

# הערכת פוטנציאל אצירת פחמן בקרקע במעבר לחקלאות משמרת בשטחים החקלאיים בישראל

בוריס שקלר<sup>1,2,\*</sup>, אלון מאור<sup>1</sup>, ערן אטינגר<sup>1</sup>, אליענה עין מור<sup>1,2</sup>, גיל אשל<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
<sup>2</sup>תוכנית ממשק, האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה  
<sup>3</sup>התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
eshelgil@gmail.com ,biobosh@gmail.com\*

יוני 2021



מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



## גולת הכותרת:

- על פי ארגון המזון והחקלאות (FAO) של האו"ם, חקלאות משמרת היא הגישה המומלצת ביותר להתמודדות עם הגרעת קרקעות ולהיערכות לשינוי אקלים, ומהווה אסטרטגיה לביטחון תזונתי.
- בעבודה זו נמצא שבנוסף לתועלות שלעיל, יישום גורף של עקרונות החקלאות המשמרת בכל שטחי החקלאות בישראל יוביל לאצירה של כ- 6.75 מיליון טון פחמן אורגני נוספים בקרקע לאורך 5-10 שנים.
- כמות פחמן זו שווה לקיזוז כלל הפליטות של גזי החממה מפעילות חקלאית למשך 10-15 שנים.
- לצורך אימוץ גורף של עקרונות החקלאות המשמרת בישראל דרושים השקעה במחקר ופיתוח להשלמת פערי הידע ותמריצים לחקלאים לשינוי הפרקטיקה החקלאית.



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



### תקציר

שינויים בשימושי קרקעות והסבה של מערכות אקולוגיות טבעיות - יערות, ערבות וביצות - לטובת פעילות חקלאית ברחבי העולם הובילו לחמצון מהיר של החומר האורגני בקרקע ואובדן עולמי ממוצע של כ- 60% מתכולתו המקורית. עליה בריכוזים של גזי החממה בעקבות הפעילות האנושית נחשבת לגורם המוביל לשינוי האקלים הגלובלי תוך חשש ממשבר אקלימי עולמי. החקלאות הקונבנציונלית האינטנסיבית, שכוללת עיבודי קרקע רבים והשאררת חשופה ללא חיפוי צמחי, הובילה לאורך השנים להגרעה מתמשכת בבריאותה ופוריותה של הקרקע, ובכלל זה לפחיתה בתכולת החומר האורגני, וכתוצאה מכך גם לפגיעה באיכות שירותי המערכת שהיא מספקת לאדם ולסביבה. אימוץ שלושת עקרונות החקלאות המשמרת - מינימום הפרה מכאנית של הקרקע (מינימום ועד אפס עיבודים), שמירה על חיפוי צמחי רציף של פני הקרקע, ומחזור גידולים - נמצאו יעילים במקומות רבים בעולם וגם בישראל בטיוב ארוך טווח של תכונות הקרקע; השפעה חיובית על הסביבה; שיפור מגוון שירותי המערכת ובכלל זה באצירה מוגדלת של פחמן אורגני בקרקע; הגדלת קיבול המים הירוקים (המשמשים לטרנספירציה); ויסות שיטפונות; שיפור איכות המים הכחולים (מים מתוקים עיליים ותת קרקעיים); הקטנת משרעת הטמפרטורה היומית של הקרקע; והגדלת מגוון המינים בקרקע ומעליה. לאצירת הפחמן האורגני בקרקע גם פוטנציאל לקיזוז פליטות גזי החממה שמקורן בפעילות החקלאית. על פי הערכות שונות, פליטות גזי החממה שמקורן מפעילות חקלאית מקומית נאמדות בכ-  $2 \pm 0.3$  מיליון טון שווה ערך פחמן דו-חמצני (ש"ע פד"ח) מכלל הפליטות של ישראל בשנה שנאמדות בכ- 80 מיליון טון ש"ע פד"ח.

לצורך הערכת פוטנציאל אצירת הפחמן האורגני בקרקעות החקלאיות בישראל חילקנו את כל שטחי החקלאות לשלוש קבוצות מרקם: כבד, בינוי וקל. מתוך בסיסי הנתונים של תכולת פחמן אורגני וצפיפות גושית שנמצאו זמינים, אנו מעריכים שקרקעות ישראל אוצרות כיום 12.44 מיליון טון פחמן אורגני בשלושים ס"מ העליונים. מתוך העבודות הבודדות בישראל שבחנו את השפעת האימוץ המיטבי וארוך טווח של עקרונות החקלאות המשמרת, מצאנו שהמקדם המצרפי לאצירת פחמן אורגני נוסף (מכפלת השינוי בפחמן האורגני בשינוי בצפיפות הגושית) בישראל הוא כ- 1.75 עבור עשרת ס"מ העליונים וכ- 1.4 עבור עשרים ס"מ הבאים. בהתאם לכך, אנו מעריכים כי מעבר ליישום גורף ומיטבי של שלושת עקרונות החקלאות המשמרת בשטחי החקלאות בישראל עשוי להוביל לאצירה נוספת של כ- 6.75 מיליון טון פחמן אורגני נוספים תוך 5-10 שנים, עד להגעה לשיווי משקל חדש. אצירת כמות פחמן אורגני בכמות כזו היא שוות ערך לכ- 25 מיליון טון ש"ע פד"ח, השווים לסך פליטות גזי החממה מפעילות חקלאית למשך 10-15 שנים. זאת בנוסף לתועלות הנוספות שבאימוץ החקלאות המשמרת, ובכללן שמירה על משאבי הקרקע, המים ואיכות האוויר; פיתוח חוסן (resilience) מפני שינוי האקלים; והבטחת ביטחון תזונתי באמצעות ייצור מזון מקומי וטרי. הערכות אילו הן ראשוניות ומצריכות הגדלה משמעותית של בסיס הנתונים לצורך דיוקן.



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



### הקדמה

הפעילות האנושית, ובעיקרה לאחר המהפכה התעשייתית, הובילה לשינויים נרחבים בשימושי הקרקע תוך הסבת מערכות אקולוגיות טבעיות, וביניהן יערות, ערבות וביצות, לטובת החקלאות, המייצרת מזון וסיבים לאוכלוסיית העולם ההולכת וגדלה. שינויים אלו הובילו לחמצון החומר האורגני ולאובדן של כ- 25-75% ממנו, שהיו אצורים בשני המטרים העליונים, וזאת כתלות בשימושיה, סוגה, ותנאיי האקלים. כתוצאה מכך, הפחמן האורגני, שמהווה כ- 56% מהחומר האורגני, נפלט לאטמוספירה בצורת פחמן דו-חמצני (פד"ח), שהוא אחד מגזי החממה<sup>1,2</sup>.

החקלאות האינטנסיבית המתבססת על גידול יחיד (מונוקולטורה) וכוללת עיבודים, פליחה והשארת קרקע חשופה ללא כיסוי צמחי, בשילוב דישון אינטנסיבי ושימוש נרחב בחומרי הדברה מאיצים את חמצון החומר האורגני בקרקע, אובדן חומרי ההזנה, פגיעה במבנה הקרקע, תהליכי סחיפה על ידי מים ורוח, זיהום הקרקע ומקורות המים, ופגיעה במגוון הביולוגי. כתוצאה מתהליכים אלו מתרחשת פגיעה מתמשכת בפוריות הקרקע ופגיעה בביטחון התזונתי<sup>1-3</sup>.

החל מאמצע המאה ה-18, עם המהפכה התעשייתית, האנושות החלה לשרוף (לחמצן) דלקים פוסיליים (דלקי מאובנים) ליצירת אנרגיה. שריפתם, יחד עם תהליכים מודרניים נוספים, גורמים לפליטות של גזי חממה לאטמוספירה באופן מתמשך, וכתוצאה מכך לשינוי האקלים אשר מוביל למשבר אקלימי עולמי<sup>4</sup>. לכל גז חממה פוטנציאל סגולי שונה בלכידת החום<sup>5</sup>. לשם פישוט, על מנת לאמוד את כלל הפליטות של גזי החממה, מוצגים סך כל ערכי הפליטות של הגזים השונים כשווי ערך לפחמן דו-חמצני (ש"ע פד"ח - CO<sub>2</sub> equivalent)<sup>6</sup> בהתאם להנחיות של הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change)<sup>7</sup>. היקף הפליטות גבר בהדרגה לאורך השנים והגיע לכ- 5 מיליארד טון ש"ע פד"ח בשנה באמצע המאה ה-20. כיום, 70 שנה מאוחר יותר, היקף הפליטות של פד"ח משריפת דלקי מאובנים, שמהווה את רוב פליטות גזי החממה בעולם, נאמד בכ- 34 מיליארד טון בשנה מתוך כלל גזי החממה שכמותם נאמדת בכ- 49 מיליארד טון ש"ע פד"ח בשנה<sup>8,9</sup>. נתון זה צפוי להאמיר לכ- 56 מיליארד טון ש"ע פד"ח בשנה עד 2030<sup>10</sup>. ברמה הגלובלית, תרומתה של ישראל לפליטות גזי החממה מסתכמת בכ- 0.16%, שמהווים כ- 80 מיליון טון ש"ע פד"ח מכלל הפליטות העולמיות בשנה<sup>11,12</sup>. מחקרים רבים מראים כי ההתחממות הגלובלית ובעקבותיה השינויים האקלימיים גורמים להפחתה בכמויות השלגים<sup>13</sup>, עלייה במפלס האוקיינוסים<sup>14</sup>, מדבור<sup>15</sup>, ירידה ביבול<sup>16</sup>, עליה באירועי קיצון<sup>17</sup>, שינוי וירידה במגוון הביולוגי<sup>18</sup>, עליה ברעב העולמי וירידה בביטחון התזונתי<sup>19-21</sup>. מגמות אלה צפויות להמשיך ולהחמיר במידה ולא תופחתנה פליטות גזי החממה, שמקורן בפעילות האנושית, באופן ניכר.

מכוון שמטרת החקלאות, בראש ובראשונה, היא לספק את המזון והסיבים לאוכלוסיית העולם הגדלה, לא סביר להסב בחזרה את שטחי החקלאות לשטחים טבעיים<sup>22</sup>. יחד עם זאת, עבודות מהעולם מראות כי יישום עקרונות החקלאות המשמרת מאפשר אצירת פחמן אורגני, שמוטמע מהפד"ח האטמוספרי על ידי הצמחים בתהליך הפוטוסינתזה, בקרקעות החקלאיות, עד להגעה לשווי המשקל הראשוני שהתקיים לפני הסבת



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



הקרקעות<sup>23,24</sup>. החקלאות המשמרת מתבססת על שלושה עקרונות: מינימום הפרה מכאנית של הקרקע (מינימום עד אפס עיבוד), שמירה על חיפוי צמחי רציף של פני הקרקע, ומחזור גידולים. כיום, החקלאות המשמרת מיושמת ב- 12.5% מכלל הקרקעות החקלאיות ברחבי העולם, כאשר היישום משתנה באופן ניכר בין היבשות השונות. בראש המדינות המיישמות נמצאות מדינות צפון ודרום אמריקה, אוסטרליה וניו-זילנד, בהן 45-65% משטחי החקלאות מעובדים בשיטות משמרות<sup>25,26</sup>. בישראל, השטח המעובד בשיטות משמרות ברמה גבוהה עד מיטבית (עיבוד משמר בגידולי שדה וחקלאות משמרת במטעים) נאמד ב- 13% מסך הקרקע החקלאית<sup>27</sup>.

יישום שיטות החקלאות המשמרת תורם לקיזוז פליטות גזי החממה על ידי אצירה בקרקע של הפחמן שמקורו בפד"ח האטמוספירי<sup>28-35</sup>. על אף היתרונות הרבים וההתקדמות באימוץ החקלאות המשמרת, קיימים חסמים המונעים יישום רחב היקף בעולם ובארץ, ויש לתת עליהם את הדעת במדיניות שתעודד את יישומה והטמעתה של החקלאות המשמרת<sup>2,36-45</sup>. קיימים מודלים ועדויות בעולם המאפשרים להעריך את הפוטנציאל לוויסות שינוי האקלים במידה וחקלאות משמרת תיושם באופן נרחב בקרקעות שנמצאות תחת עיבוד חקלאי, ואשר מהוות כשליש מהקרקעות הראויות לעיבוד בעולם<sup>24,46-48</sup>.

על סמך הערכות שונות, ישראל נמצאת באזור גאוגרפי שעלול להיפגע באופן חמור משינוי האקלים<sup>49</sup>.<sup>53</sup> לאור זאת, ובהינתן שכחמישית משטחה היא קרקע חקלאית<sup>54</sup>, ליישום החקלאות המשמרת בישראל תועלות רבות לשירותי המערכת וביניהן הקטנת סחירת הקרקע; הגדלת תכולת החומר האורגני בקרקע; שיפור בקיבול המים בקרקע והגדלת פוטנציאל המים הירוקים (מים המשמשים לטרנספירציה)<sup>55</sup>; ויסות שיטפונות; שיפור איכות המים הכחולים (מים מתוקים עיליים ותת קרקעיים)<sup>56</sup>; הקטנת משרעת הטמפרטורות היומיות בקרקע; הגדלת מגוון המינים בקרקע ומעליה; פיתוח חוסן מפני שינוי אקלים; ושמירה על ביטחון תזונתי<sup>57-66</sup>. לפיכך, נשאלת השאלה, האם יישום חקלאות משמרת בישראל עשוי לתרום לקיזוז פליטות גזי החממה של ענף החקלאות עצמו ולסייע בעמידה בהסכמים בינלאומיים<sup>67-74</sup>?

### הגרעת קרקעות בעקבות הפעילות האנושית

תהליך היווצרות הקרקעות הוא איטי. דרושות כ- 500-250 שנים להיווצרות 1 ס"מ של קרקע (0.02-0.04 מ"מ בשנה). קצב אובדן הקרקע בחקלאות קונבנציונלית גבוה בכשני סדרי גודל מקצב היווצרותה ועומד על כ- 4 מ"מ בממוצע בשנה<sup>75</sup>. על כן, הקרקע היא משאב מתכלה<sup>76,77</sup>. הקרקע היא אחד המאגרים הגדולים של הפחמן, המהווה 56% מהחומר האורגני. בשילוב אומדנים מוקדמים וחדשים, נמצא שכ- 2,500-3,000 מיליארד טון פחמן אורגני אצורים בשני המטרים העליונים של קרקעות העולם, כאשר הריכוז הגבוה ביותר נמצא ב- 30 ס"מ העליונים, בהם מתרכזת הפעילות החקלאית<sup>78,79</sup>. הדרישה הגוברת למזון בעת המודרנית הביאה להסבה של יערות, ערבות וביצות לשטחים חקלאיים וגרמה לשחרור של עד 75% מהפחמן האורגני לאטמוספירה בצורת גז החממה פד"ח<sup>80</sup>. הקרקע היא מערכת בעלת מאפיינים ומרכיבים ביוטיים ואביוטיים רבים הפועלים, משפיעים ומושפעים בינם לבין עצמם ביחסי גומלין מורכבים. בהינתן מורכבות זו ובכך שכל מרכיב הוא ייחודי, הופכים את המערכת לרגישה ופגיעה ומדגישים את החשיבות שבשמירה על איזונם של כל מרכיביה. החומר



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



האורגני הוא אבן הראשה במארג הסבוך הזה, וחשיבותו לבריאות הקרקע ולחוסן מפני שינוי האקלים היא הכרחית בהיותו חשוב לייצוב מבנה הקרקע, חלחול המים והישארותם בקרקע, מניעת סחיפה ובעקיפין לוויסות טמפרטורות הקרקע<sup>81,82</sup>.

הקרקע היא משאב טבעי והכרחי לייצור מזון וסיבים בזכות היותה מאגר ליסודות ההזנה ולמים, והיותה בית גידול למגוון מינים של בעלי חיים ומיקרואורגניזמים, החשובים לשם כך<sup>83</sup>. בנוסף, הקרקע מספקת לאדם ולסביבה שירותי מערכת רבים<sup>84-87</sup>. ראוי לציין כי בשנים האחרונות התפתחה ההבנה, בעיקר בעולם המערבי, כי אין להמשיך ולהסב שטחים טבעיים נוספים לחקלאות, בגלל המחיר הסביבתי הכבד. בעקבות מגמה זו מתקיים תהליך של מעבר לחקלאות יותר אינטנסיבית (אינטנסיפיקציה) בשטחים החקלאיים הקיימים<sup>83</sup>. תהליכים אלה עלולים להעצים את תהליכי הגרעת הקרקע<sup>83,88</sup>.

הפעילות החקלאית הקונבנציונלית בכלל וזו האינטנסיבית בפרט גורמות לתהליכי הגרעה מתמשכים הפוגעים בפוריות הקרקע. תהליכי הגרעה יכולים להתבטא בסחיפה מועצת על ידי מים ורוח; פחיתה בתכולת החומר האורגני; דלדול ביסודות ההזנה; המלחה; החמצה (באזורים לחים); הידוק ופגיעה בכושר החדור ובתאחיזת המים; פגיעה במגוון הביולוגי ובכלל זה עליה במחלות ובמזיקי הקרקע, והשתלטות של מיני עשבים קשי הדברה<sup>89-92</sup>. במקרים רבים, על מנת לשקם את פוריות הקרקע נעשה שימוש רב בדשנים, אשר בתורם גורמים לזיהום אוויר ופליטה מוגברת של גזי חממה, זיהום מי שתייה, ועלולים להוות סיכון בריאותי לציבור<sup>93</sup>. פגיעה מתמשכת בפוריות הקרקע פוגעת בביטחון התזונתי של אוכלוסיית העולם, אשר צפויה לגדול בכ- 30% עד שנת 2050 ולהזדקק לעליה של 70% ביצור המזון<sup>94</sup>. עליה זו בדרישה למזון תגביר עוד יותר את הגרעת הקרקעות. לאור זאת, יש לאמץ שיטות של חקלאות משמרת, אשר ביכולתן לשמור על משאב הקרקע ולשפרו, ולהפחית את ההשפעות השליליות של הפעילות החקלאית על הסביבה תוך הגברת התמורות החיוביות<sup>60,95</sup>.

עיבודי הקרקע, שהם חלק מהממשק החקלאי הקונבנציונלי, גורמים להרס מבנה הקרקע ולחמצון מהיר של החומר האורגני שבה. פעולת החריש מפרקת את תלכידי הקרקע, חושפת את מאגרי החומר האורגני לאוויר ולמיקרואורגניזמים ובכך מגבירה את פירוקו ופליטתו כפד"ח לאטמוספירה<sup>32</sup>. כאשר הקרקע נשאר חשופה לפגיעה ישירה של טיפות הגשם בעקבות העיבודים (לשם הכנתה לפני זריעה ו/או להתמודדות עם עשבים), מתרחשת סידרה של תהליכים הכוללת ניתוק והתזה של חלקיקי הקרקע. בעקבות זאת מתפתחת שכבה דחוסה ואטימה לחידור מים ולירידה משמעותית (בסדר גודל ואף יותר) בקצב חידור מי הגשמים לקרקע. בשלב זה המים העודפים, שלא חדרו לקרקע, מתחילים לזרום על פניה כנגר עילי, אשר מסיע את חלקיקי הקרקע המנותקים וגורם להתחתרות ועירוף פני השטח. כתוצאה מכך, מתרחשת סחיפת קרקע מועצת יחד עם החומר האורגני ויסודות ההזנה שבה<sup>3,18,83</sup>. הנגר המואץ על הסחף שבו גורמים להצפות, לסתימת מערכות ניקוז, ולזיהום נחלים ומקווי מים בדשן ובחומרי הדברה<sup>96</sup>. בנוסף, קרקע גסה וקלת גרגר (כמו קרקעות הלס, הקרקעות החוליות בדרום וקרקעות הכבול באזור עמק החולה) שנשאר חשופה בעקבות עיבודים, היא רגישה יותר לסחיפה על ידי הרוח וכך גורמת לפגיעה באיכות האוויר על ידי התפזרות החלקיקים הנשימים.

פגיעה מתמשכת בבריאות הקרקע ופוריותה מובילה לירידה ביבול ועמה לפגיעה בביטחון התזונתי שמשפיע על כ- 1.5 מיליארד בני אדם ברחבי העולם<sup>77,97-99</sup>. לאור המצב, יש לאמץ שיטות של חקלאות משמרת,



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



אשר ביכולתה, בין היתר, להגדיל את תכולת החומר האורגני בקרקע, לשמר את משאב הקרקע ולשפרו, להפחית את ההשפעות השליליות על הסביבה, לפתח חוסן מפני שינוי האקלים ולהבטיח ביטחון תזונתי<sup>63</sup>.

### החומר האורגני והפחמן האורגני בקרקע

אוגר הפחמן האורגני בקרקעות כדור הארץ, המסתכם לפי הערכות בכ- 3,000-2,500 מיליארד טון ב-2 המטרים העליונים, הוא חלק ממחזור הפחמן בטבע, שנודד בין המאגרים השונים. המאגרים הנוספים הם האוקיאנוסים, שמכילים כ- 38,000 מיליארד טון פחמן (בעיקר אנאורגני); האטמוספירה, שמכילה כ- 800 מיליארד טון פחמן; והביומסה, בה אצורים כ- 560 מיליארד טון פחמן<sup>83</sup>.

מעבר ישיר של הפחמן מהאטמוספירה לקרקע נעשה בעיקר באמצעות שאריות צמחיות על פני הקרקע ושורשי הצומח. הפד"ח האטמוספירי שמוטמע על ידי הצמחים בתהליך הפוטוסינתזה "נארז" כחומר אורגני ברקמת הצמח מעל ומתחת לפני הקרקע, פחות או יותר ביחס שווה<sup>23,30</sup>. מקור נוסף לחומר אורגני בקרקע הם הפרשות השורשים (mucigel) ותפקידן הוא לווסת את הרטיבות בבית השורשים. הרקמות האורגניות השונות משמשות מזון למיקרוביום שבקרקע ועוברות תהליכי פירוק. חלק מהפחמן האורגני נפלט בחזרה לאטמוספירה כפד"ח, חלקו משמש כמזון לרמות טרופיות (trophic levels) גבוהות יותר בקרקע (לדוגמה: נמטודות חופשיות, פרוטוזואות, תולעי קרקע ועוד) וחלק נוסף שכולל שאריות תאים של חיידקים וצמחים, מתקבע ונאצר למאות ואלפי שנים בקרקע<sup>100</sup>. בהתאם לכך, מקובל לחלק את החומר האורגני בקרקע לשלושה מאגרי פחמן עיקריים בהתאם למשך זמן השהות הממוצע בהן הוא אצור: *המאגר המהיר, המאגר האיטי והמאגר היציב*<sup>101,102</sup>. *המאגר המהיר* מכיל חומר אורגני חדש (שאריות צמחיות) וחומר אורגני מסיס, הזמינים ביותר לפירוק מיקרוביאלי. זמן השהות של פרקציות אלו נע בין ימים לחודשים, כתלות בטמפרטורה ובתנאי הרטיבות בקרקע<sup>100,103</sup>. *המאגר האיטי* מכיל שאריות צמחים בשלבי פרוק מתקדמים ושאריות האוכלוסיה המיקרוביאלית. החומר האורגני במאגר זה אצור בתלכדי קרקע גדולים יחסית (macro aggregates) וזמן האצירה שלו בקרקע נע משנים בודדות ועד מאות שנים. כמות הפחמן האורגני שנאצרת בקרקע בפרקציה זו תלויה מאוד במרקם הקרקע, באיכות החומר האורגני, ובאופי הפעילות החקלאית, בעיקר בעיבודי הקרקע (פליחה), שגורמים להפרת מבנה הקרקע והרס התלכידים. *המאגר היציב* מכיל חומר אורגני הספוח לפני השטח של מינרלי החרסית והתחמוצות אשר יחדיו יוצרים תלכידים יציבים וקטנים (micro aggregates), ולכן מוגנים מהמשך פירוק מיקרוביאלי. הפחמן האורגני במאגר זה כמעט ואיננו רגיש לממשק העיבוד ולכן אצור בקרקע לאלפי ועד עשרות אלפי שנים<sup>104-106</sup>.

לחומר האורגני חשיבות רבה לבריאות הקרקע ולעמידותה בעקות במספר אופנים: הכרחי למרקם ולמבנה הצברים התקינים של הקרקע, המאפשרים עמידות מפני סחיפה; משפר את אגירת יסודות ההזנה ואת זמינותם לגידולים; מונע את חמצון הקרקע; משפר את כושרה של הקרקע לשאת מים ומגדיל את זמינותם לגידולים; ומאפשר טיהור מיטבי של המים בחילחולם אל מי התהום<sup>83</sup>.



מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



לשינוי האקלים, כפי שיורחב בהמשך, עלולות להיות השפעות קשות על היבול החקלאי, וכתוצאה מכך על הביטחון התזונתי, בעקבות האצת תהליכי הגרעת הקרקע וסחיפתה<sup>83</sup>.

### חקלאות משמרת כאסטרטגיה להתמודדות עם שינוי האקלים

הגישה של חקלאות משמרת שואפת ליישם שיטות חקלאיות המותאמות לדרישות הגידולים והתנאים המקומיים של האזור, כאשר העיבוד החקלאי מתנהל בשיטות המגינות על הקרקע מהגרעה וסחיפה, תוך כדי שימור המשאבים הטבעיים הנוספים, מים ואוויר, ושימוש מינימלי ומדויק בתשומות חיצוניות, בד בבד עם השאיפה להגדלת התפוקה החקלאית או לפחות אי פגיעה בה. חשוב להצביע על כך כי יכולת יישומו של ממשק משמר ותועלתו באזורים השונים מושפעות מגורמים רבים כגון: אקלים, סוג הקרקע, גורמים תרבותיים, השכלה וידע של החקלאים, פתיחות לשיטות חדשות, זמינות ונגישות של דשן וחומרי הדברה ועוד<sup>37,45,107</sup>. למעשה, החקלאות המשמרת שואפת לחקות את המערכת הטבעית של הקרקע וסביבתה הקרובה. ביכולתה לתרום לאצירה של 0.01-0.1 טון פחמן לדונם בשנה, כאשר הטווח מושפע ממאפיינים אקלימיים כמו לחות וטמפרטורה, משכי עונות הגידול, מרקם הקרקע, אחוז החומר האורגני שכבר אצור, סוג הגידולים במחזור הגידול, וקיום גידולי כיסוי (גידולי שירות)<sup>28,32</sup>.

כיום, החקלאות המשמרת מיושמת בכל היבשות במידת יישום שונה בין מדינה למדינה, אם כי מאז שנות ה-90 של המאה הקודמת ישנה מגמה מואצת של אימוץ ויישום של הגישה המשמרת. לפי הערכות תקפות לשנת 2015/2016, 12.5% מהקרקעות החקלאיות בעולם היו מעובדות באופן משמר ב-78 מדינות, בפריסה שונה ביבשות השונות: כ-63% בדרום אמריקה מכלל הקרקעות החקלאיות המקומיות, 28% בצפון אמריקה, כ-46% באוסטרליה וניו-זילנד, כ-4% באסיה, כ-3.5% ברוסיה ואוקראינה, 5% באירופה, וכ-1% בלבד באפריקה<sup>25</sup>. על פי הערכות ראשוניות, היישום של שיטות עיבוד משמרות וחקלאות משמרת בישראל עומד על 13% מסך הקרקע החקלאית ברמה גבוהה עד מיטבית<sup>27</sup>.

חקלאות משמרת על פי ארגון המזון והחקלאות (FAO - Food and Agriculture Organization) של האו"ם מתבססת על שלושה עקרונות הכרחיים שיש ליישם לאורך זמן על מנת להשיג את מלוא פוטנציאל התועלות<sup>25,108</sup>:

1. עיבוד מינימלי, או העדר עיבוד מכאני מתמשך, של קרקעות - מיושם בזריעה, בפיזור או בשתילה ישירים ללא הכנת מצע שתילה או זריעה; והפרעה מזערית לקרקע במהלך קציר או עבודות תחזוקה.
2. כיסוי צמחי (חי או מת) קבוע על פני 30% לפחות של הקרקע - מיושם על ידי השארת שלפים וקש מקוצץ על פני הקרקע, שורשים וגבעולים לאחר קציר, וזריעת גידולי כיסוי (גידולי שירות) בין עונות הגידול ובין שורות הגידולים.
3. מחזור של מגוון גידולים - מיושם על ידי מחזור של גידולים שונים, שילוב של רב שנתיים וחד שנתיים, והקפדה על גידולי קטניות במחזורים.





מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



על סמך מחקרים שנעשו, לממשק אי פליחה ובהתאם למאפייני האזור והאקלים בו הוא מיושם, עשויות להיות תועלות רבות<sup>108</sup>: הגנה על הקרקע מפני סחיפה על ידי מים ורוח; מניעת הרס תלכידי הקרקע שחשובים להגנת החומר האורגני מפני פירוק בחשיפה לאוויר, והגדלת המאגרים; שמירה על מבנה הקרקע; שיפור התכונות ההידראוליות של הקרקע וויסות הלחות בה (הגדלת מאגר המים הירוקים)<sup>114-109, 105, 34, 32</sup>. כתוצאה מיתרונות אלה עשוי להיות חיסכון בעלויות הדלק, במיכון ותחזוקתו, בכוח עבודה ובזמן שמושקע בפליחת הקרקע והכנתה לעונת גידולים<sup>25</sup>.

שלב גידולי כיסוי (גידולי שירות) בין עונות הגידולים ובין שורות הגידולים, הינה פרקטיקה מקובלת לשיפור והעצמת היתרונות של שיטות החקלאות המשמרת וכלי אגרונומי להגדלת מגוון המינים בשדה. גידולי שירות יוצרים שכבת מגן על פני הקרקע מפגיעה ישירה של הגשם ושל הרוח ובכך עוזרים להקטין את אובדן הקרקע בתהליכי הסחיפה על ידם. בנוסף, גידולי השירות משפרים את מבנה הקרקע ואת חידור מי הגשמים לקרקע; ממתנים את משרעת הטמפרטורה היומית שלה; ומקטינים את אובדן המים באידוי מפניה. כמו כן, גידולי השירות עוזרים למחזר ולשמר את עודפי יסודות ההזנה בין עונות הגידולים; מגבילים את שגשוגם של עשבים שוטים; ומעשירים את מאגרי החומר האורגני ואת אצירת הפחמן בקרקע. יתרה מכך, הם מהווים מקור מזון למאביקים, וכאשר חלק מגידולי השירות הן קטניות, הקרקע מועשרת בחנקן<sup>118-115, 108</sup>.

מחזור של מגוון גידולים<sup>108</sup>, ורצוי במחזורים של דגן וקטניות, עשוי לשפר את פוריות הקרקע בזכות מערכות שורשים שונות שמאפשרות לספוג חומרי הזנה מעומקים שונים, ובכך לשמור על איזונים לכל עומק הקרקע. קטניות מקבעות חנקן בקרקע, יסוד חשוב לשגשוג הצומח, ובכך מעשירות את הקרקע ותורמות ליבול של גידולים אחרים. גידולים שונים הם בעלי מבנים אורגניים שונים, שחלקם יותר עמידים לפירוק כמו בקטניות<sup>119</sup> ומכילים נוטריינטים בריכוזים שונים ובכך מעשירים ומגוונים את המאגרים<sup>120</sup>. המחזוריות משפרת את השימוש במים בזכות שורשים שמגיעים לעומקים שונים ובכך מתאפשר חיסכון במים. כמו כן, יש הפחתה במגוון וכמות המזיקים והמחלות מאחר וגידולים שונים רגישים למזיקים ומחלות שונים ולכן, כאשר מתקיימים סבבים של גידולים, הסיכוי לשגשוג המחלות והמזיקים קטן בהעדר מארחים לפרקי זמן ארוכים. ובנוסף המגוון הביולוגי וכמות החיידקים שבקרקע גדלים<sup>121</sup>. בישראל פרקטיקה זו מיושמת לרוב.

חשוב לזכור כי היתרונות של חקלאות משמרת ויכולת הטמעתה תלויים בגורמים אגרו-אקולוגיים וסוציו-אקונומיים ויש להתאימם לסביבה ולמיישמים לקבלת תוצאות מיטביות ולהתגברות על המכשולים<sup>122</sup>. בממשק אי פליחה באקלים ים תיכוני ובש למחצה בשנים שכוונות, זמינות המים עבור גידולי השירות היא מוגבלת. לצד זאת, באקלים ממוזג בקרקעות שאינן מתנקזות באופן מיטבי, ממשק אי פליחה גורם לירידה בפעילות הביולוגית והשהייה של נביטת הזרעים. כמו כן, תתכן השתלטות של עשבים שוטים שמתחרים עם הגידולים החקלאיים על המשאבים, ולכן מחייבים שימוש נוסף בקוטלי עשבים. לחיפוי קבוע עלולים להיות חסרונות כגון: מהווה מקום מחייה ושגשוג של נברנים (שעושים נזקים לגידול ולצידוד החקלאי); בשטחים שטוחים הרגישים לקרה הוא מקטין את זרימת האויר ומגביר את הסכנה להיווצרותה; גידולי השירות עלולים להתחרות על המים עם הגידולים החקלאיים, והטמעתו דורשת שינוי והתאמה של המיכון החקלאי.



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



בנוסף לתועלות המיידיות שביישום חקלאות משמרת, הפוטנציאל שלה משמעותי בטווח הארוך ובעל תרומה חשובה ביותר להעשרה והעצמת שירותי המערכת: בשימור משאבי הקרקע והמים ובהבטחת ביטחון תזונתי; בהפחתת זיהום הקרקע, המים, והאוויר; בהגדלת המגוון הביולוגי בסביבה החקלאית; בשימוש מופחת באנרגיה; בצמצום פליטות גזי החממה ואצירת פחמן אורגני בקרקע; בהיערכות ופיתוח חוסן מפני שינוי האקלים<sup>50,52,67,72,123</sup>. חשוב לציין כי להשגת כלל התועלות שבמעבר לחקלאות משמרת והגעה לאיזון חדש במערכת האגרונומית דרוש זמן של כ- 5-7 שנים, לכן יש להתאזר באורך רוח עד לביסוס התועלות, כמו גם עד הגדלת כושר הייצור וביסוס הרווחיות בטווח הארוך<sup>95,124,125</sup>.

### גזי החממה, ההתחממות הגלובלית וההשפעות על החקלאות

גזי החממה העיקריים הם פד"ח, פחמן חד-חמצני, תחמוצות חנקן, מתאן ואדי מים<sup>126</sup>. באופן טבעי, גזי החממה לוכדים את קרינת החום החוזרת מפני כדור הארץ ומותירים אותה באטמוספירה. בכך, יוצרים את אפקט החממה ומאפשרים טמפרטורות נוחות לקיום החיים על פני כדור הארץ. ללא גזי החממה הטמפרטורות היו נמוכות מדי וחיים לא היו מתאפשרים<sup>126,127</sup>. למרות יתרונה של תופעה טבעית זו, בעקבות הפעילות האנושית הגוברת, בעיקר מאז תחילת העידן התעשייתי, הופר האיזון הטבעי בריכוז גזי החממה באטמוספירה ונמדדת עלייה מתמדת שלהם, אשר מגבירה את אפקט החממה וגורמה לעליה בטמפרטורה הממוצעת<sup>127</sup>. המקור העיקרי של גזי החממה הינו שריפה מוגברת של דלקי מאובנים ליצירת אנרגיה. מקור נוסף משמעותי לפליטת גזי החממה הינו תהליך מתמשך בשינויים ביעוד הקרקעות כמו בירוא יערות, יבוש ביצות והסבת ערבות לשימוש חקלאי. שינויים אלו גרמו וגורמים להקטנה ניכרת במאגרי הפחמן האורגני האצור בקרקע, אשר נפלט לאטמוספירה כפד"ח. בנוסף, הפעילות החקלאית עצמה מהווה מקור לפליטות גזי חממה מגידול חיות משק, הפעלת מיכון חקלאי, ייצור והובלת דשנים, אנרגיה להשקיה ועוד<sup>67,128-130</sup>. לפי הערכות גלובליות עדכניות, מקורן של כ-70% מפליטות גזי החממה הוא בשריפת דלקי מאובנים לצורכי יצירת אנרגיה המשמשת לייצור חשמל, לתעשייה ולתחבורה; כ-11% בחקלאות, כ-10% בשינויים בשימוש הקרקעות וכ-9% במקורות אחרים<sup>8</sup>.

פד"ח הוא הנפוץ ביותר בין גזי החממה שמקורם בפעילות האנושית, ולכן תרומתו להתחממות הגלובלית היא מכרעת לעומת גזי חממה אחרים. ריכוזו של פד"ח באטמוספירה נע בטווח של 180-290ppm במשך 2.1 מיליון השנים שלפני העידן התעשייתי. ב-2018 הריכוז הגיע ל-407ppm, נתון הגבוה בכ-40% בהשוואה לעידן הטרורם-תעשייתי<sup>131,132</sup>.

התגברות פליטות גזי החממה מאז המהפכה התעשייתית וההתפתחות הטכנולוגית, ובעיקר מאז 1950, גרמה לעליה של כ-0.85°C בטמפרטורה הממוצעת של פני כדור הארץ והמגמה איננה משתנה. אם עד שנות החמישים של המאה הקודמת ניתן היה להסביר חלק מההתחממות בתרומתם של אירועים טבעיים, הרי כיום המודלים מראים כי מקור ההתחממות הוא אנתרופוגני<sup>126,127</sup>. הערכה של שינויים אלה מתאפשרת באמצעות מודלים



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



חדישים שלוקחים בחשבון את כל ההיבטים של המערכות הפועלות על פני כדור הארץ – פיזיקליות, כימיות וביולוגיות<sup>133</sup>. יחד עם נתוני ריכוזים של גזי החממה, המודלים מדמים את ההשפעות ההדדיות המתקיימות בין כל המרכיבים. מודלים אלה מצליחים לחזות את השינויים בדיוק רב יותר, לעומת מודלים אקלימיים שלוקחים בחשבון את ההיבטים הפיזיקליים של האטמוספירה והאוקיאנוסים בלבד<sup>134</sup>. על סמך הערכות מתחזיות, במידה והאנושות לא תמתן את פליטות גזי החממה, הטמפרטורה הממוצעת תעלה ב-  $1-4^{\circ}\text{C}$  נוספות במהלך המאה הנוכחית<sup>4,127,135,136</sup>. הדבר יפגע בכל מארג עולם החי והצומח בים וביבשה ויגביר את תדירות התרחשות ואת עצמתם של אירועי הקיצון במזג האוויר. מגמות אלו נצפות כבר בימינו: שינוי במחזור המים הגלובלי (בצורות, הצפות, הוריקנים, הפשרת קרחונים, עליית פני האוקיאנוסים), גלי חום וקור קיצוניים, ושינויים בתפוצת מחלות ומזיקים בחקלאות. לכל אלה פוטנציאל לפגיעה ישירה ביבולים חקלאיים ובביטחון התזונתי<sup>16,67,126,137</sup>.<sup>139</sup> לשינויים אלה השלכות נרחבות, שעלולות להיות הרסניות, על תחומים חשובים לאנושות וביניהם זמינות של מים נקיים, בריאות האדם, תכנון ובנייה, כלכלה, גאו-אסטרטגיה, ועוד<sup>8</sup>.

שינויים אקלימיים אינם פוסחים על מדינת ישראל. מאז שנת 1950, בה החלו מדידות שיטתיות באופן ממוסד, ישראל חווה את השינויים. הטמפרטורה הממוצעת עלתה בכ-  $1.4^{\circ}\text{C}$ , כאשר מגמת השינוי המשמעותית חלה מאז שנות ה-90 של המאה הקודמת. הצפי הוא לעליה של  $0.9-1.2^{\circ}\text{C}$  נוספות בממוצע עד סוף שנת 2050<sup>140</sup>. גובה פני הים – מאז שנת 1992 גובה פני הים עלה בכ- 13 ס"מ; עליה של כ- 0.6 ס"מ בממוצע בשנה. בשלושים השנים האחרונות נצפית מגמת הפחתה בכמות המשקעים הכללית, אם כי ללא מובהקות סטטיסטית בגלל תנודתיות חדה משנה לשנה. אך מודלים צופים הפחתה של משקעים בשיעור ממוצע של 15-25% לקראת סוף המאה הנוכחית יחד עם עליה באירועי גשם קיצוניים<sup>49</sup>. בנוסף לכך, מסתמנת מגמת התפשטות של האזורים היבשים צפונה ומערבה בשיעור של 1% לעשור<sup>140-142</sup>.

כתוצאה משינויים מתמשכים בשימושי הקרקע (בעיקר לטובת בנייה), נגרמת עליה בכמויות הנגר העילי, אשר אינו מספיק לחלחל אל מי התהום, וסוחף את הקרקע עימו. בדרכו, הנגר הרב גורם להצפות ושיטפונות בשטחים הבנויים, שהולכים ומתרחבים ומונעים חלחול, כפי שהתרחש בחורף 2019-2020 באזורים רבים ברחבי הארץ. יש להתייחס לעניין זה לאור המגמה החיובית (אם כי לא מובהקת סטטיסטית) של אירועי גשם קיצוניים (סופתיים)<sup>142</sup>.

### מקורות הפליטה של גזי החממה בעולם ובישראל

לפי נתוני עדכניים משנת 2017, פליטות גזי החממה של ישראל מהוות כ- 0.5% מכלל פליטות של מדינות ה-OECD בשנה (כ- 80 מיליון טון מתוך כ- 15 מיליארד טון)<sup>11,74</sup>, וכ- 0.16% מכלל הפליטות העולמיות בשנה העומדות על כ- 49 מיליארד טון<sup>8,143-146</sup>. על-אף ששיעור הפליטות של ישראל הוא מזערי ביחס לעולם, ישנה חשיבות בלתי מבוטלת בהפחתת הפליטות המקומיות של גזי החממה משום התועלות הנלוות לכך כגון: הפחתת



מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



פליטות של מזהמים נוספים, התייעלות אנרגטית, היערכות ופיתוח חוסן מפני שינוי האקלים, ולקחת חלק במאמץ הבינלאומי להפחתת הפליטות<sup>73</sup>.

עיקר הפליטות של גזי החממה בענף החקלאות הן של מתאן ( $CH_4$ ) וחמצן-דו-חנקתי ( $N_2O$ ). מקורו של המתאן הוא מגידול חיות משק, והוא נוצר בתהליך של תסיסת המזון בקיבות מעלי הגרה, ומגידול אורז. מקורו של חמצן-דו-חנקתי (בתהליכי ניטריפיקציה ודה-ניטריפיקציה) הוא בפרש חיות משק שחלקו נשאר במרעה, וחלקו מעובד, מאוחסן ומפוזר בשדות למטרת דישון. בנוסף, חמצן-דו-חנקתי נפלט מהקרקע כתוצאה משימוש בדשנים סינתטיים, משאריות גידולים בשדה, ומקומפוסט ובוצה המפוזרים בשדות<sup>67,69,70</sup>. הדיווחים לגופים השונים נעשים על סמך ההנחיות של IPCC שפורסמו בשנת 2006<sup>7</sup>. בהתאם לדיווחים, פליטות בענף החקלאות הם מהמקורות הבאים: תסיסה בקיבות של מעלי גרה\*, טיפול ושימוש בפרש\*, דשנים סינתטיים\*, גידול אורז, קרקע חקלאית אורגנית, שאריות גידולים וקש בשדה\*, שריפת שאריות גידולים בשדה\*, שריפת סוואנות יזומות (קטגוריות שמסומנות ב-\* רלוונטיות גם לישראל, אם כי השארה ושריפה של שאריות גידולים בשדות היא זניחה)<sup>7</sup>. חשוב לציין כי פליטות ישירות של פד"ח בענף החקלאות, שמקורן לרוב משימוש בחשמל להשקיה וצרכים אחרים ומשריפת דלקי מאובנים להפעלת כלים חקלאיים, כמו גם פליטות חיצוניות שמקורן בייצור תשומות לחקלאות ושינוען, נספרות בתוך הפליטות הכלליות של מגזר האנרגיה, התעשייה והתחבורה<sup>7</sup>.

נתוני פליטות גזי החממה ששימשו אותנו לביצוע הערכות נלקחו מבסיסי נתונים רשמיים של מוסדות עולמיים, להם ישראל מדווחת את הנתונים (FAO, OECD, UNFCCC)<sup>11,147,148</sup>, כמו גם מתוך מסמכים רשמיים שנכתבו בישראל<sup>72,74</sup>. מאחר וישנם הבדלים, אם כי לא משמעותיים, בערכי הפליטות בין המקורות השונים, השתמשנו בערכים ממוצעים עבור הנתונים משנים 2015-2017.

על סמך הנתונים, פליטות עולמיות של גזי החממה מחקלאות עומדות על כ- 12% (שהם כ- 6 מיליארד טון ש"ע פד"ח) מסך כל הפליטות (כ- 49 מיליארד טון ש"ע פד"ח) בשנה. מתוכן, גידול חיות משק - 39%, טיפול ושימוש בפרש - 26%, שימוש בדשנים סינתטיים - 13%, גידול אורז - 10%, שונות - 12%<sup>143</sup>. מקורות אחרים לפליטות הם: ייצור חשמל, תחבורה ותעשייה - 70%; שינויים בשימושי קרקעות - כ- 10%; מקורות אחרים - כ- 89%.

בישראל, פליטות גזי החממה מענף החקלאות מהוות  $(\pm 0.3)$  2.5%, מתוך סך הפליטות הכולל (80 מיליון טון ש"ע פד"ח) בשנה שהם כ-  $(\pm 0.3)$  2 מיליון טון ש"ע פד"ח. מקורות הפד"ח העיקריים בחקלאות ישראל הינם: טיפול ושימוש בפרש - 48%, גידול חיות משק - 30%, שימוש בדשנים סינתטיים - 21%, שונות - 1%<sup>148</sup>. מקורות אחרים לפליטות גזי החממה בישראל הם: ייצור חשמל, תחבורה ותעשייה - 85%; אתרי הטמנת פסולת ומכוני טיהור שפכים עירוניים ותעשייתיים - 9%; ומקורות אחרים - 3%<sup>9,11,68,72-74,147,148</sup>.

#### מאמץ עולמי להפחתת פליטות גזי החממה

לאורך העשורים האחרונים הצטברו עדויות מדעיות חד משמעיות באשר להשפעות הישירות של פליטות גזי החממה, שמקורן בפעילות האנושית, על ההתחממות הגלובלית ועל שינוי האקלים כתוצאה מכך. בדו"ח צוות



מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



המדענים האחרון של IPCC נקבע חד משמעית כי קיימת התחממות גלובלית ושמאז 1950 נצפו אירועים שלא התרחשו במאות הקודמות: עליה בריכוזים של גזי החממה באטמוספירה, עליה בטמפרטורה הממוצעת של פני כדור הארץ והאוקיאנוסים, הפחתה בכמויות השלג, הפשרה של קרחונים, עלייה בגובה פני הים ועוד. עוד נקבע בדו"ח כי בעשור הראשון של המאה הנוכחית קצב העלייה בפליטות גזי החממה היה גבוה מזה שבעשורים הקודמים. הפאנל קבע, שעל מנת להגביל את עליית הטמפרטורה הממוצעת עד  $2^{\circ}\text{C}$  ביחס לשנת 1850 יש להפחית את הפליטות ב- 40-70% מהערך שנרשם בשנת 2010 ועמד על כ- 49 מיליארד טון ש"ע פד"ח, ולהמשיך ולהורידן עד אפס לקראת סוף המאה הנוכחית<sup>8,144</sup>.

החל משנת 1979, בה התקיים כנס האקלים העולמי הראשון, מתקיימות פעילויות בינלאומיות הקשורות לשינוי האקלים ומתפתחת ההבנה שיש לשנות את המצב. ב- 1988 הוקם ה- IPCC. בשנת 1992 נערכה ועידת כדור הארץ הראשונה ובה נחתמה אמנת האו"ם לנושא שינוי האקלים (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change). אמנה זו עומדת בבסיס המאמץ הבינלאומי להפחתת פליטות גזי החממה. בשנת 1997 אומץ פרוטוקול קיוטו, שמהווה נספח לאמנה, המחייב 37 מדינות מפותחות לעמוד ביעדים מוגדרים להפחתת פליטות גזי החממה<sup>149</sup>. בשנת 2015 הושק הסכם פריז<sup>150</sup> במהלך ההתכנסות של UNFCCC ובו הוחלט להיאבק בשינוי האקלים, להאיץ ולהעצים את הפעולות וההשקעות הדרושות להפחתת פליטות גזי החממה בטווח הארוך, למזער את הנזק הקיים ולהיערך לשינוי האקלים תוך כדי תמיכה במדינות המתפתחות.

בהסכם זה שלוש מטרות עקרוניות:

1. להגביל את עליית הטמפרטורה הממוצעת העולמית עד סוף המאה ה- 21 מעל לזו ששררה בתקופה הטרום תעשייתית ולשאוף להגביל את העלייה עד  $1.5^{\circ}\text{C}$  בלבד.
2. לשפר את יכולת המדינות להתמודד עם השפעות שינוי האקלים.
3. לעודד הזרמת תקציבים להפחתת פליטות גזי החממה ופיתוח חוסן מפני שינוי האקלים.

קיימים שני כלים אינטרנטיים למעקב אחר עמידה ביעדי ההסכם של המדינות השונות<sup>151,152</sup>, ולפיהם ועל סמך מאמרים נוספים, נראה כי בשלב זה מדינות העולם אינן עומדות בהם<sup>153,154</sup>. חוקרים אחרים טוענים כי היעד של  $2^{\circ}\text{C}$ -1.5 איננו מספיק ויש צורך בנקיטת פעולות דרסטיות ומידיות כדי שלא נגיע לנקודת אל-חזור, בה העלייה בטמפרטורה הממוצעת עלולה להכפיל את עצמה<sup>155,156</sup>.

לצד הסכמי פריז, הושקה היוזמה per 1000 initiative<sup>157</sup> על ידי ממשלת צרפת, המעודדת את מדינות העולם להגדיל את תכולת הפחמן האורגני בקרקע ב- 40 ס"מ העליונים ב- 4 פרומיל בשנה, על מנת לפצות על עליית קצב פלטות גזי החממה בנוסף להבטחת ביטחון תזונתי. המדינות שהצטרפו ליוזמה הן: ניו זילנד, צילה, דרום אפריקה, אוסטרליה טנזניה, אינדונזיה, קניה, ניגריה, הודו, סין, טאיוואן, קוריאה הדרומית, ארה"ב, צרפת, קנדה, בלגיה, אנגליה, אירלנד, סקוטלנד, ורוסיה.

## התרומה של ישראל להפחתת פליטות גזי החממה

במרוצת השנים, תוך הבנה כי על ישראל להיערך לשינוי האקלים ולפתח חוסן, ועל מנת לקחת חלק במאמץ הבינלאומי, אימצה ממשלת ישראל החלטות המשפיעות על יכולתה להפחית את כמות הפליטות על ידי התייעלות אנרגטית ומעבר חלקי לאנרגיות מתחדשות. בשנת 2015 ישראל הצטרפה להסכם פאריז וב-2016 אשררה אותו. ההסכם מחייב את כל מדינות העולם לקבוע יעדים לאומיים להפחתת פליטות גזי החממה ולהכין תוכניות יישום<sup>150</sup>. בשנת 2015 התקבלה החלטת ממשלה חדשה שמספרה 542 בנושא "הפחתת פליטות גזי חממה וייעול צריכת האנרגיה במשק", בה מוגדרים יעדי הפחתת פליטות שהציבה ישראל לקראת ההצטרפות להסכם פאריז<sup>158</sup>. בשנת 2018 התקבלה החלטת ממשלה 4079 בנושא "היערכות ישראל להסתגלות לשינוי האקלים: יישום המלצות לממשלה לאסטרטגיה ותכנית פעולה לאומית"<sup>159</sup>. בהחלטה זו ישראל מכירה בשינוי האקלים ובצורך להיערך להשפעותיו. ההחלטה מאמצת את העקרונות שגובשו במסמך היערכות ישראל להסתגלות לשינוי אקלים: המלצות לממשלה לאסטרטגיה ותוכנית פעולה לאומית"<sup>160</sup>, שהגיש המשרד להגנת הסביבה לממשלה בדצמבר 2017 ועל פיו מדינת ישראל תפעל להשגת המטרות הבאות:

1. צמצום הפגיעות בנפש וברכוש ובניית חוסן כלכלי.
2. נקיטת אמצעים להגדלת העמידות של המערכות הטבעיות.
3. השתלבות ישראל במאמץ העולמי בהתאם לחובותיו.
4. קידום שיתופי פעולה אזוריים ובין-לאומיים.

לצורך ביצוע ההחלטה הוקמה "מנהלת היערכות לשינוי אקלים" הכוללת נציגים מ-33 משרדי ממשלה, רשויות ממשלתיות וארגונים לא-ממשלתיים, בראשות סמנכ"ל אשכול משאבי טבע של המשרד להגנת הסביבה. המנהלת החלה בעבודתה בדצמבר 2018 ופועלת באמצעות ועדות משנה כדי לתכלל את כל הפעולות הנדרשות ליישום ההחלטה. כמו כן, נקבע בהחלטה, כי ישראל תפעל להגברת המוכנות באמצעות יישום תוכניות פעולה ונקיטת צעדי מדיניות אשר יקטינו את הסיכון הבריאותי, הסביבתי והכלכלי, ואף יעודדו ניצול הזדמנויות הקשורות לשינוי האקלים להפקת תועלת אפשרית ממנו.

מאחר שישראל נמצאת באזור רגיש מאוד מבחינת השפעות שינוי האקלים, כבר כיום קיים חשש גדול שבאזורנו ההתחממות תהיה מעבר ל-1.5°C עד סוף המאה ה-21. ההשלכות על חיי תושבי מדינת ישראל והאזור כולו עלולות להיות משמעותיות והרות גורל. אי לכך, מתחדד הצורך בהיערכות נכונה של כלל המשק הישראלי לשינוי האקלים. פעילות המנהלת תואמת את מאמצי ישראל לעמידה ב"יעדי פיתוח בר-קיימא" של ארגון האומות המאוחדות (SDGs - Sustainable Development Goals) ומשולבת בהם<sup>161</sup>.

על מנת לעמוד בחלק מהתחייבויותיה של ישראל באמנות הבינלאומיות (ובפרט הסכם פאריז) ישראל מחויבת להורדת הפליטות של גזי החממה<sup>71</sup>. להשגת מטרה זו החקלאות הישראלית יכולה לתרום חלק קטן אך לא מבוטל על ידי אצירת פחמן אורגני באמצעות אימוץ עקרונות החקלאות המשמרת שפורטו לעיל. כפי שהוזכר עוד, לאצירת הפחמן האורגני בקרקע חשיבות כבירה לשיפור מבנה ובריאות הקרקע, הפחתה משמעותית בקצבי



מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



סחיפת הקרקע, הגדלת אוגר המים בקרקע הזמינים לצמח, הקטנת נפחי הנגר העילי והקטנת הסיכון לשיטפונות, ותרומה לשירותי מערכת נוספים.

האגף לשימור קרקע וניקוז במשרד החקלאות ופיתוח הכפר שם לו למטרה לקדם את החקלאות המשמרת בישראל, שלה כאמור תועלות רבות ומגוונות, וגם תרומה רבה לפיתוח חוסן מפני שינוי האקלים והבטחת ביטחון תזונתי. החקלאות המשמרת משתלבת ב- SDGs רבים<sup>162,163</sup>.

### תיאור מהלך הערכת פוטנציאל אצירת פחמן אורגני בקרקע חקלאית בישראל

בעבודה זו ביצענו הערכה ארצית ראשונית של כמות הפחמן האורגני האצור בקרקע החקלאית בישראל ב- 30 ס"מ העליונים ואת הפוטנציאל לאצירת פחמן נוספת, במידה ותיושם חקלאות משמרת בכל השטח החקלאי, ואת התרומה שבכך לקיזוז פליטות גזי החממה של ישראל בכלל ושל ענף החקלאות בפרט. לשם כך נעזרנו בשכבות מידע קיימות וזמינות לניתוח מרחבי-כמותי: שכבת מיפוי החלקות החקלאיות בישראל של משרד החקלאות<sup>164</sup> ומפת חבורות הקרקע של ישראל<sup>165</sup>. על מנת לחשב את כמות הפחמן האורגני האצורה ואת פוטנציאל אצירתו נעזרנו במסמך ההנחיות של FAO<sup>166</sup>, שמטרתו לייצר מיפוי והערכה עולמית של מאגרי פחמן אורגני. לחישוב כמות הפחמן האורגני נעשה שימוש בנוסחה  $SOC = d \cdot BD \cdot OC \cdot A$  כאשר:

**SOC (Soil Organic Carbon)** – כמות פחמן אורגני אצור (טון).

**d (depth)** – עומק (מטר). החישובים מתייחסים לעומק של 0.3 מטר שמחולק לאופק A (0-0.1 מטר) ומתחתיו אופק B (0.1-0.3 מטר) (טבלה 1). החישובים נעשו באופן משוקלל המעניק ערך יחסי של 1/3 לאופק A ו- 2/3 לאופק B.

**OC (Organic Carbon)** – תכולת פחמן אורגני בקרקע על סמך מדידות (%).

**A (Area)** – שטח (דונם).

**BD (Bulk Density)** – צפיפות גושית (טון/מטר מרובע). ערך הצפיפות הגושית, המבטא את משקל הקרקע ביחס לנפחה, הוא הפרמטר החשוב ביותר לחישוב מאגרי הפחמן האורגני בקרקע. למרות זאת, מדד זה אינו נדגם דיו, ולרוב משתמשים במחקרים ובעבודות בעולם בהערכות תאורטיות בלבד. לפיכך, עלולים להיות הבדלים משמעותיים בין ההערכות השונות של כמויות הפחמן האורגני בקרקע<sup>167,168</sup>. גם עבור תכולת הפחמן האורגני קיים מחסור בנתונים. כמו כן, בדרך כלל המדידות אינן נעשות באופן סדיר ובו זמני עבור שני המדדים בעת דיגום קרקע חקלאית.

לצורך הערכה ראשונית השתמשנו בבסיסי נתונים שנאספו בשלוש השנים האחרונות במסגרת מחקרים במימון המדען הראשי של משרד החקלאות<sup>168,169</sup>. בהתבסס על נתונים אלו ומידע קודם, לצורך הערכה ראשונית, מספיק לחלק את הקרקע החקלאית בישראל על בסיס שלוש קבוצות מרקם (קל, בינוני וכבד). בהתאם לכך, סיווגנו את 89 חבורות הקרקע העיקריות לשלוש קבוצות אלה על בסיס האופק העליון (אופק העיבוד) שלהן.

נבחנו כלל טיפוסים הקרקע בתוך כל חבורה ועל פי החלטה מושכלת שייכנו את חבורות הקרקע<sup>165</sup> לשלוש קבוצות המרקם (נספח 1).

על מנת לחשב את סך השטחים החקלאיים עבור כל מרקם, בוצע "חיתוך" שכבת החלקות החקלאיות עם שכבת חבורות הקרקע (ומרקם האופק העליון שבהן). לצורך החישובים נלקחו חלקות חקלאיות ששטחן מעל 5 דונם ושקיים עבורן סיווג חבורות קרקע בבסיס הנתונים. בהתאם לכך, החישובים מתייחסים ל- 3.798 מיליון דונם מתוך 4.164 מיליון דונם של קרקע המוגדרת חקלאית. בהתאם לזאת, הושמטו כ- 9% מהשטח המוגדר כחקלאי, מכיון ששטחים הקטנים מ- 5 דונם לרוב מהווים שולי שדות שאינם מעובדים או לחלופין טעויות ברישום ועיבוד הנתונים. לאחר פעולה זו קיבלנו את החלוקה הבאה (טבלה 3): 2.334 מיליון דונם על קרקע בעלת מרקם כבד; 1.070 מיליון דונם על קרקע בעלת מרקם בינוני; ו- 0.394 מיליון דונם על קרקע בעלת מרקם קל. לשם חישוב כמות הפחמן האורגני האצור בקרקע החקלאית כיום (חקלאות אינטנסיבית בעיקרה) חישבנו את תכולת הפחמן האורגני והצפיפות הגושה הממוצעים עבור דגימות הקרקע שמקורן בחלקות חקלאיות מאזורים שונים ובעלות המרקמים השונים (טבלה 1).

**טבלה 1** תכולת פחמן אורגני וצפיפות גושה ממוצעים (כולל סטיות תקן), כפי שנמדדו בקרקעות חקלאיות במסגרת המיזם לפיתוח מדד לבריאות הקרקע בישראל ובמסגרת הפרויקט לפיתוח והקמה של ספריה ספקטרלית לאומית של קרקעות ישראל. הערכים מתייחסים לאופקים A ו-B בהתאם למרקמי הקרקעות.

צפיפות גושה (טון/מטר מרובע, ממוצע)	תכולת פחמן אורגני (%, ממוצע)	מרקם
1.28±0.14 (n=36)	1.02±0.36 (n=83)	כבד
1.3±0.15 (n=18)	1.09±0.34 (n=41)	אופק A-0-10 ס"מ
1.26±0.12 (n=18)	0.95±0.37 (n=42)	אופק B-10-30 ס"מ
1.54±0.24 (n=24)	0.78±0.52 (n=64)	בינוני
1.47±0.25 (n=12)	1.04±0.52 (n=35)	אופק A-0-10 ס"מ
1.61±0.22 (n=12)	0.47±0.33 (n=29)	אופק B-10-30 ס"מ
1.72±0.21 (n=14)	0.15±0.07 (n=28)	קל
1.63±0.22 (n=7)	0.21±0.04 (n=13)	אופק A-0-10 ס"מ
1.82±0.15 (n=7)	0.11±0.06 (n=15)	אופק B-10-30 ס"מ
1.45±0.26 (n=74)	0.79±0.5 (n=175)	סה"כ



**טבלה 2** נתונים מתוך שני מחקרים שנערכו בישראל לבחינת פוטנציאל השינוי (מקדם השינוי) בכמות הפחמן האורגני בקרקע חקלאית (עבור 10 ס"מ העליונים) במעבר מחקלאות קונבנציונלית לחקלאות משמרת. נמצא כי כמות הפחמן האורגני עשויה לעלות פי 1.75 (מקדם שינוי מצרפי ממוצע) בתוך 5-10 שנים מתחילת יישום עקרונות החקלאות המשמרת. מכוון שאין נתונים עבור העומק של 10-30 ס"מ הערכנו באופן שמרני שמקדם השינוי המצרפי עבור עומק זה הוא 1.4).

מקדם שינוי מצרפי (מכפלת יחסי השינוי: פחמן אורגני * צפיפות גושית)	יחס השינוי (חקלאות משמרת/ חקלאות קוני')	חקלאות משמרת (לאורך 5 שנים לפחות)	חקלאות קונבנציונלית	מדד	מחקר
1.8	1.98	4.3	2.17	תכולת פחמן אורגני (%)	כבד (טרה רוסה) Leikin et al. <sup>170</sup>
	0.92	1.08	1.18	צפיפות גושית (טון/מטר רבוע)	
1.7	1.72	1.15	0.67	תכולת פחמן אורגני (%)	בינוני (לס) Eshel et al. <sup>125</sup>
	0.97	1.44	1.48	צפיפות גושית (טון/מטר רבוע)	

בהתאם לערכים בטבלה 1 ובהכפלתם בכלל שטחי הקרקע החקלאית (טבלה 3), בהתאם למרקמים השונים (נספח 1), כמות הפחמן האורגני האצורה באופק העליון (0.3 מטר) נאמדת בכ- 12.44 מיליון טון (טבלה 3). הערכות אילו נמצאות בהתאמה טובה מאוד עם הערכות של כמות פחמן אורגני בקרקעות העולם, ובכלל זה גם בישראל, העומדת על 2-3 טון פחמן אורגני לדונם<sup>171,172</sup>.

**טבלה 3** כמות פחמן אורגני בקרקע חקלאית והפוטנציאל לאצירתו. בטבלה מוצגות הערכות של כמות הפחמן האורגני בקרקע חקלאית תחת עיבוד קונבנציונלי (מצב קיים) בהתאם לשטחים עבור כל מרקם (כבד, בינוני וקל). בנוסף, מוצג הפוטנציאל המוערך לאצירת פחמן אורגני בכל שנה וכעבור 5 שנים במידה ותיושם חקלאות משמרת באופן מירבי על כלל השטחים.

תוספת פחמן אורגני במשך 5-10 שנים (מיליון טון)	כמות פחמן אורגני כעבור 5-10 שנים (מיליון טון)	כמות פחמן אורגני מצב קיים (מיליון טון)	שטח (מיליון דונם)	
4.72	13.61	8.9	2.334	כבד
1.87	5.12	3.25	1.070	בינוני
0.16	0.45	0.29	0.394	קל

				סה"כ
6.75	19.18	12.44	3.798	

במחקרים הבודדים שנערכו בישראל ובחנו את השפעת עקרונות החקלאות המשמרת לאורך זמן (מעל ל-5 שנים) על תכולת הפחמן האורגני והצפיפות הגושית בקרקע, נמצא כי כמות הפחמן האורגני עלתה, אך מצד שני, הצפיפות הגושית ירדה. לפיכך, מקדם השינוי המצרפי שמחושב על ידי הכפלת יחסי השינוי של תכולת הפחמן והצפיפות הגושית עומד על 1.75 (ממוצע) עבור 5 שנים (טבלה 2)<sup>125,170</sup>. בהתאם לכך ולהערכותינו, במידה ובכל שטחי חקלאות ישראל יאומצו שלושת עקרונות החקלאות המשמרת, כמות הפחמן האורגני האצור עשויה להגיע לכ- 19.18 מיליון טון (טבלה 3). כלומר, תהיה אצירה של כ- 6.75 מיליון טון פחמן אורגני נוספים בקרקע במשך 5-10 שנים (טבלה 3). בהתאם לכך (בהכפלה במקדם ההמרה 3.7<sup>30</sup>), כמות פד"ח שתקוזז מהאטמוספירה במרוצת 5-10 השנים תעמוד על כ- 24.96 מיליון טון ש"ע פד"ח שהם סך הפליטות מפעילות חקלאית בישראל למשך 10-15 שנים. כפי שפורט בפרק "מקורות הפליטות של גזי החממה בעולם ובישראל", פליטות גזי החממה מענף החקלאות בישראל נאמדות בכ- 2 (±0.3) מיליון טון ש"ע פד"ח בשנה המהוות כ- 2.5% (±0.3) מכלל הפליטות המקומיות בשנה<sup>11</sup>.

#### דיון וסיכום

לאור שינוי האקלים וצפי להחמרתו, הגידול באוכלוסייה ודרישה גוברת למזון, יחד עם הגרעה מתמשכת של קרקעות, משרד החקלאות ופיתוח הכפר בוחן דרכים בהן יוכל לסייע בהיערכות ובפיתוח חוסנה של מדינת ישראל לשינוי האקלים. האגף לשימור קרקע וניקוז במשרד החקלאות ופיתוח הכפר חותר להרחיב את יישומן והטמעתן של שיטות החקלאות המשמרת מפאת יתרונותיה בשמירה ושיפור של משאבי הקרקע, המים והסביבה, לעומת שיטות אחרות (חקלאות קונבנציונלית). לאחרונה, על מנת לשפר את המדיניות בתחום זה ולקבוע יעדים עדכניים, נערכה באגף עבודה הבוחנת את יישום החקלאות המשמרת בישראל, ונמצא כי ב- 13% משטחי החקלאות מיושמות שיטות עיבוד משמר או חקלאות משמרת ברמה גבוהה עד מיטבית<sup>27</sup>.

בעבודה זו סקרנו את היתרונות העצומים שביישום החקלאות המשמרת, לאור בעיית הגרעת הקרקעות, שמואצת בחקלאות הקונבנציונלית; שינוי האקלים, המוביל לדעת המומחים להחרפת הפגיעה בביטחון התזונתי; ולצורך לפעול להפחתת פליטות גזי החממה. בנוסף, ביצענו הערכת פוטנציאל האצירה של פחמן אורגני בקרקע חקלאית, והתרומה לקיזוז פליטות גזי החממה, במידה וגישת החקלאות המשמרת תהפך לנחלת הכלל בחקלאות ישראל. לאור הידע שנצבר ולהערכותינו, ביישום והטמעה של שיטות החקלאות המשמרת באופן גורף, נוכל להגדיל את אוגר הפחמן האורגני פי כ- 1.75 ב- 10 ס"מ העליונים ובכ- 1.4 ב- 20 ס"מ הבאים. בהתאם לכך, נוכל לקוזז את פליטות גזי החממה השנתיות של ישראל בכ- 2.5% למשך 10-15 שנים.

יתרה מכך, משבר וירוס ה-COVID-19 שפקד אותנו לאחרונה, והוביל להשבתת מדינות רבות בתחילת המגיפה ולשיבושים בהמשך, מדגיש את החשיבות של יצור מזון מקומי במדינת ישראל. בהתאם לכך, יש לשמר



**מדינת ישראל**  
**משרד החקלאות ופיתוח הכפר**  
**ניהול משאבי סביבה**



ולהעצים את החקלאות הישראלית תוך כדי שמירה ואף טיוב משאבי הקרקע והמים והעצמת תרומתה לשירותי המערכת, על מנת להבטיח את הביטחון התזונתי של אזרחי ישראל בשגרה ובעתות משבר. אנו מודעים היטב לעובדה כי תוצאות אלו הן פרי הערכות גסות וכי נדרשת עבודה מעמיקה ויסודית יותר על מנת להעריך באופן מדויק את הפוטנציאל הטמון בקרקעות ישראל לאצור פחמן אורגני במידה וממשק הגידול יהיה ברוח החקלאות המשמרת באופן גורף.

על מנת לבצע זאת אנו מוצאים לנכון להמליץ על מספר פעולות:

1. יש להגדיל את מאגר בסיס הנתונים, במיוחד במדידות של תכולת הפחמן האורגני בקרקע והצפיפות הגושית באופקים העליונים (0.3-0 מטר).
2. לכלול אזורים רבים יותר בעבודת ההמשך, מגוון רחב יותר של גידולים ושימושי קרקע, ולמדוד את הזמן שעבר משינוי הפרקטיקה החקלאית (מקונבנציונלית למשמרת), על מנת לבסס את קצבי השינוי ולדייק את פוטנציאל האצירה.
3. יש לחלק את הנתונים המחושבים מתוך החלקות החקלאיות גם על פי חלוקה לאזורי אקלים שונים.

לסיכום, אנו ממליצים להשקיע את המשאבים הנדרשים לצורך יישום והטמעה, באופן מירבי ונרחב, של הגישה האגרונומית המתבססת על שלושת עקרונות החקלאות המשמרת. חשוב לציין, כי להשגת כלל התועלות והגעה לאיזון מחדש של המערכת האגרונומית בעקבות המעבר לחקלאות משמרת נדרשות 5-7 שנים. לכן דרוש אורך רוח בהמתנה לביסוס התועלות האגרונומיות, הסביבתיות והכלכליות. פיתוח חוסן מפני שינוי האקלים, הפחתה ומניעה של הגרעת הקרקע החקלאית, הפחתת הפגיעה במשאבי המים והסביבה תוך הבטחת ביטחון תזונתי, באמצעות ייצור מזון טרי ומקומי לנו ולדורות הבאים, הינם צורך חיוני למדינת ישראל.



מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



מקורות

1. Lal, R. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy* **36**, S33–S39 (2011).
2. Lal, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *Eur. J. Soil Sci.* **60**, 158–169 (2009).
3. Prince, S. *et al.* Status and trends of land degradation and restoration and associated changes in biodiversity and ecosystem functions. *The IPBES assessment report on land degradation and restoration* (2018).
4. Stocker, T. F. *et al.* *Climate change 2013. Cambridge University Press* (2013) doi: 10.1017/CBO9781107415324.Summary.
5. EuroStat. Glossary: Carbon dioxide equivalent. [https://www.eea.europa.eu/help/glossary#c4=10&c0=all&b\\_start=0&c2=Carbon dioxide equivalent](https://www.eea.europa.eu/help/glossary#c4=10&c0=all&b_start=0&c2=Carbon dioxide equivalent).
6. Gohar, L. K. & Shine, K. P. Equivalent CO<sub>2</sub> and its use in understanding the climate effects of increased greenhouse gas concentrations. *Weather* **62**, 307–311 (2007).
7. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (2006).
8. Pachauri, R. K. & Meyer, L. A. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC* (2014) doi: 10.1016/S0022-0248(00)00575-3.
9. Climate Watch Data - GHG Emissions. Climate Watch Data - GHG Emissions. [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end\\_year=2016&start\\_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2016&start_year=1990).
10. United Nations. *Emissions Gap Report*. (2019).
11. OECD.Stat. [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR\\_GHG#](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_GHG#). [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR\\_GHG#](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_GHG#).
12. C2ES. Center for Climate and Energy Solutions - Global Emissions. *C2ES - Center for Climate and Energy Solutions* <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>.
13. Post, E. *et al.* Ecological dynamics across the arctic associated with recent climate change. *Science* vol. 325 1355–1358 (2009).
14. Bosello, F. & De Cian, E. Climate change, sea level rise, and coastal disasters. A review of modeling practices. *Energy Econ.* **46**, 593–605 (2014).
15. Xu, D., Li, C., Zhuang, D. & Pan, J. Assessment of the relative role of climate change and human activities in desertification: A review. *J. Geogr. Sci.* **21**, 926–936 (2011).
16. Meerburg, B. G. *et al.* Do nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change? *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **106**, 15594–15598 (2009).
17. Murray, V. & Ebi, K. L. IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX). *J. Epidemiol. Community Health* **66**, 759–760 (2012).
18. Parry, M. ., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. & Hanson, C. E. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press* (2007) doi: 10.1016/B978-008044910-4.00250-9.
19. Cline, W. R. Global warming and agriculture. *Financ. Dev.* **45**, 23–27 (2008).
20. Paudel, K. P. Global Warming, Impact on Agriculture and Adaptation Strategy. *Nat. Resour. Model.* **25**, 456–481 (2012).
21. Solomon, S. *et al.* *IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* vol. 59 (2007).
22. Krause, A. *et al.* Global consequences of afforestation and bioenergy cultivation on ecosystem service indicators. *Biogeosciences* **14**, 4829–4850 (2017).
23. Kane, D. Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices. *Natl. Sustain. Agric. Coalit. Breakthr. Strateg. Solut. LLC* (2015).
24. González-Sánchez, E. J. *et al.* *Conservation Agriculture: Making Climate Change Mitigation and Adaptation Real in Europe.* (2017). doi: 10.13140/RG.2.2.13611.13604.
25. Kassam, A., Friedrich, T. & Derpsch, R. Global spread of Conservation Agriculture. *Int. J. Environ. Stud.* **76**, 29–51 (2019).
26. Baranski, M. *et al.* Agricultural Conservation on Working Lands: Trends From 2004 to Present. *Off. Chief Econ. U.S. Dep. Agric. Washington, D.C.* 127 pages. Novemb. 2018. (2018).
27. עין מור, א., מאור, א. & יעקבי, ב. *חקלאות משמרת בישראל, מאפיינים ותמונת מצב* (2020).
28. Lal, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science (80- )*. **304**, 1623–1627 (2004).
29. Lal, R. Carbon sequestration. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **363**, 815–830 (2008).
30. Clara, L., Fatma, R., Viridiana, A. & Liesl, W. *Soil Organic Carbon, the hidden potential.* (2007).
31. Bhavya V. P., Anil Kumar S., Alur, A., Shivakumar, K. M. and Shivanna, M. Carbon Sequestration under Different Cropping Systems with Different Depth and Its Impact on Climate Change. *Int. J. Pure Appl. Biosci.* **6**, 1612–1616 (2018).
32. Abdalla, K., Chivenge, P., Ciaia, P. & Chaplot, V. No-tillage lessens soil CO<sub>2</sub> emissions the most under arid and sandy soil conditions: Results from a meta-analysis. *Biogeosciences* **13**, 3619–3633 (2016).
33. Sperow, M. Estimating carbon sequestration potential on U.S. agricultural topsoils. *Soil Tillage Res.* **155**, 390–400 (2016).
34. Grandy, A. S. & Robertson, G. P. Land-use intensity effects on soil organic carbon accumulation rates and mechanisms. *Ecosystems* **10**, 58–73 (2007).
35. Allmaras, R. R., Schomberg, H. H., Douglas, J. & Dao, T. H. Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands. *J. Soil Water Conserv.* **55**, 365–373 (2000).
36. Amundson, R. & Biardeau, L. Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **115**, 11652–11656 (2018).
37. בנדס-יעקב, א., דוניץ, ד., ברמניס, ע. & גלמן, א. *עמודות חקלאים על עשייה סביבתית. יום עיון נקודת חץ* 1–63 (2015).
38. Sarkar, R. Global challenges and adaptations in management practices to preserve soil carbon pool with changing climate. *Environ.*



## מדינת ישראל משרד החקלאות ופיתוח הכפר ניהול משאבי סביבה



- Earth Sci.* **77**, 1–10 (2018).
39. Dulal, H. B., Brodnig, G. & Shah, K. U. Capital assets and institutional constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* **16**, 1–23 (2011).
  40. Lipper, L., Dutilly-Diane, C. & McCarthy, N. Supplying carbon sequestration from West African rangelands: Opportunities and barriers. *Rangel. Ecol. Manag.* **63**, 155–166 (2010).
  41. Rodriguez, J. M., Molnar, J. J., Fazio, R. A., Sydnor, E. & Lowe, M. J. Barriers to adoption of sustainable agriculture practices: Change agent perspectives. *Renew. Agric. Food Syst.* **24**, 60–71 (2009).
  42. Kragt, M., Blackmore, L., Capon, T. & Robinson, C. J. What are the barriers to adopting carbon farming practices? 14 p. (2014).
  43. Andersson, J. A. & D'Souza, S. From adoption claims to understanding farmers and contexts: A literature review of Conservation Agriculture (CA) adoption among smallholder farmers in southern Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* **187**, 116–132 (2014).
  44. Teschner, N., Orenstein, D. E., Shapira, I. & Keasar, T. Socio-ecological research and the transition toward sustainable agriculture. *Int. J. Agric. Sustain.* **15**, 99–101 (2017).
  45. חסמים העומדים בפני חקלאי גוש בישראל בהטמעת ממשקים משמרי קרקע ודרכי פתרון - דוח סופי. שניא, ה.
  46. Lal, R. & Bruce, J. P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environ. Sci. Policy* **2**, 177–185 (1999).
  47. Cannell, M. G. R. Carbon sequestration and biomass energy offset: Theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. *Biomass and Bioenergy* **24**, 97–116 (2003).
  48. Smith, P. Carbon sequestration in croplands: The potential in Europe and the global context. *Eur. J. Agron.* **20**, 229–236 (2004).
  49. Pe'er, G. U. N. S. *Climate Change Israel National Report under The United Nations Framework Convention on Climate Change Impact, Vulnerability and Adaptation.* Change (2000).
  50. Ayalon, O. *et al. Adaptation to climate change in Israel.* (2014) doi: 10.1007/978-3-642-38670-1\_31.
  51. Snir, R. Global Warming's Impacts on Israel. *Natl. Environ. Trust* (2004).
  52. Axelrod, M. Y. *Israel's Second National Communication on Climate Change.* (2010).
  53. Green, M. S., Pri-or, N. G., Capeluto, G., Epstein, Y. & Paz, S. Climate change and health in Israel: Adaptation policies for extreme weather events. *Isr. J. Health Policy Res.* **2**, 1–11 (2013).
  54. (אייזן, א., שטרן, א. & אמדור, ל. משרד החקלאות - מיפוי השטחים החקלאיים בישראל 2015).
  55. Sposito, G. Green Water and Global Food Security. *Vadose Zo. J.* **12**, vjz2013.02.0041 (2013).
  56. Falkenmark, M. & Rockström, J. The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management. *J. Water Resour. Plan. Manag.* **132**, 129–132 (2006).
  57. Brouder, S. M. & Gomez-Macpherson, H. The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* **187**, 11–32 (2014).
  58. Chauhan, B. S., Singh, R. G. & Mahajan, G. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. *Crop Prot.* **38**, 57–65 (2012).
  59. Ranaivoson, L. *et al. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review.* *Agron. Sustain. Dev.* **37**, (2017).
  60. Kuhn, N. J. *et al. Conservation tillage and sustainable intensification of agriculture: regional vs. global benefit analysis.* *Agric. Ecosyst. Environ.* **216**, 155–165 (2016).
  61. Mondal, S. *et al. Conservation agriculture had a strong impact on the sub-surface soil strength and root growth in wheat after a 7-year transition period.* *Soil Tillage Res.* **195**, 104385 (2019).
  62. Sithole, N. J., Magwaza, L. S., Mafongoya, P. L. & Thibaud, G. R. Long-term impact of no-till conservation agriculture on abundance and order diversity of soil macrofauna in continuous maize monocropping system. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* **68**, 220–229 (2018).
  63. Page, K. L., Dang, Y. P. & Dalal, R. C. The Ability of Conservation Agriculture to Conserve Soil Organic Carbon and the Subsequent Impact on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties and Yield. *Front. Sustain. Food Syst.* **4**, 31 (2020).
  64. Choudhary, M. *et al. Soil bacterial diversity under conservation agriculture-based cereal systems in Indo-Gangetic Plains.* *J. Biotech.* **8**, 1–11 (2018).
  65. Scopel, E. *et al. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review.* *Agron. Sustain. Dev.* **33**, 113–130 (2013).
  66. Neumann, M. & Smith, P. Carbon uptake by European agricultural land is variable, and in many regions could be increased: Evidence from remote sensing, yield statistics and models of potential productivity. *Sci. Total Environ.* **643**, 902–911 (2018).
  67. פליטות גזי חממה בישראל - סקירת המצב הקיים ובחינת אמצעים להפחתה. עבור המשרד להגנת הסביבה. עבודה מס'. א. חפץ ושות' 2653/09 (2009).
  68. (2014). דו"ח ניטור ומעקב אחר יישום החלטות הממשלה לצמצום צריכת החשמל ולהפחתת פליטות גזי חממה 2014 המשרד להגנת הסביבה
  69. OECD *et al. Examining the potential for reduction of greenhouse gas emissions and a national goal for Israel.* *Spat. Plan. Policy Isr.* **2017**, 2016 (2016).
  70. Ministry of Environmental Protection & Eco Traders Ltd. Israel's First Biennial Update Report. (2015).
  71. Proactor, G., Cohen-Ginat, R., Rozen, A., Weinstein, E. & Elul, N. Israeli national plan to realize the Paris climate agreement. 32 (2016).
  72. Ministry of Environmental Protection & State of Israel. *Israel's Third National Communication on Climate Change.* (2018).
  73. נתניהו, ס. *et al. דוח מצב הסביבה בישראל. המשרד להגנת הסביבה.* (2017).
  74. Ayalon, O., Lev-On, M., Lev-On, P., Zarbib Tziyon, M. & Libas, I. *Greenhouse Gas Emissions Reporting and Registration System in Israel: Summary of Reports for 2016.* (2016).
  75. Montgomery, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **104**, 13268–13272 (2007).
  76. Gutman, J., Yaacoby, B., Laska, D., Zaidenberg, R. & Eshel, G. עידוד לשימור המשאב הציבורי באמצעות תמריצים. (2016). *אקולוגיה וסביבה* **7**, 136–127
  77. Gomiero, T. Soil degradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustain.* **8**, 1–41 (2016).
  78. Batjes, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* **47**, 151–163 (1996).
  79. Tamocai, C. *et al. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region.* *Global Biogeochem. Cycles* **23**, 1–11 (2009).
  80. Stavi, I. & Argaman, E. No-till systems: Gains and drawbacks for carbon sequestration, ecosystem services and environmental health. *Carbon Manag.* **5**, 123–125 (2014).
  81. van der Wal, A. & de Boer, W. Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition. *Soil Biol. Biochem.* **105**, 45–48 (2017).
  82. Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M. & Bloodworth, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* **116**, 61–76 (2003).
  83. FAO. *Intergovernmental Technical Panel on Soils. Status of the World's Soil Resources. Intergovernmental Technical Panel on Soils*

- (2015).
84. Dominati, E., Patterson, M. & Mackay, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecol. Econ.* **69**, 1858–1868 (2010).
  85. Smith, P. *et al.* REVIEW: The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. *J. Appl. Ecol.* **50**, 812–829 (2013).
  86. Robinson, D. A., Lebron, I. & Vereecken, H. On the Definition of the Natural Capital of Soils: A Framework for Description, Evaluation, and Monitoring. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **73**, 1904–1911 (2009).
  87. Robinson, D. A. *et al.* On the Value of Soil Resources in the Context of Natural Capital and Ecosystem Service Delivery. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **78**, 685–700 (2014).
  88. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. & Polasky, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* **418**, 671–677 (2002).
  89. Conacher, A. Land degradation: A global perspective. *N. Z. Geog.* **65**, 91–94 (2009).
  90. Zalibekov, Z. G. The arid regions of the world and their dynamics in conditions of modern climatic warming. *Arid Ecosyst.* **1**, 1–7 (2011).
  91. Stavi, I. & Lal, R. Agriculture and greenhouse gases, a common tragedy. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **33**, 275–289 (2013).
  92. Oldeman, L. R. Global Extent of Soil Degradation. *ISRIC Bi-Annual Rep.* **19.36** (1992) doi: 10.1006/gcen.1994.1156.
  93. Galloway, J. N. *et al.* Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science (80- )*. **320**, 889–892 (2008).
  94. FAO. How to Feed the World in 2050. (2009).
  95. Vastola, A. *et al.* A comparative multidimensional evaluation of conservation agriculture systems: A case study from a Mediterranean area of Southern Italy. *Land use policy* **68**, 326–333 (2017).
  96. 136–134, 4 אקולוגיה וסביבה. א. אגוזי, ג. אשל, ר. הקרקע בשטחים המעובדים נשמטת מתחת לרגליים. (2013).
  97. Oldeman, L. R. Soil degradation- a threat to food security. *ISRIC Bi-Annual Rep.* (1997).
  98. Gisladdottir, G. & Stocking, M. Land degradation control and its global environmental benefits. *L. Degrad. Dev.* **16**, 99–112 (2005).
  99. Stavi, I. & Lal, R. Achieving Zero Net Land Degradation: Challenges and opportunities. *J. Arid Environ.* **112**, 44–51 (2015).
  100. Miltner, A., Bombach, P., Schmidt-Brücken, B. & Kästner, M. SOM genesis: Microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry* **111**, 41–55 (2012).
  101. Gulde, S., Chung, H., Amelung, W., Chang, C. & Six, J. Soil Carbon Saturation Controls Labile and Stable Carbon Pool Dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **72**, 605–612 (2008).
  102. Jenkinson, D. S. & Rayner, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the rothamsted classical experiments. *Soil Sci.* **123**, 298–305 (1977).
  103. Cotrufo, M. F., Wallenstein, M. D., Boot, C. M., Deneff, K. & Paul, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: Do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Glob. Chang. Biol.* **19**, 988–995 (2013).
  104. Wilson, G. W. T., Rice, C. W., Rillig, M. C., Springer, A. & Hartnett, D. C. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: Results from long-term field experiments. *Ecol. Lett.* **12**, 452–461 (2009).
  105. Six, J., Elliott, E. T. & Paustian, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* **32**, 2099–2103 (2000).
  106. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. & Deneff, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* **79**, 7–31 (2004).
  107. Knowler, D. & Bradshaw, B. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* **32**, 25–48 (2007).
  108. FAO. the 3 Principles of Conservation Agriculture. *FAO Infographics* 3 (2014).
  109. Six, J., Elliott, E. T., Paustian, K. & Doran, J. W. Aggregation and Soil Organic Matter Accumulation in Cultivated and Native Grassland Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **62**, 1367–1377 (1998).
  110. Elliott, E. T. & Cambardella, C. A. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosyst. Environ.* **34**, 407–419 (1991).
  111. West, T. O. & Post, W. M. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **66**, 1930–1946 (2002).
  112. Govaerts, B., Sayre, K. D., Lichter, K., Dendooven, L. & Deckers, J. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* **291**, 39–54 (2007).
  113. Syswerda, S. P., Corbin, A. T., Mokma, D. L., Kravchenko, A. N. & Robertson, G. P. Agricultural Management and Soil Carbon Storage in Surface vs. Deep Layers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **75**, 92–101 (2011).
  114. Bronick, C. J. & Lal, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma* **124**, 3–22 (2005).
  115. Crews, T. E. & Rumsey, B. E. What agriculture can learn from native ecosystems in building soil organic matter: A review. *Sustain.* **9**, 1–18 (2017).
  116. Eshel, G. *et al.* Benefits of growing potatoes under cover crops in a Mediterranean climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* **211**, 1–9 (2015).
  117. 36–32, 70 אקולוגיה וסביבה. א. אגוזי, ג. אשל, ר. השפעת חיפוי קרקע על היווצרות נגר עילי בפרדסים. עלון הנוטע (2015).
  118. 2016) עלון הנוטע. pdf. שקולניק, ט., פרומן, א., אגוזי, ר. & אשל, ג. השפעת חיפוי פני השטח בפרדס צעיר על חידור מי הגשם.
  119. Feller, C. & Bernoux, M. Historical advances in the study of global terrestrial soil organic carbon sequestration. *Waste Manag.* **28**, 734–740 (2008).
  120. McDaniel, M. D., Grandy, A. S., Tiemann, L. K. & Weintraub, M. N. Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. *Soil Biol. Biochem.* **78**, 243–254 (2014).
  121. McDaniel, M. D., Tiemann, L. K. & Grandy, A. S. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecol. Appl.* **24**, 560–570 (2014).
  122. Lichtfouse, E. *Agroecology and Strategies for Climate Change. Sustainable Agriculture Reviews. Volume 8. Agroecology and Strategies for Climate Change* (2012). doi: 10.1007/978-94-007-1905-7\_7.
  123. Smith, P. & Olesen, J. E. Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *J. Agric. Sci.* **148**, 543–552 (2010).
  124. פרחא, י., הדס, א., ניומן, א., ארגמן, א. & בן-חור, מ. כדאיות כלכלית של שימוש בממשקי שימור קרקע כנגד סחיפה והידלדלות קרקעות בשטחי חקלאות פתוחים (2020).
  125. Eshel, G., Lifschitz, D., Bonfil, D. J. & Sternberg, M. Carbon exchange in rainfed wheat fields: Effects of long-term tillage and fertilization under arid conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* **195**, 112–119 (2014).
  126. Al-Ghussain, L. Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environ. Prog. Sustain. Energy* **38**, 13–21 (2019).
  127. Anderson, T. R., Hawkins, E. & Jones, P. D. CO<sub>2</sub>, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour* **40**, 178–187 (2016).



מדינת ישראל  
 משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
 ניהול משאבי סביבה



128. Dixon, R. K. *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* (80-. ). **263**, 185–190 (1994).
129. Mitsch, W. J. *et al.* Wetlands, carbon, and climate change. *Landsc. Ecol.* **28**, 583–597 (2013).
130. Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S. & Hawthorne, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* (80-. ). **319**, 1235–1238 (2008).
131. Friedlingstein, P. *et al.* *Global carbon budget 2019. Earth System Science Data* vol. 11 (2019).
132. Bärbel Hönlisch, N. Gary Hemming, David Archer, Mark Siddall, J. F. M. Atmospheric Carbon Dioxide Concentration Across the Mid-Pleistocene Transition. *Jay Cooke, Priv. Bank.* **324**, 1551–1555 (2009).
133. Jöckel, P. Earth System Modeling. *Climateurope* 577–590 <https://www.climateurope.eu/earth-system-modeling-a-definition/> (2012) doi: 10.1007/978-3-642-30183-4\_35.
134. GCM. Global Climate Model (GCM). *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* <https://www.gfdl.noaa.gov/climate-modeling/>.
135. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. W. *Summary for Policymakers. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to th.* *World Meteorological Organization* (2018) doi: 10.1017/CBO9781107415324.
136. NASA. NASA Earth Observatory. *NASA* <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming>.
137. בלאו, א., גרסל, נ. & הלפרין, א. התחממות כדור הארץ ושוק הפרמון הגלובלי - ההזדמנות העסקית שמאחורי היציאה ממשבר אקולוגי (2003).
138. Şen, Z. Global warming threat on water resources and environment: a review. *Environ. Geol.* **57**, 321–329 (2009).
139. Dosio, A., Mentaschi, L., Fischer, E. M. & Wyser, K. Extreme heat waves under 1.5 °C and 2 °C global warming. *Environ. Res. Lett.* **13**, (2018).
140. Yosef, Y. *et al.* Climate change in Israel – historical trends and future predictions of temperature and precipitation. 20 (2019).
141. Baruch, Z., Saaroni, H. & Alpert, P. *Temperature, heat-stress and rainfall fluctuations and trends in Israel during the last 30 years: is it an evidence for climatic change? Climatological-synoptic study.* (2011).
142. יוסף, י., חלפון, נ., פורת, ע., אוסטינסקי-צדקי, א. & פורשר, א. מגמות בארועי מזג אוויר קיצוניים בישראל דו"ח מחקר מס' 21921416, השיירות המטאורולוגי (2016).
143. Tubiello, F. N. *et al.* Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. *ESS Work. Pap. No.22*, 4–89 (2014).
144. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change* (2014) doi: 10.1017/cbo9781107415416.
145. EPA. EPA - United States Environmental Protection Agency. *EPA* <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.
146. FAOStat. The Contribution of Agriculture to Greenhouse Gas Emissions. *FAOSTAT Emissions shares* <http://www.fao.org/economic/ess/environment/data/emission-shares/en/>.
147. Climate Watch Data - Agriculture. *Climate Watch Data - Agriculture.* <https://www.climatewatchdata.org/sectors/agriculture?emissionType=104&emissionsCountry=ISR&filter=#drivers-of-emissions>.
148. FAOSTAT. FAO STAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
149. Zillman, J. A history of climate activities. *World Meteorol. Organ. Bull.* **58**, 141 (2009).
150. United Nations. *Paris Agreement.* (2015).
151. IPCC. The Climate Clock. *climateclock* <https://theconversation.com/the-climate-clock-counting-down-to-1-5-107498> (2019).
152. CAT. Climate Action Tracker. <https://climateactiontracker.org/countries/>.
153. Victor, D. G. *et al.* Prove Paris was more than paper promises. *Nature* **548**, 25–27 (2017).
154. Rogelj, J. *et al.* Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature* **534**, 631–639 (2016).
155. Paltan, H., Allen, M., Haustein, K., Fuldauer, L. & Dadson, S. Global implications of 1.5 °C and 2 °C warmer worlds on extreme river flows. *Environ. Res. Lett.* **13**, (2018).
156. Steffen, W. *et al.* Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **115**, 8252–8259 (2018).
157. 4 per 1000 initiative. <https://www.4p1000.org/>.
158. הפחתת ממשלה. הפחתת פליטות גזי חממה וייעול צריכת האנרגיה במשק. [https://www.gov.il/he/departments/policies/2015\\_dec542](https://www.gov.il/he/departments/policies/2015_dec542) (2015).
159. החלטת ממשלה. הערכות ישראל להסתגלות לשינויי אקלים: יישום ההמלצות לממשלה לאסטרטגיה ותכנית פעולה לאומית. [https://www.gov.il/he/departments/policies/dec4079\\_2018](https://www.gov.il/he/departments/policies/dec4079_2018) (2018).
160. *Israel's Preparations for Adaptation to Climate Change. Recommendations for National Strategy. Ministry of Environmental Protection* (2017).
161. רביב, ת. & זסיק, א. הערכות מדינת ישראל לשינוי האקלים. *אקולוגיה וסביבה* **10**, 19–20 (2019).
162. FAO. *Transforming Food and Agriculture To Achieve.* (2018).
163. Keesstra, S. *et al.* Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work. *Land* **7**, (2018).
164. מפות. אתר המפות של משרד החקלאות ופיתוח הכפר. <https://moag.maps.arcgis.com/home/index.html>.
165. דן, י. & רז, צ. מפת חבורות הקרקעות של ישראל: בקנה מידה 1:250,000 (1970).
166. FAO. GSP Guidelines for sharing national data / information to compile a Global Soil Organic Carbon ( GSOC ) map. 25 (2017).
167. Yigini, Y., Olmedo, G.F., Reiter, S., Baritz, R., Viatkin, K. and Vargas, R. *Soil Organic Carbon Mapping Cookbook 2nd edition. A Counter-History of Composition* (FAO, 2018). doi: 10.2307/j.ctt5hj1qxd.7.
168. מדד בריאות הקרקע: פיתוח וגיבוש מדד רב-גורמי לאפיון בריאות קרקע חקלאית ובחינתו במספר ממשקים משמרים דו"ח מדעי שני. אשל, ג. *et al.* (2018). (לתוכנית מחקר לקרן המדען הראשי משרד החקלאות 20-03-0002).
169. בן דור, א., אשל, ג., אגוזי, ר. & גולדשלגר, נ. פיתוח והקמה של ספרייה ספקטרלית לאומית של קרקעות ישראל לצורך אפיון כמותי רגיונלי דו"ח מדעי (2019). (סומי לתוכניות מחקר לקרן המדען הראשי משרד החקלאות 13-21-0001).
170. Leikin, M., Sternberg, M. & Eshel, G. *Understanding the effects of native vegetation groundcover on soil organic carbon and aggregate stability in Mediterranean vineyards.* (2020).
171. Minasny, B. *et al.* Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* **292**, 59–86 (2017).
172. Franzluebbers, A. J. Achieving Soil Organic Carbon Sequestration with Conservation Agricultural Systems in the Southeastern United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **74**, 347–357 (2010).

## נספח 1

חשוב להדגיש כי בחינת סיווג מרקם הקרקע באופק העליון על פי חבורה נעשתה מתוך עולם התוכן של שטחים מעובדים ולא שטחים טבעיים. כך לדוגמה, חבורת הקרקע E3 (חמרה), אשר מרבית טיפוסי הקרקע בה מאופיינים במרקם קל-בינוני, ידועה כקרקע סחופה ביותר, ובמיוחד בשטחים מעובדים החושפים את אופק B, שמרקמו דק-גרגר יותר, ולכן מרקם הקרקע של חבורה זו נקבע כבינוני. דוגמא נוספת בהקשר לשטחים המעובדים ניתן לראות ב"התעלמות" מהצורך לחשב את כמות האבן בקרקעות מסוימות בעת קביעת כמות הפחמן האורגני בהן. מרבית קרקעות המדבר, בעלות מרכיב אבן גבוה, אינן מעובדות ולמעשה לא נלקחו בחשבון בחיתוך שכבת החלקות החקלאיות עם מרקם האופק העליון על פי חבורות הקרקע. כמו כן, מרבית התיאורים של פרופילי הקרקע במאגרי המידע הלאומיים מגיעים מקרקעות מעובדות, ולרוב ישנה התעלמות מכמות האבן בצפיפות הגושית בשל אי הימצאותם בשכבה העליונה המעובדת.

בקרקעות מינרליות, מבוססת ההנחה שבאותו אזור אקלימי וסוג הקרקע, תכולת הפחמן האורגני נמצאת בשיווי משקל בהתאם לשימוש הקבוע בקרקע, ממשק העיבוד ומידת הפרתה<sup>30</sup>. כתוצאה מכך, כל שינוי בשימוש הקרקע, בממשק העיבוד ורמת הפרת הקרקע יביא לשינוי בתכולת הפחמן האורגני ומשוער כעליה ליניארית בתקופת זמן של 20 שנה. גם מתוך הנתונים שנבחנו נמצא כי הממוצע הרב שנתי בין מדידות אחוז הפחמן האורגני שנלקחו למטרות שונות במהלך 15-20 שנה האחרונות באותם השימושים ומשטרי העיבוד נשאר זהה עם סטיות תקן לא משמעותיות. היכן שלא מיושמות שיטות משמרות ניתן למצוא ערכים נמוכים של פחמן אורגני ולהבדיל, אחוז הפחמן האורגני גבוה יותר אנו מוצאים בקרקעות בהן מיושמות שיטות של עיבוד משמר וחקלאות משמרת.

לאור האמור ובהסתמך על כך שתכולת החומר/ הפחמן האורגני נמצאים בשיווי משקל בהתאם לממשק העיבוד, אנו יכולים להניח בוודאות גבוהה כי בעקבות המעבר ליישום והטמעה של ממשקים משמרי קרקע ומים תהיה עלייה באחוז החומר האורגני באזור אקלימי נתון, ולאחר מספר שנים (20-5) תישאר תכולת החומר האורגני הגבוהה יותר בשיווי משקל חדש.

סוג	מאפיינים	מרקם
A1	טרה רוסה ; על מדרונות תלולים -20% שיפוע ויותר	כבד
A2	טרה רוסה ; על מדרונות מתונים עד תלולים יחסית -עד 20% שיפוע	כבד
A3	טרה רוסה ורנדזינה ; על מדרונות תלולים -20% שיפוע ויותר	כבד
A4	טרה רוסה ורנדזינה ; על מדרונות מתונים עד תלולים יחסית -עד 20% שיפוע	כבד
A5	טרה רוסה אדומה ; על מדרונות תלולים -20% שיפוע ויותר	כבד



כבד	טרה רוסה אדומה ; על מדרונות מתונים עד תלולים יחסית -עד 20% שיפוע	A6
כבד	גרומוסול חום ; קרקעות קולוביות-אלוביות אדומות וטרה רוסה	A7
כבד	קרסנוזיום וטרה רוסה	A8
כבד	רנדזינה חומה ; על מדרונות תלולים -20% שיפוע ויותר	B1
כבד	רנדזינה חומה ; על מדרונות מתונים עד תלולים יחסית -עד 20% שיפוע	B2
כבד	רנדזינה חומה ורנדזינה בהירה ; על מדרונות תלולים -20% שיפוע ויותר	B3
כבד	רנדזינה חומה ורנדזינה בהירה ; על מדרונות מתונים עד תלולים יחסית -עד 20% שיפוע	B4
כבד	קרקעות קולוביות- אלוביות ורנדזינה	B5
כבד	גרומוסול חום ורנדזינה חומה	B6
כבד	קרקעות חומות כהות גרומוסוליות ורנדזינה חומה	B7
כבד	רנדזינה בהירה ; על מדרונות תלולים -20% שיפוע ויותר	C1
כבד	רנדזינה בהירה ; על מדרונות מתונים עד תלולים יחסית -עד 20% שיפוע	C2
כבד	פרוטוגרומוסול בזלתי	D1
כבד	פרוטוגרומוסול ורנדזינה בהירה	D2
כבד	גרומוסול חום שחרחר בזלתי ופרוטוגרומוסול בזלתי	D3
כבד	גרומוסול חום אדום בזלתי ופרוטוגרומוסול בזלתי	D4
בינוני	קרקעות אלוביות חמריות וגלי	E1
קל	פרה-רנדזינה	E2
בינוני	חמרה (חקלאית)	E3
קל	חמרה חולית	E4
כבד	גרומוסול חום אלובי	H1
כבד	גרומוסול חום שחרחר בזלתי	H10
כבד	גרומוסול חום אדום בזלתי	H11
כבד	נזז צרורי חרסיתי וחמרה חומה צרורית חרסיתית	H12
כבד	גרומוסול חום וחום-אדום אקומולטיבי (על גבעות) מכיל גיר	H2
בינוני	גרומוסול חום אקומולטיבי -על גבעות- מכיל גיר וקרקעות חומות כהות רזידואליות	H3
כבד	גרומוסול הידרומורפי וגלי גרומוסולי	H4
כבד	גרומוסול חום אלובי וגרומוסול הידרומורפי	H5
כבד	קרקע קולובית-אלובית בהירה קירטונית	H6
כבד	קרקעות קולוביות-אלוביות וגרומוסול	H7
הומוס (20-30%) באופק אורגנו מינרלית ומתחת חרסית הידרומורפית	קרקעות אורגאניות	H8
כבד	גרומוסול חום שחרחר בזלתי וגרומוסול חום	H9
כבד	קרקעות חומות כהות גרומוסוליות אלוביות וקרקעות אלוביות חומות כהות סילטיות	K1
כבד	קרקעות חומות כהות גרומוסוליות	K2
כבד	קרקעות חומות כהות גרומוסוליות וקרקעות חומות כהות רזידואליות	K3
כבד	סיין חרסיתי קולובי-אלובי רנדזיני מכיל גיר	K4

כבד	סיין חרסתי אלובי חום סילטי גירי וסיין אלובי חום סילטי גירי	L1
כבד	סירוזיום גירי	L2
כבד	סירוזיום גירי ; גרומסול הידרומורפי חוורי וגרומסול גירי	L3
כבד	גלי אגמי	L4
כבד	ליתוסול חום ולס קולובי-אלובי	M1
בינוני	קרקעות חומות בהירות לסיות וליתוסול חום	M2
בינוני	לס של הנגב הצפוני -איזור הקרקע החומה	N1
בינוני	קרקעות חומות בהירות לסיות ולס	N2
בינוני	קרקעות חומות בהירות לסיות ; קרקעות חומות בהירות קוורציות-פסמיות ריזואליות ולס	N3
בינוני	קרקעות חומות בהירות לסיות וקרקעות חומות כהות גרומסוליות	N4
בינוני	רגוסול לסי ולס	N5
בינוני	לס של שפלת הנגב והר הנגב -איזור הסירוזיום	R1
קל	סירוזיום לסי ולס	R2
קל	סירוזיום לסי וקרקעות חומות בהירות קוורציות-פסימיות ריזואליות	R3
בינוני	לס ואלוביום מדברי גס	R4
בינוני	סירוזיום אבנוני ולס	R5
קל	סירוזיום חולי וחול אלובי ואיאולי	R6
בינוני	סירוזיום אבנוני	R7
בינוני	סלעים חשופים ולס	S1
בינוני	סלעים חשופים ; ליתוסול חום ולס	S2
בינוני	ליתוסול מדברי רנדזיני	S3
בינוני	סירוזיום לסי וליתוסול חום	S4
קל	לס וקרקעות חוליות	T1
קל	חול 'גבולות' וקרקעות חומות בהירות קוורציות-פסמיות ריזואליות	T2
קל	חול איאולי וליתוסול מדברי רנדזיני-חולי	T3
קל	חול 'גבולות' וסירוזיום אבנוני	T4
קל	סלעים חשופים וחול איאולי	T5
קל	חול נודד ; שדות חול ופרה-רנדזינה	V1
קל	חול נודד ושדות חול	V2
קל	חול נודד ואלוביום לסי	V3
בינוני	רגוסול לסי ורגוסול חרסיתי	W1
בינוני	רגוסול חולי ; רגוסול חמרי ורגוסול חרסיתי	W2
כבד	ליתוסול מדברי רנדזיני אפור	W3
בינוני	סלעים חשופים ואלוביום מדברי גס	X1
כבד	רג וסלעים חשופים	X2
כבד	ליתוסול מדברי גירי	X3
כבד	ליתוסול מדברי גירי וגבעות קירטוניות וחוריות	X4
כבד	רג ליתוסולי	X5
בינוני	רג ליתוסולי ולס	X6



**מדינת ישראל**  
**משרד החקלאות ופיתוח הכפר**  
**ניהול משאבי סביבה**



בינוני	אלוביום מדברי גס	Y1
בינוני	רג רגוסולי ואלוביום מדברי גס	Y2
קל	רג רגוסולי ורגוסול אבנוני	Y3
קל	אלוביום מדברי גס ורגוסול אבנוני	Y4
קל	אלוביום חולי אבנוני	Y5
קל	רג רגוסולי חולי, חול אלובי וחול איאולי	Y6
בינוני	סולונצ'ק חווארי	Y7
בינוני	אלוביום לסי	Z1
בינוני	סולונצ'ק	Z2