיא נעשתה בשטחים מצומצמים בעלי לחות קרקע גבוהה, שמאפשרת פליחה קלה (Mazoyer and Roudart, 2006).

על פי המשוער החל העיבוד החקלאי בכוח בעלי חיים ב-6000 לפנה"ס במסופוטמיה. בתקופה זו נעשה שימוש בכלי פליחה המובילים על ידי בהמות (Starkey, 2000), ואילו הניהול החקלאי – עיבודי הקרקע הנלווים לפליחה כגון זריעה, דישון, השקיה, הדברת מזיקים ועשבייה מזיקה ואיסוף התוצרת – נעשה באופן ידני. בשל התלות של עיבוד זה בכוח הבהמות ובכוח האדם נדרש זמן רב לעיבוד שטח נתון, הפליחה הייתה רדודה, והשטחים המעובדים היו קטנים. מעדויות היסטוריות עולה שהשטח החקלאי של כפר ממוצע היה שניים עד שלושה דונמים (Mazoyer and Roudart, 2006), ובשנה היה מחזור גידול אחד בלבד (Derpsch, 2004). גם בימינו יש אזורים בעולם שהאוכלוסייה המקומית בהם עדיין ממשיכה לעבד את השטחים החקלאיים באופן דומה (Lal, 1997).

#### 8.2 העיבוד החקלאי הממוכן

תקופת העיבוד החקלאי הממוכן החלה בשנת 1850 בעקבות המצאתה של טכניקת המינוע בדלק ממקור פוסילי. הכלים החקלאיים המכניים אפשרו פליחה עמוקה מעבר לבית השורשים, ועם יחידות פליחה מתאימות ניתן היה להגיע לעומק הגדול מחצי מטר ולעבד שטחים נרחבים בזמן קצר. גם פעולות הניהול החקלאי הנוספות כזריעה וכדישון, שנעשו בעבר על ידי האדם בצורה ידנית, החלו להתבצע על ידי כלים מכניים ייעודיים (Ponting, 1991). עיבוד קרקע זה הביא להרחבת השטחים החקלאיים ולהגדלת הייצור החקלאי מיחידת שטח, ותרם בכך להאצת גידול האוכלוסייה האנושית (Mazoyer and Roudart, 2006). העיבוד החקלאי הממוכן הוא הבסיס לחקלאות בת ימינו.

### 8.3.3 עיבודים ממוכנים נוספים

לאחר הפליחה נעשים עיבודים מכניים, שתכליתם להתאים את הקרקע כמצע ולהכשירה למהלך הגידול. בין הכלים המשמשים לכך יש מזרעות ומשתלות המשלבות יחידות לפיזור הזרעים, ויחידות פליחה עדינות היוצרות גומות זריעה ומכסות אותן לאחר שהזרע הוטל לתוכן (איור 6ט'). עיבודים נוספים כוללים שימוש במכשור חקלאי להשמדת עשבייה (בשילוב פליחה רדודה או ריסוס), לדישון ולאיסוף היבול.

לכלים החקלאיים הנדרשים לעיבוד זה ישנה השפעה פיזיקלית על הקרקע בעיקר מתנועתם על פניה (וולף ומנור, 1986).

הכבדות-רטובות ובקרקעות הקלות משתמשים במשדדות (harrow) (איור 7ד') בעלות יחידות פליחה למניעת הידבקות הקרקע אליהן, או במתחחות (clod crushers) (איור 6ה'). המתחחות מבוססות על יחידות פליחה מחוברות לגל מניע, שמאפשרות לבצע פעולות נוספות פרט לפליחה, כגון יישור השטח ופיזור אחיד של חומרי הזנה. בשלב השני, שלב הכנת המצע לשתילה, נעשה שימוש בארגז מיישר (ground leveler) (איור 6ו') לקבלת מצע לזריעה, במעגלות (rollers) (איור 6ז') או במערגות (channel former) (איור 6ח'). לכלים החקלאיים הנדרשים לפליחה זאת ישנה השפעה פיזיקלית בולטת על הקרקע הן מתנועתם על פניה והן ממאפייני הפליחה.