



המגוון הביולוגי כשירות מערכת אקולוגי במרחב נחל שקמה



בתמונה: פסיפס חקלאי, נטיעות ושטחים טבעיים באזור קיבוץ דורות (מתוך: רמון וחובריו, 2004).

מוגש כחלק ממחקר חלוץ ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון ובניהול מרחב שקמה

דר' אמיר פרלברג

יוני 2014 • תמוז התשע"ד

1. מהו מגוון ביולוגי?

"מגוון ביולוגי" (Biodiversity) הוא המאסף התוך-מיני, הבין-מיני, המערכתי והנופי – של מכלול היצורים (בעלי חיים, צמחים ויצורים זעירים) החיים ומתפקדים בסביבה, על יחסי-הגומלין ביניהם, ומהווים יחד מערכת תפקודית המכונה "מערכת אקולוגית" (Ecosystem) (ספריאל, 2010).

2. כיצד המגוון הביולוגי משפיע על שירותי המערכת האקולוגית?

המגוון הביולוגי מהווה למעשה את שירות התמיכה הבסיסי – במישרין או בעקיפין – לאספקת כל "שירותי המערכת האקולוגית" (Ecosystem services) האחרים. שירותים אלו הם תועלות החיוניות לאדם, לרווחתו ולפיתוחו. פגיעה במגוון הביולוגי גורמת גם לפגיעה באספקת שירותי המערכת ובתועלות שהאדם מפיק מהן, ולפיכך מזיקה לאדם, מאיימת על רווחתו ואף על קיומו ארוך-הטווח, ואינה מאפשרת לפיתוח להיות בר-קיימא (ספריאל, 2010).

3. המגוון הביולוגי בישראל:

ישראל, למרות שטחה הקטן יחסית, מתייחדת בעושר של מאפיינים גיאוגרפיים, גיאולוגיים, אקלימיים, טופוגרפיים והיסטוריים – שיוצרים בה פסיפס מגוון של בתי גידול שונים. עושר הנופים, בתי הגידול והמערכות האקולוגיות הללו מקיים מגוון ביולוגי עשיר וייחודי בקנה מידה עולמי, בהשוואה למקומות אחרים בעולם בעלי מאפיינים אקלימיים דומים. הגורמים העיקריים לכך הם: (א) מיקום גיאוגרפי – ישראל ממוקמת במפגש בין שלוש יבשות: אפריקה, אסיה ואירופה – ולכן היא מאוכלסת בבעלי חיים ובצמחים שמוצאם מיבשות אלו, נוסף על היותה גם ציר נדידה ראשי לבעלי חיים יבשתיים וימיים בעונות המעבר; (ב) מגוון פיזי – ישראל מאופיינת במפל תנאים חד ובהבדלי רום גדולים היוצרים מגוון טיפוס אקלים על פני מרחב גיאוגרפי צר, נוסף על סוגי מסלע, קרקע ומופעים טופוגרפיים רבים, היוצרים עושר רב של בתי גידול; (ג) היסטוריה אנושית אינטנסיבית ורבת תהפוכות שהשפיעה על האזור ועיצבה את נופיו במשך מאות אלפי שנים (אחירון-פרומקין, 2011).

כך למשל, ניתן למצוא בארץ מינים של צמחים ובעלי חיים אוהבי קור המגיעים מאירופה הקרה וחיים באזור החרמון ופסגות הגליל העליון, ומנגד – מינים אוהבי חום ויובש המגיעים מאפריקה וחיים במדבריות בדרום הארץ, ואף עולים צפונה יותר לאורך בקעת הירדן וחולות מישור החוף. בנוסף, ניתן למצוא בארץ גם בתי גידול בעלי מאפיינים טרופיים – המאופיינים במים מתוקים, בלחות גבוהה ובטמפרטורות גבוהות – בעיקר לאורך בקעת הירדן (אחירון-פרומקין, 2011).

4. המגוון הביולוגי במרחב נחל שקמה:

אזור נחל שקמה הוא חלק ממרחב פתוח גדול, קרוב יחסית למרכז הארץ, שלחצי הפיתוח בו מצומצמים בהשוואה לאלה הקיימים באזור המרכז. הפרשי הגובה הנמוכים ומיעוט תשתיות ובינוי בלב השטח יוצרים תחושה של מרחבים פתוחים, שהולכת ונעלמת עם העלייה צפונה לכיוון מרכז הארץ. מרכיבי הנוף העיקריים במרחב הם רכסי כורכר, בתרונות לס, שטחים חקלאיים גדולים ומגוונים, יערות נטועים ואתרים היסטוריים וארכיאולוגיים רבים (רמון וחובריו, 2004).

האזור מהווה נקודת מפגש בין האקלים היס-תיכוני בצפון לאקלים המדברי בדרום (מוגדר כאזור ספר ים-תיכוני/ערבתי צחיח-למחצה), ובין שפלת ההר במזרח למישור החוף במערב. מסיבה זו, מאופיין המרחב בפסיפס מגוון של בתי גידול ייחודיים. בפרט, חשובים בו דיונות החולות הנודדות, רכסי הכורכר החופיים והפנימיים שנותרו לא מופרים יחסית, ובתרונות הלס – המהווים בתי גידול בסכנה שהולכים ונעלמים בישראל, ובהם שילוב של מינים ים-תיכוניים, מדבריים וחופיים ייחודיים, שחלקם אנדמיים לישראל (רמון וחובריו, 2004; רותם וחובריו, 2013; רוטשילד, 2014).

הרכב המסלע והקרקע נקבע ע"י מחזורי הצפת האזור במי-ים (יצירת סלעי משקע) וחשיפתם מחדש (תהליכי בלייה והיווצרות קרקע): תשתית המסלע מורכבת מסלעי קירטון איאוקנייים (מלפני 55-35 מיליון שנה) הנחשפים במזרח האזור, לאורך גדות הנחלים הגדולים. סלעים אלו נעלמים תחת שכבות פליוקניות (מלפני 5.5-2.5 מיליון שנה), המורכבות מאבני חול ומחלוקים, וגם הן נחשפות רק במזרח האזור לאורך גדות הנחלים הגדולים. שכבות אלו מכוסות בכורכר ובחמרה פליסטוקנייים (מלפני 2.8 מיליון – 12,000 שנה), כאשר שכבת הקרקע העליונה מורכבת מלס ולס חולי מסוף הפלייסטוקן-תחילת ההולוקן בדרום-מזרח האזור, ובחולות נודדים הולוקניים (מלפני 12,000 שנה ועד ימינו) במערב האזור – קרוב לים. לאורך הנחלים הצטבר סחף אלוביום הולוקני שמכסה את השכבות הקדומות יותר. רכסי הכורכר מקבילים זה לזה ולקו החוף – בכיוון כללי צפון-דרום, וביניהם שקעים הנקראים מרזבות. המרזבות מנקזות אליהן את הנגר, ולכן מצטברות בהן קרקעות אלוביאליות חרסיתיות ותוצרי בלייה של הכורכר. משקעים אלו מטשטשים את קווי המתאר של רכסי הכורכר (רמון וחובריו, 2004).

רוב האזור מכוסה בקרקעות חומות בהירות לסיות, הטובות לגידולים חקלאיים בשל היותן 'קרקעות בשלות' בעלות חתך קרקע מוגדר, שאינן סובלות מסחיפה או מסדימנטציה מהירה. קרקעות בשלות נוספות באזור הן: קרקעות חומות כהות גרומוסוליות בעיקר בצפון-מזרח האזור – שמקורן בחומר אב איאולי (סחוף רוח); וקרקעות חומות כהות רזידואליות בעיקר בדרום-מערב האזור – באתרים שבהם שכבת הכיסוי האיאולי של הכורכר דקה מאוד. כל הקרקעות הללו משמשות לגידולי שדה בחקלאות בעל ובהשקיית עזר, ולגידול מטעים וירקות בחקלאות שלחין. בניגוד לקרקעות הבשלות, מצויות באזור גם 'קרקעות לא בשלות', באתרים שבהם סחיפה או הצטברות מהירה של סחף, ולכן אין להן חתך קרקע מוגדר. בין הקרקעות הללו ניתן להגדיר את: לס וקרקעות אלוביות – הנמצאות בתוספת מתמדת של חומר איאולי ואלובי; רגוסולים – קרקע סחופה במדרונות תלולים וסחופים הבונים את אזור הבתרונות; פרה-רנדזינות – קרקע רדודה מעל רכסי הכורכר (רמון וחובריו, 2004).

מבחינה הידרולוגית, המאפיין הבולט ביותר הוא ערוץ נחל שקמה – אחד מהנחלים הגדולים והעתיקים במישור החוף. תחילתו בהרי חברון בגבול רמת דהרייה, ושטח אגן ההיקוות שלו הוא כ- 750 קמ"ר. יובליו העיקריים הם: נחל אדוריים, נחל דורות ונחל חנון. מקורות המים העיקריים שלו הם מי שיטפונות, וישנן גם מספר נביעות באפיקי נחל שקמה, נחל אדוריים, נחל פורה ונחל סד. שיפוע הנחל מתון ובמהלכו פיתולים רחבים, המעידים על היותו נחל קדום, הנתון לפעילות מרובה של נגר עילי ושיטפונות בשל שטחי הניקוז הגדולים, עוצמת המשקעים, אדמת הלס האטימה ומיעוט הצמחייה, שגורמים לסחיפת הקרקע ולהיווצרות

גדות תלולות עם מצוקים נמוכים (בתרונות). הזרימה החזקה וקרקע הלס האטימה מקטינים את חלחול המים אל אקוות מי-התהום, אבל מקילים על אגירת מים בבורות ובסכרים (רמון וחובריו, 2004).

מבחינה בוטנית, ממוקם מרחב נחל שקמה בשולי החבל היס-תיכוני על גבול המדבר, ולפיכך הוא משלב בתוכו חברות צומח ים-תיכוניות, אירנו-טורניות (ערביות), וסהרו-ערביות (מדבריות). תצורת הצומח העיקרית, האופיינית לאזור המעבר, מוגדרת כבת-ספר. הרכב טיפוסי הצומח מושפע מגורמים רבים, וביניהם: מגוון הקרקעות הגדול, החל מקרקעות חוליות וקלות (חמרה) ועד קרקעות חרסיתיות וכבדות, שחלקן שטופות וחסרות גיר (חמרה) וחלקן עשירות בגיר (פרה-רנדזינה); העובי המשתנה של שכבת הקרקע – הקובע את מידת זמינות המים לצומח; הגרדיינטים האקלימיים: צפון-דרום ומזרח-מערב; הקרבה אל הים – הקובעת את רמת הלחות באוויר ואת מידת החשיפה של הצומח לרסס מי-הים; השינויים הטופוגרפיים והמפנים השונים; ולבסוף, גם עוצמת נוכחות האדם וסוג פעילותו בעבר ובהווה: בינוי, סלילת תשתיות, עיבוד חקלאי, נטיעות, רעייה, רמיסה ע"י רכבי שטח, וחדירת מינים זרים. כל אלו חוברים יחדיו ליצירת פסיפס עשיר ומגוון של בתי גידול וטיפוסי צומח במרחב (רמון וחובריו, 2004).

עבור בעלי החיים, קיים משנה חשיבות לכך שמרחב שקמה הוא אזור פתוח גדול ובלתי מקוטע יחסית. בנוסף, תורמת למגוון מיני החי גם העובדה שהמרחב ממוקם בספר היס-תיכוני – אזור מעבר שכמו בצומח, ניתן לראות בו זה לצד זה מינים ים-תיכוניים לצד מינים מדבריים, הנמצאים בקצה גבול התפוצה שלהם, ומחליפים זה את זה בהדרגה, דוגמת: הקרקל בבתי הגידול היובשניים יותר בדרום, וחתול הביצות בבתי הגידול הלחים יותר בצפון; קיפוד החולות בחולות ובקרקעות הקלות במערב, וקיפוד מצוי בקרקעות הכבדות שבמזרח; גירית הדבש – בגבול תפוצתה הצפון-מערבי העולמי, שדגם הפיזור של אוכלוסייתה כתמי ומקוטע, והגירית המצויה – בגבול תפוצתה הדרומי העולמי, שדגם הפיזור שלה בארץ – רציף יחסית. גם האדם משפיע רבות על עיצוב חברות בעלי החיים במרחב: בהתמרת הקרקע ובעיבודה – שגורמים להתרבות מינים פולשים, מתפרצים ומלווי-אדם – שלמדו לנצל את משאבי האדם מחד גיסא; ולאובדן בתי גידול וקיטועם, לצד הדברה וצייד – המצמצמים את אוכלוסיות בעלי החיים הנחשבים כמזיקים, אך פוגעים קשות גם בבעלי חיים אחרים, לדחיקתם ואף להכחדתם – מאידך גיסא. מבין החולייתנים, תועדו בסקר שנערך במרחב שקמה בשנת 2004: 38 מיני יונקים, מהם 14 מינים שנמצאים בסיכון; ו-44 מיני עופות (מהם 28 מינים המקננים באזור), ומהם – 20 מינים שנמצאים בסיכון; ו-31 מיני זוחלים, מהם 8 בסיכון (דולב ופרבולוצקי, 2002; רמון וחובריו, 2004; אלון ופרלמן, 2008).

אין מידע זמין אודות המגוון הביולוגי בקרקע במרחב שקמה של מיקרופאונה (אורגניזמים הקטנים מ-0.2 מ"מ, דוגמת: פטריות, חיידקים, פרוטוזואה ואצות חד-תאיות), מזופאונה (חסרי חוליות בגודל בינוני: 0.2-2.0 מ"מ, דוגמת נמטודות, קרדיות – ticks, אקריות – וקפזנבים – springtails) או מקרופאונה (חסרי חוליות הגדולים מ-2.0 מ"מ, כמו: שלשולים, טרמיטים, זנבזיפאים, חיפושיות, נמלים, פשפשאים, זוטקרבאים, עכבישאים, רב-נדלאים ושווה-רגלאים).

המגוון הביולוגי כשירות מערכת אקולוגי במרחב נחל שקמה

לסיכום, ניתן לומר שהרכב המסלע והקרקות המגוון, יחד עם התהליכים הגיאומורפולוגיים וההידרולוגיים המעצבים את תוואי הנוף, יוצרים פסיפס אקולוגי עשיר, המאפשר את קיומם של בתי גידול רבים ומגוונים לחי ולצומח, כולל תופעות ייחודיות כמו נוף הבתרונות באזור רוחמה, רכסי הכורכר ואזורי החולות – בתי גידול שנמצאים כולם בסכנת היעלמות בארץ, יחד עם מיני הצמחים האנדמיים הגדלים בהם. מגוון זה משפיע גם על אפשרויות הניצול המרובות של הקרקע לשימושים החקלאיים השונים: מטעים, גידולי שדה – פלחה ושלחין, ומרעה (רמון וחובריו, 2004).

5. רלוונטיות של שירות מערכת זה לשאלות החקר – למה חשוב להעמיק בהערכת שירות מערכת זה:

כאמור לעיל, המגוון הביולוגי מהווה את שירות התמיכה הבסיסי לאספקת כל "שירותי המערכת האקולוגית" האחרים, ולפיכך פגיעה במגוון הביולוגי פוגעת גם בתועלות שהאדם מפיק משירותי המערכת, מאיימת על רווחתו וקיומו ארוך-הטווח, וסותרת את העיקרון של פיתוח בר-קיימא (ספריאל, 2010).

באזורים טרופיים וסוב-טרופיים שבהם נהוג עיבוד של הקרקע בשיטות החקלאות המתועשת הקונבנציונאליות – השילוב בין הלחות הגבוהה לטמפרטורה הגבוהה גורם לשינוי רבה של הקרקע, ולכן – להידרדרות במצב המגוון הביולוגי, להידלדלות המהירה מחומרי הזנה ולחשיפתה לסכנת סחיפה, שנים ספורות בלבד אחרי בירוא היער ותחילת עיבוד הקרקע. באזורים הממוזגים, שם תנאי האינטראקציה קרקע-אקלים (pedoclimate) מתקיימים בעוצמה נמוכה יותר, תהליכי הידרדרות מצב המגוון הביולוגי והידלדלות הקרקע אורכים זמן רב יותר, אך גם שם – כעבור כמה עשורים של חריש, קבלת כמות תוצרת דומה לזו שהתקבלה בעבר – מצריכה תוספת משמעותית של אנרגיה, דישון, חומרי הדברה והשקעת כח אדם. מסיבות אלו, עקרונות החקלאות המשמרת – ובראשם ממשק אי-פליחה – מיושמים כיום ביותר ממיליארד דונם של קרקע חקלאית בעולם, כאשר מרביתם בצפון ובדרום אמריקה. בדרום אמריקה, המובילה בתחום זה, אימצו החקלאים את ממשק אי-פליחה בכ-70% מהקרקע החקלאית, ותהליך המעבר לממשק זה הולך וצובר תאוצה בעולם כולו – בעיקר במשקים גדולים המעבדים שטחים נרחבים, ופחות במשקים המעבדים חלקות קטנות (Mostafa & Changbin, 2013; Scopel et al., 2013).

בהתייחס ספציפית לשאלת החקר העוסקת בשיטות עיבוד הקרקע, הרי שהתמרת הקרקע משטח טבעי לחקלאות – משנה במידה משמעותית את המגוון הביולוגי הטבעי, וזה בתורו – משפיע על מידת ההצלחה של תנובת הקרקע. פעולות אגרו-טכניות רבות הנהוגות בחקלאות המודרנית, גרמו במאות האחרונות, וביתר עוצמה – בעשורים האחרונים, לפגיעה קשה בטיב הקרקעות, המתבטאת בין השאר גם באובדן המגוון הביולוגי (Cardoso et al., 2013; Palm et al., 2014; Scopel et al., 2013). לעומת זאת, בשל הפגיעה הקטנה יותר של האדם במרקם הקרקע, חקלאות בת-קיימא/משמרת (Sustainable/Conservation agriculture) עשויה להקטין את תשומות כח האדם והאנרגיה המושקעים בעיבוד הקרקע, ואף לשפר את כמות התוצרת עבור החקלאי בטווח הארוך, ובד"כ – גם באופן מיידי. בנוסף, עשויה לתרום החקלאות המשמרת גם לשיפור באספקתם של שירותים אחרים של המערכת האגרו-

המגוון הביולוגי כשירות מערכת אקולוגי במרחב נחל שקמה

אקולוגית לסביבתה, דוגמת: בקרה וצמצום סחף הקרקע (ע"י ייצוב הקרקע וספיגת אנרגיית המים והרוח), האטת תהליכי שינויי האקלים (ע"י קיבוע פחמן, צמצום פליטת גזי חממה ושיפור האלבדו), ושיפור איכות הקרקע, האוויר והמים (ע"י ייצוב טמפרטורת הקרקע, שימור הלחות ושיפור חדירות הקרקע לחלחול). **במערכת של משוב חוזר, עם השיפור במצבם של שירותי מערכת אלו, משתפר גם מצבו של המגוון הביולוגי ועוצמת פעילותו בקרקע, המתבטאים בעלייה בעושר המינים, במגוון המינים ובכמות החומר האורגני בקרקע.** שיפור זה מעודד לוחמה ביולוגית טבעית במזיקים, במחלות וב-עשבים שוטים, ומייעל את תהליכי המיחזור של חומרי ההזנה שבקרקע (Bartz et al., 2013; Cardoso et al., 2013; Mostafa et al., 2013; & Changbin, 2013; Palm et al., 2014; Scopel et al., 2013).

6. הגדרת זירת השחקנים המשפיעים והמושפעים מאותו שירות מערכת: למשל מרמת המשק החקלאי דרך הרמה האזורית ועד לרמה הארצית.

למעשה, בשל היות המגוון הביולוגי – הבסיס לכל שירותי המערכת האחרים, מושפעים ממצבו כל השחקנים המשתתפים: החקלאי המעבד את הקרקע ומשווק את תוצרתה; האגודה החקלאית התומכת בו; הרועים המקומיים המשתמשים בשדות לרעיית הצאן; המועצות האזוריות ומנהלת מרחב שקמה – המאגדות ברמה האזורית את בעלי העניין השונים; התעשייה המספקת לחקלאי ציוד חקלאי, דשנים, חומרי הדברה, דלק, זרעים ועוד; רשויות ממשלתיות כמו רשות הניקוז והנחלים – האחראית על מזעור נזקי שטפונות מחד, ושמירה על המגוון הביולוגי מאידך, אגף שימור קרקע במשרד החקלאות – האמון על תכניות להקטנת סחף הקרקע, רשות הטבע והגנים, קק"ל, מוסדות התכנון, משרד הבריאות ועוד; וכן צרכני התנובה החקלאית, המושפעים מעלויות הייצור וההפצה המתבטאות במחירי התוצרת מחד, ומשיקולי בריאות הנובעים מממשק הגידולים – מאידך (למשל, צרכני מזון אורגני שיצרנו ממעטים בריסוסים, אך מחירו – גבוה יותר).

7. רמת ההיתכנות של הערכת שירות המערכת, היקף המידע הקיים, ורמת המורכבות של האיסוף:

ביצוע הערכה של מצב המגוון הביולוגי אינו תהליך פשוט (ראה פירוט בסעיפים הבאים). מדדי המגוון הביולוגי הנהוגים כיום בארץ מתבססים בעיקר על כימות עושר מיני צומח וחולייתנים, ולעתים – על מאספי חברות חסרי חוליות יבשתיים או אקוטיים (פרבולוצקי וברג, 2013). כפי שנמצא במחקרים בעולם, מדדים אלו אינם יכולים לשמש כמדד אמין לבחינת השפעת שיטות העיבוד, היות והם מושפעים מכמות רבה מאד של משתנים חיצוניים, שקשה לבדדם מהשפעות שיטות העיבוד (Cardoso et al., 2013).

לפיכך, מקובל כיום בעולם להשתמש במדדי מגוון ביולוגי של מאכלסי הקרקע עצמה. למרבה הצער, הידע הקיים בארץ אודות המגוון הביולוגי בקרקע, לא כל שכן במרחב שקמה – מועט ביותר. ההערכה יכולה להתבצע ע"י בחינת מדדים פיזיקליים, כימיים, ביוכימיים או ביולוגיים – ישירים או עקיפים, אך עלות כל אחד מהם – גבוהה, ומצריכה מחקר מעמיק ויקר. מדדים פיזיקליים, כימיים וביוכימיים דורשים ציוד מעבדתי יקר ומשוכלל, אולם איסוף הנתונים בשטח – פשוט יחסית. לעומת זאת, מדדים ביולוגיים ישירים דורשים רק ציוד מעבדתי פשוט יחסית – ולכן עלות מרכיב זה אינה משמעותית, אך נדרש ידע טקסונומי

המגוון הביולוגי כשירות מערכת אקולוגי במרחב נחל שקמה

של מומחים שלא תמיד קיים בארץ, וגם איסוף הנתונים בשטח – אינו פשוט כלל ועיקר. המסקנה הנובעת מכך היא שקיימת אמנם היתכנות לביצוע הערכה של מצב המגוון הביולוגי במרחב שקמה, אולם יש לקחת בחשבון שהערכה זו תהיה מורכבת ויקרה.

8. השפעת שיטות עיבוד קרקע שונות על המגוון הביולוגי:

בעולם נערכו בעשורים האחרונים מחקרים רבים אודות השפעת שיטות עיבוד הקרקע על המגוון הביולוגי (למאמרי סקירה עדכניים, ראה: Cardoso et al., 2013; Lichtfouse et al., 2010; Palm et al., 2014; Roger-Estrade et al., 2010; Scopel et al., 2013; van Capelle et al., 2012). בארץ, לעומת זאת, נמצא הנושא רק בתחילת דרכו. לא נעשה בארץ (למיטב ידיעתי) כל מחקר כזה, ואין בארץ מומחים העוסקים באופן ספציפי בתחום זה, שבהם ניתן להיוועץ (סקר דלפי). לא כל שכן, תוצאות המחקרים ממקומות רבים ושונים בעולם, מראות כי לא ניתן להסיק מסקנות כלליות ולהכליל מאזור מחקר אחד לאחר, היות והגורמים המשפיעים על המגוון הביולוגי – שונים מאד ממקום למקום, ולכן ההשפעות אינן דומות (Cardoso et al., 2013). לפיכך, לא ניתן ללמוד הרבה ממחקרים שנערכו במקומות אחרים בעולם או בארץ, ויש ללמוד את השפעת שיטות העיבוד במרחב שקמה רק דרך מחקר עצמאי.

מהמחקרים שנערכו בעולם, ידוע ששיטות העיבוד משפיעות על איכות הקרקע, וזו מתבטאת בכמות התוצרת החקלאית מחד, ובמגוון הביולוגי בקרקע – מאידך. **החקלאות המתועשת הקונבנציונאלית**, הכוללת חריש (plowing) ודיסוק (disking) הקרקע, **גורמת לירידה בכמות החומר האורגני ולהאצת תהליכי המינרליזציה שלו, לאובדן מבנה הקרקע והגברת קצב סחיפתה, ולפגיעה במגוון הביולוגי ובעוצמת פעילותו. תהליכים אלו פוגעים בפוריות הקרקע, ודורשים תוספת חיצונית של דישון. במצב של פגיעה חמורה, אפילו תוספת של דשנים כימיים לא תמיד יכולה להחזיר לקרקע את פוריותה** (Cardoso et al., 2013; Scopel et al., 2013). לעומת זאת, **לעיבוד בר-קיימא, המתבסס יותר על שטף חומרי ההזנה הטבעי בין הרמות הטרופיות במארג המזון** (כמו מחזורי הקליטה והפירוק הטבעיים של הפחמן, הזרחן והחנקן – מבלי להוסיף דשן כימי), **ועל תהליכים ביולוגיים טבעיים** (כמו יחסי טורף-נטרף וטפילות המשמשים ללוחמה ביולוגית טבעית במזיקים) (Cardoso et al., 2013), **יש פוטנציאל לשיפור הביומסה המיקרוביאלית, רמת הפעילות שלה ומורכבותה** (Scopel et al., 2014; Sofu et al., 2013), **כמו גם על הרכב חברות חסרי-החוליות השונות, כמו שלשולים (earthworms), תולעים נימיות (nematoda), חלזונות (gastropoda), עכבישאים (araneae) וחיפושיות (coleoptera), ומצאי המכרסמים הקטנים שוכני הקרקע** (Bartz et al., 2013; Scopel et al., 2013).

לשיטת ממשק עיבוד הקרקע ללא-פליחה שלושה עקרונות עיקריים: (1) טיפול מינימאלי בקרקע: אי-פליחה (no-till/no-tillage/zero-tillage) או עיבוד מזערי/מופחת (minimum/reduced tillage), הכולל רק מה שנדרש לזריעה ודישון – על מנת לשפר את

תהליכי ההתגבשות של הקרקע, להאט את קצב המינרליזציה של החומר האורגני, ולאפשר את התפתחות הביטה הקרקעית, המשפרת את חדירות הקרקע לחלחול מים. תהליכים אלו תורמים לייצוב הקרקע ולצמצום סחיפתה ע"י הרוח, הגשם והנגר; (2) שמירה על חיפוי קרקע קבוע בחומר צמחי חי או יבש (dead/live organic mulch), בד"כ של שאריות הגידולים הקודמים – המקטין את השפעת טיפות הגשם והרוח על סחיפת הקרקע, משפר את שימור הלחות בקרקע, מצמצם את צימוח העשבים השוטים, ומספק מחסה ומזון לביטה הקרקעית. ללא השארת חיפוי קרקע מספיק, ממשק אי-הפליחה מאבד חלק משמעותי מיתרונו במניעת סחף-הקרקע; (3) אימוץ מחזור זרעים (crop rotation) – מאפשר ניהול טוב יותר של בקרת מזיקים ו-עשבים שוטים, ניצול מיטבי של משאבי הקרקע, ושיפור מצב המגוון הביולוגי בקרקע, כמו גם חלוקה טובה יותר של שימוש בכח אדם על פני השנה, וגיוון רב יותר של מקורות הכנסה למשק החקלאי; עקרון משני נוסף שמושם לעתים (אך לא בשדות החיטה במרחב שקמה) הוא: (4) שימוש בגידולי 'כיסוי' משניים – לייצור מקסימאלי של ביומסה צמחית, ניצול מיטבי של משאבי השדה, ורב-תפקודיות של הגידולים. גם באזורים שבהם משטר הגשמים אינו מאפשר שני מחזורי גידול חקלאי מסחרי בשנה, נזרע השדה בגידולי 'כיסוי' משניים, בתום עונת הגידול העיקרי או בשילוב איתו – לתוספת ביומסה צמחית, מיחזור מים וחומרי הזנה, ניצול משופר של קרינת השמש, וניצול רב-תפקודי: חקלאי, אקולוגי וכלכלי של משאבי השדה (כמו כיסוי צמחי במשך כל השנה, תוספת דישון לקרקע, סיוע בקיבוע חנקן עבור הגידול העיקרי, תוספת מזון למרעה, למספוא ולצריכת האדם, סיוע בעיצוב או בשיקום מבנה הקרקע, שיפור משטר הלחות בקרקע, סיוע במיחזור חומרי ההזנה והפחתת הצורך בשימוש בחומרי הדברה) (Bartz et al., 2013; Scopel et al., 2013).

כמעט שאין חולק על יתרון החקלאות בת-הקיימא בהגנה על הקרקע מפני סחיפת מים ורוח, שיפור לחלחול המים, הקטנת כמויות הנגר, וצמצום אובדן חומרי ההזנה מהמערכת – על פני המצב בחקלאות הקונבנציונאלית. אך היבטים אחרים כמו מיחזור חומרי הזנה, בקרת אקלים, קיבוע פחמן, ובקרת מזיקים ומחלות – מראים ממצאים סותרים במחקרים שונים, כתלות במיקום הגיאוגרפי, בטופוגרפיה, בממשק העיבוד, בסוג הקרקע ובאקלים. לדוגמא, חלק מהמחקרים מראים שיישום ממשק אי-פליחה מגביר את הצורך בשימוש בקוטלי עשבים, אך מחקרים אחרים מראים שביישום נכון של השיטה – ניתן להימנע מהצורך בתוספת ריסוס, או להשתמש בחומרי הדברה מזיקים פחות. גם כאשר מיושמים חומרי הדברה מזיקים, אי-הפליחה מאפשר ככל הנראה זמן רב יותר לפירוק החומרים בקרקע, וצמצום שטיפתם למי התהום. בה במידה, פוחתת גם כמות קוטלי העשבים במי הנגר, אך השפעת שיטות העיבוד על קוטלי-חרקים – ברורה פחות: אלו שמסיסים במים, כמו חנקה (nitrate = NO₃) מודחים למי התהום (leaching), בדומה לסחיפתם בנגר העילי בשיטות העיבוד הקונבנציונאליות. עם זאת, הידע בתחום השפעת שיטות העיבוד על נוכחות חומרי הדברה בקרקע ובמים – עדיין חלקי ודורש המשך מחקר (Palm et al., 2014; Scopel et al., 2013).

9. הערכה של השירות ברמת מגמות / כימות התופעה (בעזרת גרפים וטבלאות).

9.1. ביואינדיקטורים לבריאות המערכת האגרו-אקולוגית

אי-פליחה, השארת חיפוי קרקע ומחזור זרעים הם ממשקי מפתח לטיפול חומר אורגני בקרקע. החומר האורגני מספק אנרגיה ומצע גידול לפעילות האורגניזמים המעצבים את מבנה הקרקע, ומשפיעים על מחזורי חומרי ההזנה ועל תהליכים רבים נוספים. ההבדלים מתבטאים בשפע, במגוון ובהרכב חברת האורגניזמים, כמו גם בדגמי הפיזור המרחבי שלהם בעמודת הקרקע, ובעוצמת פעילותם. מגוון ביולוגי גבוה תורם בין השאר לשיפור תהליכי הפירוק (decomposition), למיחזור חומרי ההזנה, לערבול הקרקע (bioturbation), ולייצוב גושי הקרקע. עם זאת, בהשוואה לחקלאות הקונבנציונאלית, משפיעים ממשקי חקלאות משמרת בעיקר על שכבת הקרקע העליונה (topsoil), עד לעומק של 5 ס"מ בלבד מפני השטח, ובעומקים גדולים יותר – נעלם ההבדל. בנוסף, לא כל קבוצות האורגניזמים מגיבות באותו אופן לשינוי ממשק העיבוד, אך ככלל – תחת ממשק חקלאות משמרת, עושר המינים, כמות הביומסה והמגוון – גבוהים יותר מאשר בחקלאות הקונבנציונאלית (Palm et al., 2014).

בעוד שאינדיקטורים פיזיקליים (כמו מרקם הקרקע, מידת ההתגבשות, לחות, נקבוביות וצפיפות – ראה טבלה 1) וכימיים (כמו כמויות של פחמן וחנקן, חומר אורגני, מינרלים, חומרי הזנה, חומציות הקרקע, כושר שחלוף קטיונים ואחרים – ראה טבלה 2) – נותנים מדד מדויק יחסית לבריאות הקרקע, חסרונם באיטיות שבה הם מגיבים לשינויים בתנאי הסביבה – טבעיים ואנתרופוגניים כאחד. לעומת זאת, אינדיקטורים ביולוגיים, דוגמת ביומאסה מיקרוביאלית, מגוון ביולוגי, אנזימים בקרקע, 'נשימת קרקע', מזופאונה ומקרופאונה (ראה טבלה 3) – מגיבים מהר יותר לתנאי הסביבה, ולכן יכולים לשמש כסמנים טובים יותר לשינויים, אך קשה יותר לתעד ולכמת אותם בצורה מדויקת. ההנחה היא שקרקע בעלת מגוון ביולוגי גבוה יותר – תהיה יציבה יותר ועמידה יותר להפרעות (resilience), ולכן תשמור על תפקוד טוב יותר לאחר אירועי עקה (Cardoso et al., 2013).

טבלה 1: השפעת ממשקי חקלאות משמרת על מאפיינים פיזיקליים של הקרקע (NT = אי-פליחה; CT = חקלאות קונבנציונאלית; Residue retention = השארת חיפוי קרקע) (מתוך: Palm et al., 2014).

Soil physical properties, processes and ecosystem services	NT compared to CT	Residue retention
Aggregate stability	↑	↑
Bulk density	↑ but small number of studies showing opposite	↓
Total porosity	↓	↑
Macropores	↓ ↑ avg size larger	↑
Mesopores	↑	↑
Micro pores	↑	↑
Hydraulic conductivity	↓ mixed results	↑
Infiltration	↑	↑
Runoff	↓	↓
Evaporation	↓	↓
Plant available water	↑	↑
Erosion	↓	↓

טבלה 2: השפעת ממשקי חקלאות משמרת על מאפיינים כימיים של הקרקע (NT = אי-פליחה; CT = חקלאות קונבנציונאלית; Residue retention = השארת חיפוי קרקע) (מתוך: Palm et al., 2014).

Soil chemical properties, processes and ecosystem services	NT compared to CT	Residue retention
Total nitrogen	↑ follows pattern of soil organic matter	↑
Nitrogen availability (N mineralization)	generally ↓ at least in the short term and often long term	↑ ↓ depends on quality of residues
P, K, Ca, Mg	P ↑ in top soil layer. K ↑ in surface layers, in general. Ca, Mg few differences	K depends on type of crop residue
Cation exchange capacity	no effect	↑ but only in very top layer
pH	more often ↓	↓
Nutrient leaching	??	??

טבלה 3: השפעת ממשקי חקלאות משמרת על מאפיינים ביולוגיים ותהליכים ביולוגיים בקרקע (NT = אי-פליחה; CT = חקלאות קונבנציונאלית; Residue retention = השארת חיפוי קרקע) (מתוך: Palm et al., 2014).

Soil biological properties and processes	NT compared to CT	Residue retention
Soil organic matter in topsoil	↑	↑
Particulate or labile organic matter fractions	↑	↑
Soil microbial biomass	↑	↑
Microbial functional diversity	↑	↑
Fungal populations	↑	↑
Enzymatic activity	↑	↑
Beneficial micro-organisms (fluorescent Pseudomonas; Actinomycetes, some Fusarium strains)	↑	↑
Pathogenic micro-faunal: Take-all Gaeumannomyces; Rhizoctonia, Pythium, and Fusarium root rots	↑	↑
Free-living (beneficial) nematodes	ns	↑
Plant-parasitic nematodes	↓	ns
Earthworms	↑	↑
Arthropod diversity	↑ more so for predators than phytophagous arthropods	↑

הביומאסה המיקרוביאלית בקרקע (אורגניזמים הקטנים מ-0.2 מ"מ), המורכבת מפטריות, חיידקים, פרוטוזואה ואצות – מספקת מקור חשוב ביותר לחומרי הזנה לצמחים. מצב הביומסה, כמו גם מדדי קצב הנשימה המיקרוביאלית, וקצב מטבולי של הפחמן ושל החנקן – משמשים כאינדיקטורים לבריאות הקרקע, אך השימוש בהם צריך להיות זהיר, היות והם מייצגים לא רק את תנאי העקה שבהם שרויים האורגניזמים, אלא גם את תנאי הסביבה השונים. מדדים נוספים מתייחסים לקבוצה הפונקציונאלית של האורגניזמים – הפעילים במחזור הפחמן, החנקן, או הזרחן לדוגמה. גם אינדיקטורים ביוכימיים, כמו אנזימים בקרקע – המעורבים בתהליכים מטבוליים (ויכולים להיות חופשיים בקרקע – exoenzymes, קשורים למעטפת התא, או תוך-תאיים – המשתחררים לקרקע בהתפרקות התא), מגיבים לשינויים באיכות הקרקע, ולכן יכולים לשמש כסמנים טובים. **הבעיה עם סמנים אלו היא שהם מראים שונות גבוהה מאד כתגובה לגורמי אקלים, עונה, מיקום גיאוגרפי ומאפייני קרקע שונים, ולכן יש להיזהר בקביעת התקפות החיצונית של הממצאים לייצוג מקומות אחרים מאלו שנבדקו.** כיום מיושמות גם טכניקות מולקולריות מתקדמות יותר, המאפשרות הערכה כמותית ואיכותית של חברות המיקרואורגניזמים בקרקע. בין טכניקות אלו ניתן למנות את השימוש בסמנים פוספוליפידיים (Phospholipid fatty acid – PLFA), שימוש בשיטות הגברה שונות (PCR) או בעזרת שיבוט וריצוף – לזיהוי טביעת-אצבע גנטית ברמת ה-DNA (Cardoso et al., 2013). הביומאסה המיקרוביאלית נוטה להיות גבוהה יותר כאשר משאירים חיפוי קרקע צמחי, כאשר עיבוד מזערי או אי-פליחה משמשים בתפקיד משני (Palm et al., 2014).

גם חברת חסרי החוליות שוכני הקרקע – אלו השוכנים בה במהלך כל חייהם ואלו שרק בחלק ממחזור החיים, יכולה להוות סמן ביולוגי לאיכות הקרקע. לאורגניזמים אלו תפקיד בתהליכי עיצוב של מערכות אקולוגיות יבשתיות, כמו בפירוק והולכה (אופקית ואנכית) של שיירי חומר צמחי – שהופכים אותם לזמינים יותר עבור המיקרואורגניזמים; ביחסי גומלין ישירים עם חברת המיקרואורגניזמים שוכני הקרקע; בגיבוש חלקיקי קרקע התורם להגברת יציבותה; ובערבול ואורור הקרקע המשפרים את חדירותה לאוויר ולמים – ומאיצים בכך הן את הפעילות המיקרוביאלית, והן את כושר החדירה של שורשי הצמחים לקרקע. **מדדים ביולוגיים הנמצאים בשימוש לזיהוי השפעות טבעיות ואנתרופוגניות על טיב הקרקע הם: המגוון, השפע, הביומסה והצפיפות של חברת חסרי החוליות. אלו מדדים פשוטים, קלים**

זולים יחסית לחלופות הפיזיקליות, הכימיות והביוכימיות שהוזכרו לעיל. עם זאת, יש לזכור כי אורגניזמים אלו מגיבים מהר לא רק לשינויים בדפוסי ממשק ועיבוד הקרקע, אלא גם לעונתיות ושינויים אקלימיים, ולכן דורשים ניטור קפדני של גורמים משפיעים אלו, כדי לנטרל את השפעתם על התוצאות. בנוסף, קיים קושי בהסקת מסקנות ישירות בין ממצאי חברת חסרי החוליות לאיכות הקרקע, בגלל שפע הגורמים הרב המשפיע על הרכב החברה, ולכן מתן פרשנות חד-משמעית לממצאים היא בעייתית, ונדרשת סינתזה ממספר רב של מחקרים כדי להגיע למסקנות ברורות (Cardoso et al., 2013).

הקבוצה שבוצע בה השימוש הרב ביותר כסמנים ביולוגיים לאיכות הקרקע היא קבוצת המזופאונה (חסרי חוליות בגודל בינוני: 0.2-2.0 מ"מ, דוגמת נמטודות, קרדיות – ticks, אקריות - וקפזנבים – springtails), המתגוררים בחללים בקרקע וניזונים מתפטרי הפטריות וחומר אורגני אחר. מחקרים אחרים עשו שימוש במקרופאונה (חסרי חוליות הגדולים מ-2.0 מ"מ, כמו: שלשולים, טרמיטים, זנזיפאים, חיפושיות, נמלים, פשפשאים, זוטקרבאים, עכבישאים, רב-נדלאים ושווה-רגלאים), שגם הם פעילים לעתים בחלק מתפקודי הקרקע. עם זאת, יש להדגיש כי עדיף השימוש בקבוצות פונקציונאליות כסמנים ביולוגיים לאיכות הקרקע, ולא בסמנים כלליים יותר כמו עושר כללי או מגוון של מינים, היות ולעיתים לנוכחות או להיעדר מין מסוים תהייה השפעה מכרעת על טיב הקרקע – בהיעדר מינים אחרים שממלאים את תפקידו במערכת המדורדרת. סמנים כלליים לא יצליחו לתאר בצורה טובה שינויים אלו (Cardoso et al., 2013).

9.2. מספר דוגמאות מהעולם לשימוש בביואינדיקטורים לבחינת ממשקי עיבוד חקלאי יש לציין כי במרבית המחקרים לא מתבצעת הפרדה בין עקרונות החקלאות המשמרת, וכאשר משווים את ממשקי העיבוד השונים, מתייחסים לכל מרכיבי ממשק אי-הפליחה יחד, בהשוואה לממשק עיבוד קונבנציונאלי (Palm et al., 2014).

• **מדדים כימיים:**

באקלים דומה לזה של מרחב שקמה, בתנאי אקלים חצי-יובשניים במקסיקו במטעי אגבה (*Agave angustifolia*), נבחנו כמות הפחמן בביומסה המיקרוביאלית וכמות הפחמן האורגני (המשמשים כמדד לבריאות הקרקע, היות והם קשורים לתהליכים פיזיקליים וכימיים בקרקע כמו קיבוע חנקן, ספיחת מים ויציבות אגרגטים, כמו גם בהשפעה על עוצמת הפעילות המיקרוביאלית בתהליכי פוטוסינתזה מחד ופירוק מאידך), חומציות הקרקע (pH), ושיעור היונים הזמינים של מגנזיום (Mg^{2+}) (מינרל חיוני הפעיל באנזימים רבים ובכלורופיל של יצרנים ראשוניים). **מדדים אלו נמצאו כמייצגים בצורה טובה הבדלים בין ממשקי עיבוד קרקע שונים: דיסוק, רעייה, ומינימום-עיבוד** (Cardoso et al., 2013).

• **מדדים ביולוגיים עקיפים:**

ביומאסה כללית/קבוצות תפקודיות: מדדי כמות הביומאסה הכללית ושל קבוצות האורגניזמים השונות משמשים כמייצגים בקירוב טוב את המגוון הביולוגי המיקרוביאלי

המגוון הביולוגי כשירות מערכת אקולוגי במרחב נחל שקמה

בקרקע, מתוך הנחה שישנו מתאם גבוה בין כמות הביומסה למגוון (ככל שהביומסה גבוהה יותר, כך המגוון הביולוגי יהיה גדול יותר – ולהיפך). באקלים ממוזג, לא נמצא הבדל בביומסה הכללית בין ממשקי העיבוד השונים: קונבנציונאלי, מינימום-עיבוד וללא-עיבוד, אך כאשר נבחנו הביומסה של החיידקים ושל הפטריות בנפרד, נמצא שביומאסת הפטריות הייתה גבוהה יותר בממשקי העיבוד הפחות אינטנסיביים. באקלים טרופי, שם הביומאסה המיקרוביאלית ופעילותה – גבוהים, נמצאה גם בביומסה הכללית כמות גבוהה יותר בממשק קרקע ללא-עיבוד, בהשוואה לעיבוד הקונבנציונאלי (Cardoso et al., 2013).

פעילות אנזימטית: עלייה בשיעור הפעילות האנזימטית בממשקי העיבוד בני-הקיימא, דווחה במחקרים רבים: עלייה בפעילות צלולאז ועמילאז – המייצגים כמויות גבוהות יותר של פחמן אורגני בשכבת הקרקע העליונה; בד בבד עם ירידה בפעילות פוספטאז – המעוכב בשל שימוש מוגבר בדשנים זרחניים; כמו גם עלייה בפעילות דהידרוגנאז בשכבת הקרקע העליונה – שנמצא במתאם שלילי לחומציות הקרקע (pH) ובמתאם חיובי לכמות הפחמן הכללית בקרקע; וכן עלייה בפעילות האנזימטית הכללית (Cardoso et al., 2013).

• מדדי מגוון ביולוגי ישירים:

במחקר שנערך בכרמי זיתים בוגרים בדרום איטליה, שאינם מקבלים תוספת השקיה מלבד מי הגשמים, בוצעה השוואה של השפעת שתי שיטות עיבוד: בת-קיימא וקונבנציונאלית – על הרכב החברה המיקרוביאלית בקרקע, במשך 12 שנות מחקר (השפעות לטווח הזמן הבינוני). בשיטה בת-הקיימא, לא בוצע עיבוד של הקרקע (no-till), בוצע חיפוי של הקרקע (mulch) מגזם עצי הזית, ואופשרה הזרעה עצמית של עשבוניים וקטניות; בשיטה הקונבנציונאלית, בוצע חריש לעתים תכופות והגזם הורחק מהכרם. נמצא שבשיטת העיבוד בת-הקיימא, היה מספר רב יותר של פטריות וחיידקים בקרקע, כמו גם פעילות אנזימטית גבוהה יותר (Sofa et al., 2014).

חשיבות השלשולים בטיוב הקרקע ובשיפור פוריותה, ע"י תרומתם לפירוק החומר האורגני, סיוע בקיבוע פחמן, אוורור הקרקע ושחלוף גזים, שיפור חדירות הקרקע לחלחול מים, סיוע בהתגבשות של חומרי הזנה (נוטריינטים), העברת מינרלים וחומר אורגני בעמודת הקרקע, בקרה ביולוגית מפני מזיקים ומחלות לצמחים, וקידום תהליכי שיקום של קרקע מזוהמת או מדורדרת. במחקר שנערך במדינת Parana בברזיל, נמצא שעושר המינים ושפע הפרטים של שלשולים בשדות ללא עיבוד של הקרקע (במשך 27-3 שנים), הראו שונות רבה, ולא היו שונים באופן מובהק מאלו שנאספו ביערות – ששימשו כביקורת – אם כי הרכב המינים היה שונה במקצת (Bartz et al., 2013). במחקר אחר נמצא שעיבוד מזערי והשארת חיפוי קרקע – שניהם חיוניים על מנת לקיים חברת שלשולים מגוונת יותר, המשפרת את אוורור הקרקע וחדירותה לחלחול מים (Palm et al., 2014).

10. כימות הערך הכלכלי (יושלם בהמשך על ידי צוות הכלכלנים):

מדדים מוצעים לבחינה בעקבות מעבר לאי-פליחה/השארית חיפוי קרקע:

- עלויות ביצוע ניטור פיזיקלי, כימי, ביוכימי וביולוגי.
- עלויות הנובעות משיפור במצב המגוון הביולוגי: תוספת אפשרית נדרשת בחומרי הדברה/דישון? ירידה בתנובת השדה בטווח הקצר? אובדן הכנסה מאי מכירת השלפים.
- תועלות הנובעות משיפור במצב המגוון הביולוגי: הפחתת השימוש בחומרי הדברה/דישון? הפחתת מאמץ העיבוד (כגון: שימוש מופחת בכח אדם, בצידוד, בדלק)? שיפור בתנובת השדה (בטווח הזמן הקצר/בינוני/ארוך)?

11. הגדרת מידת אי-הוודאות:

כעקרון, המחקרים בעולם תמימי דעים לגבי השיפור במצב המגוון הביולוגי במדדים רבים, במעבר מממשק חקלאות מתועשת קונבנציונאלית לממשק אי-פליחה, הכולל גם השארית חיפוי קרקע (Bartz et al., 2013; Cardoso et al., 2013; Mostafa & Changbin, 2013; Palm et al., 2014; Scopel et al., 2013). לכן, ניתן לקבוע במידה גבוהה של וודאות שמעבר לממשק אי-פליחה ישפר את מצב המגוון הביולוגי, לא כל שכן – אם יתווסף עליו גם ממשק השארית חיפוי קרקע. קשה להפריד בין שני ממשקי העיבוד הללו, היות והשני הוא חלק בלתי נפרד מהראשון, ובודדים המחקרים שניסו לבצע הערכה בנפרד של תרומת כל אחד מהם למגוון הביולוגי.

12. הערכה של ההשפעה על שירות המערכת במידה ויחולו גורמי שינוי (תהליכים ושיקולים):

12.1. במעבר ממינימום עיבוד לאי-פליחה¹:

השירות	התועלת	מגמה	מידת וודאות	פירוט	מקור הידע	שיטת ההערכה	פערי המידע
מגוון ביולוגי ובתי גידול	שיפור מצב המגוון הביולוגי	↑	גבוהה	<ul style="list-style-type: none"> עלייה בעושר המינים, במגוון המינים, במורכבות החברה, בכמות החומר האורגני בקרקע, בעוצמת הפעילות הביולוגית בקרקע, ובמורכבות הנופית. 	Bartz et al., 2013; Cardoso et al., 2013; Mostafa & Changbin, 2013; Palm et al., 2014; Scopel et al., 2013	<ul style="list-style-type: none"> כמותית: שימוש במדדים פיזיקליים/ כימיים/ ביוכימיים/ ביולוגיים. כלכלית: חישוב הכמות הנדרשת/הנחסכת של חומרי הדברה. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה: קיימת בעולם. בארץ – יש לבדוק קיום ציוד מתאים במעבדות. ידע: קיים בעולם. בארץ – ידע מוגבל. נדרש ביצוע במרחב שקמה.
יחסי גומלין אקולוגיים	שטף טבעי של חומרי הזנה בין הרמות הטרופיות במארג המזון	↑	גבוהה	<ul style="list-style-type: none"> לוחמה ביולוגית טבעית במזיקים, במחלות, וב-יעשבים שוטים (יחסי טורף-נטרף, טפילות, תחרות וכד'). עמידות גבוהה של המערכת בהתמודדות עם מצבי עקה. 		<ul style="list-style-type: none"> כמותית: שימוש במדדי מגוון של הרמות הטרופיות במארג המזון. כלכלית: חישוב הכמות הנדרשת/הנחסכת של חומרי הדברה. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה: קיימת. ידע: קיים בעולם. בארץ – ידע מוגבל. נדרש ביצוע במרחב שקמה.
קיום הקרקע (ייצור ופוריות)	שיפור פוריות הקרקע	↑	גבוהה	<ul style="list-style-type: none"> ייעול תהליכי מיחזור חומרי הזנה בקרקע 		<ul style="list-style-type: none"> כמותית: מדידת כמות חומרי ההזנה בקרקע. כלכלית: חישוב הכמות הנדרשת/הנחסכת של חומרי דישון. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה בארץ: קיימת. ידע בארץ: קיים. נדרש ביצוע במרחב שקמה.
יצרנות ראשונית	עלייה בפוטוסינתזה	↑	בינונית	<ul style="list-style-type: none"> עליה בכמות הפחמן הדו-חמצני המקובע מהאטמוספירה לחומר הצמחי, ועליה בכמות החמצן המשוחרר לאטמוספירה – בתהליך הפוטוסינתזה. 		<ul style="list-style-type: none"> כמותית: מדידת כמות הכלורופיל בשיטות חישה מרחוק (NDVI, IR). כלכלית: כמות תנובת השדה. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה קיימת. ידע בארץ קיים. נדרש ביצוע במרחב שקמה.

¹ יש להדגיש כי מרבית המחקרים בעולם עוסקים בהשוואה בין שיטות העיבוד המתועשות הקונבנציונאליות, לשיטות החקלאות המשמרת – עיבוד מזערי ואי-פליחה, ולא בין שיטות החקלאות המשמרת לבין עצמן, ולכן ההבדלים בין שיטות אלו – אינם ידועים. הטבלאות שלהלן מתייחסות לפיכך להבדל בין חקלאות קונבנציונאלית לחקלאות משמרת.

12.2. במעבר מהשארית שלף בלבד, לחיפוי קרקע עפ"י ההמלצות (300 ק"ג/דונם):

השירות	התועלת	מגמה	מידת וודאות	פירוט	מקור הידע	שיטת ההערכה	פערי המידע
מגוון ביולוגי ובתי גידול	שיפור מצב המגוון הביולוגי – תוספת מחסה ומזון	↑	גבוהה	עלייה בעושר המינים, במגוון המינים, בכמות החומר האורגני בקרקע, בעוצמת הפעילות הביולוגית בקרקע, ובמורכבות הנופית.	Bartz et al., 2013; Cardoso et al., 2013; Mostafa & Changbin, 2013; Palm et al., 2014; Scopel et al., 2013	<ul style="list-style-type: none"> כמותית: שימוש במדדים פיזיקליים/ כימיים/ ביוכימיים/ ביולוגיים. כלכלית: חישוב הכמות הנדרשת/הנחסכת של חומרי הדברה. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה: קיימת בעולם. בארץ – יש לבדוק קיום ציוד מתאים במעבדות. ידע: קיים בעולם. בארץ – ידע מוגבל. נדרש ביצוע במרחב שקמה.
יחסי גומלין אקולוגיים	יצירת איזון בין הרמות הטרופיות במארג המזון	↑	גבוהה	צמצום הצימוח של 'עשבים שוטים' (תחרות על משאבי אור, מים וחומרי הזנה)		<ul style="list-style-type: none"> כמותית: שימוש במדדי מגוון של הרמות הטרופיות במארג המזון. כלכלית: חישוב הכמות הנדרשת/הנחסכת של חומרי הדברה. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה: קיימת. ידע: קיים בעולם. בארץ – ידע מוגבל. נדרש ביצוע במרחב שקמה.
קיום הקרקע (ייצור ופוריות)	שיפור פוריות הקרקע	↑	גבוהה	ייעול תהליכי מיחזור חומרי ההזנה בקרקע		<ul style="list-style-type: none"> כמותית: מדידת כמות חומרי ההזנה בקרקע. כלכלית: חישוב הכמות הנדרשת/הנחסכת של חומרי דישון. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה בארץ: קיימת. ידע בארץ: קיים. נדרש ביצוע במרחב שקמה.
יצרנות ראשונית	עלייה בפרוטוסינתזה	?	?	עלייה בכמות הפחמן הדו-חמצני המקובע מהאטמוספירה לחומר הצמחי, ועלייה בכמות החמצן המשוחרר לאטמוספירה – בתהליך הפרוטוסינתזה.		<ul style="list-style-type: none"> כמותית: מדידת כמות הכלורופיל בשיטות חישה מרחוק (NDVI, IR). כלכלית: כמות תנובת השדה. 	<ul style="list-style-type: none"> טכנולוגיה קיימת. ידע בארץ קיים. נדרש ביצוע במרחב שקמה.

13. התייחסות לחלוקת תועלות ונזקים בחלופות שונות בין בעלי עניין שונים, בהתייחס לשיפור

במצב המגוון הביולוגי:

13.1. במעבר ממיינומום עיבוד לאי-פליחה:

בעלי העניין	תועלות	נזקים
החקלאי	הפחתת עלויות עיבוד, דישון והדברה	<ul style="list-style-type: none"> • עלות ניטור. • במקרים מסויימים תידרש תוספת דישון ו/או הדברה. • נדרש תהליך הטמעה.
האגודה החקלאית	הפחתת הצורך בתמיכה בחקלאי.	ליווי החקלאי בתהליך ההטמעה. עלות אספקת מזון חלופית.
רועי צאן		
מועצה אזורית/מנהלת מרחב שקמה	<ul style="list-style-type: none"> • הפחתת הצורך בתמיכה בחקלאי. • שיפור במצב שירותי המערכת המושפעים מהמגוון הביולוגי. 	<ul style="list-style-type: none"> • ליווי החקלאי בתהליך ההטמעה. • ייתכן קונפליקט עם הרועים בשל מניעת/הפסקת הרעייה.
תעשייה	רכישת ציוד חקלאי חדש מותאם לממשק אי-פליחה.	הפחתת צריכת מוצרי התעשייה: ציוד חקלאי, דשנים, חומרי הדברה.
רשות הניקוז והנחלים	<ul style="list-style-type: none"> • צמצום עלויות פינוי סחף ונזקי שטפונות. • עליה בערכיות האקולוגית של ערוצי הנחלים. 	
אגף שימור קרקע, משרד החקלאות	צמצום אובדן הקרקע.	
רשות הטבע והגנים/המשרד להגנת הסביבה	<ul style="list-style-type: none"> • עלייה בערכיות האקולוגית של השטח. • שיפור מצב השדות כמסדרונות אקולוגיים בין שמורות. 	תיתכן התפרצות מינים פולשים, מתפרצים ומלווי-אדם שיהיה צורך לנטר ולווסת.
קק"ל	שיפור מצב השדות כמסדרונות אקולוגיים בין שטחי יער.	מעבר רועים מהשדות ליערות.
מוסדות תכנון		צורך בתהליך הטמעה של חשיבות המגוון הביולוגי בתהליכי תכנון.
משרד הבריאות	שיפור במצב בריאות הציבור.	יתכן מצב של התפרצות מזיקים ופתוגנים. מצריך ניטור ובמקרה הצורך – טיפול.
צרכנים	תוצרת חקלאית בריאה יותר, עם פחות שרידים של חומרי הדברה.	ייתכן מצב שבו מחירי התוצרת החקלאית יעלו, אם תנובת השדה תפחת.

13.2. במעבר מאי-השארית חיפוי קרקע להשארית חיפוי:

נזקים	תועלות	בעלי העניין
אובדן הכנסה ממכירת השלפים	הפחתת עלויות איסוף ומכירת השלפים	החקלאי
ליווי החקלאי בתהליך ההטמעה.	הפחתת הצורך בתמיכה בחקלאי.	האגודה החקלאית
עלות אספקת מזון חלופית.		רועי צאן
<ul style="list-style-type: none"> ליווי החקלאי בתהליך ההטמעה. ייתכן קונפליקט עם הרועים בשל מניעת/הפסקת הרעייה. 	<ul style="list-style-type: none"> הפחתת הצורך בתמיכה בחקלאי. שיפור במצב שירותי המערכת המושפעים מהמגוון הביולוגי. 	מועצה אזורית/מנהלת מרחב שקמה
הפחתת צריכת מוצרי התעשייה: ציוד חקלאי, דשנים, חומרי הדברה.	רכישת ציוד חקלאי חדש מותאם לקציר גבוה.	תעשייה
	<ul style="list-style-type: none"> צמצום עלויות פינוי סחף ונזקי שטפונות. עליה בערכיות האקולוגית של ערוצי הנחלים. 	רשות הניקוז והנחלים
	צמצום אובדן הקרקע.	אגף שימור קרקע, משרד החקלאות
תיתכן התפרצות מינים פולשים, מתפרצים ומלווי-אדם שיהיה צורך לנטר ולווסת.	<ul style="list-style-type: none"> עלייה בערכיות האקולוגית של השטח. שיפור מצב השדות כמסדרונות אקולוגיים בין שמורות. 	רשות הטבע והגנים/המשרד להגנת הסביבה
מעבר רועים מהשדות ליערות.	שיפור מצב השדות כמסדרונות אקולוגיים בין שטחי יער.	קק"ל
צורך בתהליך הטמעה של חשיבות המגוון הביולוגי בתהליכי תכנון.		מוסדות תכנון
יתכן מצב של התפרצות מזיקים ופתוגנים. מצריך ניטור ובמקרה הצורך – טיפול.		משרד הבריאות
ייתכן מצב שבו מחירי התוצרת החקלאית יעלו, אם תנובת השדה תפחת.		צרכנים

14. המלצות לגבי העתיד: כיצד ניתן לנטר שירות מערכת זה בצורה טובה יותר בעתיד, או לדאוג

לכך ששירות זה ינוטר בעתיד.

כיום אין ניטור. אם יוחלט להקים מערך ניטור, יש לבחון היטב את החלופות בשיקולי עלות-תועלת עבור כל אחד מהמדדים: פיזיקלי, כימי, ביוכימי, ביולוגי עקיף וביולוגי ישיר – מהי היכולת הטכנולוגית והמדעית הקיימת בארץ, מהן העלויות, ומהו איכות התוצר המתקבל מבחינת רגישותו לזיהוי שינויים בדפוסי העיבוד.

15. סיכום

המגוון הביולוגי, בהיותו הבסיס לכלל שירותי המערכת האקולוגית האחרים, ובעבודה זו – המערכת האגרו-אקולוגית בשטחים החקלאיים, משמש כאינדיקטור החשוב ביותר לבריאותה, חיוניותה ויציבותה לאורך זמן, ולתועלות שהאדם מפיק ממנה. בעוד שהחקלאות המתועשת הקונבנציונאלית ידועה כפוגעת בפוריות הקרקע, במגוון הביולוגי ובעוצמת פעילותו, לחקלאות בת-קיימא המתבססת על תהליכים ביולוגיים טבעיים, יש פוטנציאל לשיפור הכמות הביומסה, רמת הפעילות שלה ומורכבותה. לפיכך, השמירה על המגוון הביולוגי היא אבן היסוד להטמעתו של ממשק עיבוד קרקע בר-קיימא. עם זאת, הדרך למדידת מצב המגוון הביולוגי – אינה פשוטה: מדדים מקובלים וקלים למדידה – כמו מגוון בוטאני או מגוון חברות חולייתנים, ואף מגוון מיני חסרי חוליות יבשתיים – אינם אמינים במידה מספקת במערכת אגרו-אקולוגית, שנתונה לשינויים קיצוניים מעל פני האדמה בהתאם לממשק העיבוד, ולמשתני סביבה רבים אחרים שאינם ניתנים לשליטה או לבקרה.

לפיכך, מקובל בשנים האחרונות להשתמש במדדי מגוון ביולוגי של מאכלסי הקרקע עצמה: מיקרופאונה, מזופאונה ומקרופאונה. חלקם נמדדים באופן ישיר (בעיקר מזופאונה ומקרופאונה), וחלקם – באופן עקיף (בעיקר מיקרופאונה), באמצעות מדדים כמו ביומסה כללית, תוצרי המטבוליזם של אותם יצורים (כמו הרכב חלבונים/אנזימים, קצב נשימה, קצב מטבולי של פחמן/חנקן/זרחן וכד'), או הרכב חומצות הגרעין. מדדים אלו, יחד עם מדדים פיזיקליים, כימיים וביוכימיים של הקרקע – יכולים לספק מידע אמין אודות מצב המגוון הביולוגי בקרקע, בהתייחס לממשק העיבוד החקלאי המופעל באזור.

אולם למדדים אלו חסרונות לא מועטים: מדדים ישירים של מגוון ביולוגי יכולים לספק מידע זול יחסית, אמין ומדויק אודות שינויים בממשק העיבוד החקלאי בזמן קצר יחסית, אך איסוף הנתונים מהשטח וניתוח הממצאים – דורשים מומחיות טקסונומית רבה – שאינה בנמצא בארץ כיום. בנוסף, יש להקפיד על תכנון הניטור כך שינטרל ככל הניתן את הגורמים הסביבתיים הרבים (כמו עונתיות, שינויים אקלימיים, מיקום גיאוגרפי, מאפייני קרקע שונים וכד'), שמשפיעים גם הם על הרכב המגוון הביולוגי, וממסכים את השפעות הממשק החקלאי. מדדים עקיפים של המגוון הביולוגי אמינים במידה פחותה, היות והם מושפעים רבות לא רק מממשק העיבוד, אלא גם מתנאי הסביבה – שקשה עוד יותר לבדודם, ולכן תקפותם החיצונית – מוגבלת. איסופם בשדה קל יחסית, אך ניתוח הממצאים דורש ציוד מעבדתי מיוחד, שעלותו יקרה. מדדים פיזיקליים וכימיים של הקרקע – זולים וקלים לאיסוף בשטח, אולם אמינותם נמוכה היות והם מגיבים לאט לשינויים בתנאי הסביבה. נוסף לכך, גם עלות ניתוח הממצאים דורש ציוד מעבדתי יקר, אם כי ניתן ככל הנראה להשתמש במעבדות שבהן קיים כבר הציוד בארץ, ובכך להפחית את העלויות.

לסיכום, ניתן לומר שחשיבות ההערכה של מצב המגוון הביולוגי היא גבוהה, שתהליך ההערכה והניטור – מורכב ביותר, ושעלותו – יקרה.

16. רשימת מקורות

אחירון-פרומקין, ת. (2011) *דוח מצב הטבע 2010*. המארי"ג (מערך אקולוגי רב-גורמי), בחסות האקדמיה הישראלית למדעים.

אלון, ד. ופרלמן, י. (2008) *ציפורים בישראל בסכנת הכחדה – תמונת מצב*. החברה להגנת הטבע, מרכז צפרות.

דולב, ע. ופרבולוצקי, א. (2002) *הספר האדום של החולייתנים בישראל*. רשות הטבע והגנים והחברה להגנת הטבע.

ספריאל, א. (עורך) (2010) *התכנית הלאומית למגוון ביולוגי בישראל*. המשרד להגנת הסביבה.

פרבולוצקי, א. וברג, נ. (עורכים) (2013) *ניטור מגוון ביולוגי במערכות חקלאיות – מסגרת רעיונית וסקירת ספרות*. המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע.

רותם, ד., וייל, ג., וולצ'אק, מ. ואמיר, ש. (2013) *מערכות אקולוגיות טבעיות בישראל*. רשות הטבע והגנים.

רוטשילד, א. (2014) *עוצרים את התדרדרות המגוון הביולוגי והסביבה בישראל*. ההיערכות הישראלית לשמירת הטבע: עמידה בהמלצות ה-OECD וביעדי התכנית האסטרטגית העולמית לשמירה על המגוון הביולוגי לשנים 2011-2020 – פערים והמלצות. החברה להגנת הטבע.

Bartz, M.L.C., Pasini, A. & Brown, G.G. (2013) Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. *Applied Soil Ecology*, 69:39-48.

Cardoso, E., Vasconcellos, R., Bini, D., Miyauchi, M., Santos, C., Alves, P., Paula, A., Nakatani, A., Pereira, J. & Nogueira, M. (2013). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, 70:274-289.

Lichtfouse, É., Hamelin, M., Navarrete, M., Debaeke, P. & Henri, A. (2010) Emerging agrosience. *Agronomy for Sustainable Development*, 30:1-10.

Mostafa, R., & Changbin, Y. (2013) The effect of conservation agriculture adoption. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4:1327-1333.

Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L. & Grace, P. (2014) Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187:87-105.



- Roger-Estrade, J., Anger, C., Bertrand, M. & Richard, G. (2010) Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*, 111:33-40.
- Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Xavier, J.H.V., Lahmar, R., Recous, S., Bernoux, M., Blanchart, E., de Carvalho Mendes, I. & De Tourdonnet, S. (2013) Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33:113-130.
- Sofo, A., Ciarfaglia, A., Scopa, A., Camele, I., Curci, M., Crecchio, C., Xiloyannis, C. & Palese, A.M. (2014) Soil microbial diversity and activity in a Mediterranean olive orchard using sustainable agricultural practices. *Soil Use and Management*, 30:160-167.
- van Capelle, C., Schrader, S. & Brunotte J. (2012) Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50:165-181.