

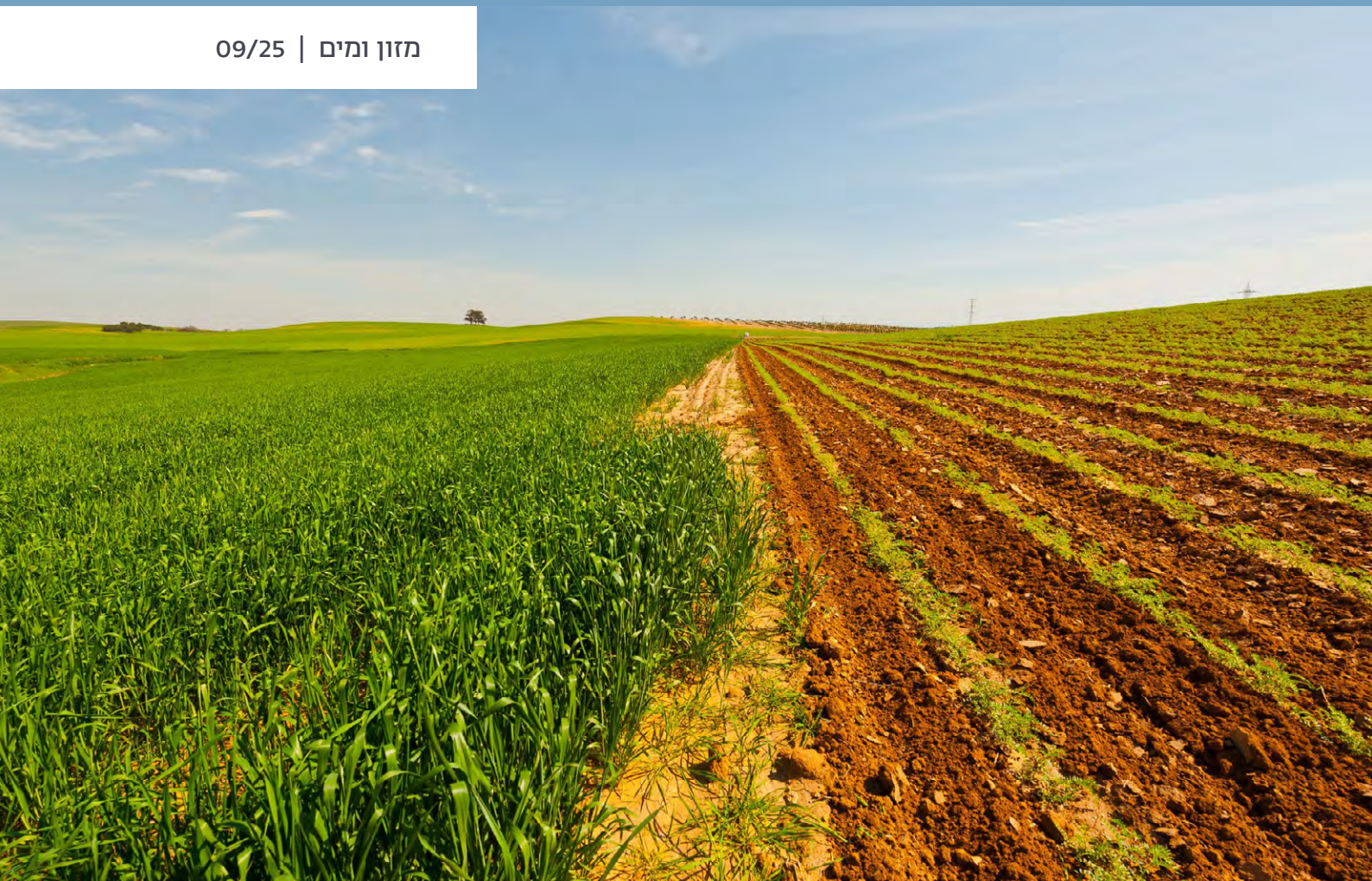
משאבי מים וקרקע בישראל 2050

דו"ח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון מזון
ישראל 2050

ד"ר מירב טל-מעון
פרופ' אייל שמעוני

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

מזון ומים | 09/25





משאבי מים וקרקע בישראל 2050

דו"ח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון
מזון ישראל 2050

ד"ר מירב טל-מעון
פרופ' אייל שמעוני

ברצוננו להודות לעמיתינו שלקחו חלק בחשיבה, התייעצויות, ודיונים:
פרופ' אופירה אילון, ד"ר אורנה רביב, נעמה שפירא וסימה ציפרפל

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.
הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

www.neaman.org.il

תוכן העניינים

6	תקציר
8	מבוא
10	מטרת דו"ח זה
11	1. חלק ראשון: ניתוח כמותי של משאבי המים והקרקע ל-2050
12	1.1 הערכת משאבי קרקע
12	1.1.1 משאבי קרקע קיימים 2025
13	1.1.2 משאבי הקרקע הנחוצים ב-2050
15	1.2 הערכת משאבי מים לחקלאות והשוואה ליעדי רשות המים ל-2050
15	1.2.1 משאבי מים בחקלאות 2025
16	1.2.2 משאבי מים נחוצים ל-2050 והשוואה ליעדי רשות המים
18	1.3 השפעת שינוי האקלים על התפוקה
19	1.4 סיכום הניתוח הכמותי של משאבי המים והקרקע
21	2. הצעת חלופות לפתרונות משאבי המים והקרקע בישראל לקראת 2050
23	2.1 הגדלת תפוקה ליחידת שטח
23	2.1.1 חקלאות מדייקת
23	2.1.2 טיפוח והשבחה גנטית של זנים חקלאיים
24	2.1.3 פריסת גידולים נכונה
24	2.1.4 חממות מתקדמות וגידול מבוקר
25	2.1.5 ניתוח פתרונות להגדלת התפוקה
25	2.2 שחיקה וסחיפה של הקרקע
26	2.2.1 חקלאות מחדשת
26	2.2.2 שיטות ומתקנים למניעת סחיפה
27	2.2.3 תכנון טופוגרפי חכם
28	2.2.4 ניתוח פתרונות לשימור קרקע

29	2.3 שימוש לא אופטימלי של מים
29	2.3.1 פיתוח תשתיות מים
30	2.3.2 הפיכת הזרימה במוביל הארצי
30	2.3.3 העברת גידולים ממים שפירים למי קולחים
31	2.3.4 ניהול מים מדויק
32	2.3.5 ניתוח פתרונות לניצול אופטימלי של מים
33	2.4 ניצול לא אופטימלי של שטחים חקלאיים
33	2.4.1 שיקום שטחים חקלאיים נטושים
34	2.4.2 הכשרת קרקעות במדבר ובאזורים שוליים
34	2.4.3 חקלאות עירונית וגגות ירוקים
35	2.4.4 ניתוח פתרונות להגדלת השטח החקלאי
36	2.5 סיכום חלופות
40	2.5.1 תיעדוף פתרונות- המלצות למקבלי החלטות
42	3. המלצת פריסה גאוגרפית של יישום הפתרונות
42	3.1 שיפור התפוקה החקלאית
43	3.2 שימור קרקע
44	3.3 שיפור ניצול מקורות המים
45	3.4 הרחבת השטח החקלאי
47	3.5 סיכום פריסה גאוגרפית של פתרונות והמלצות
48	4. סיכום הדו"ח והמלצות מדיניות
48	4.1 עיקרי הממצאים
49	4.2 המלצות מדיניות
51	מקורות

רשימת איורים

- איור 1: תרחישים ויעדים שהוגדרו בדו"חות קודמים ומהווים בסיס לחישובים בדו"ח זה.....11
- איור 2: פיזור שטחים חקלאיים לפי קבוצות גידול.....12
- איור 3: השטח החקלאי הנחוץ (א), השטח החסר (ב), ואחוז השיפור הנדרש בתפוקה (ג) לכל קבוצת מזון, בשלושת תרחישי הצריכה.....14
- איור 4: פיזור מים לפי קבוצות מזון.....15
- איור 5: מגמות בשפכים וקולחים בישראל בשנים 1963–2022.....16
- איור 6: כמות המים הנדרשת לחקלאות לפי קבוצות מזון בשנת 2050, בשלושה תרחישי תזונה.....17
- איור 7: מיפוי שטחים חקלאיים לפי היקף הפגיעה הצפוי בתפוקה בשנת 2050 עקב שינוי האקלים.....19
- איור 8: עיקרי הממצאים מהניתוח הכמותי.....20
- איור 9: אתגרים מערכתיים ופתרונות פוטנציאליים.....21
- איור 10: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של הפתרונות להגדלת התפוקה ליחידת שטח.....25
- איור 11: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של פתרונות שימור קרקע.....29
- איור 12: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של פתרונות לניצול אופטימלי של מים בחקלאות.....32
- איור 13: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של פתרונות להגדלת השטח החקלאי.....36
- איור 14: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של פתרונות לצמצום הפער במשאבי המים והקרקע לחקלאות צמחית בישראל 2050.....39
- איור 15: פתרונות מועדפים ליישום בטווח הקצר-בינוני ובטווח הארוך.....40
- איור 16: ציון עדיפות משוקלל לשיפור תפוקה חקלאית עבור החלקות החקלאיות (עדיפות גבוהה באדום).....43
- איור 17: אזורים חקלאיים בסיכון גבוה לסחיפת קרקע (באדום).....44
- איור 18: חלקות המושקות במים שפירים ונמצאות בטווח 10 ק"מ ממט"שים עם טיפול שלישוני.....45
- איור 19: חלקות שאינן מיועדות למאכל או שיעודן אינו ברור.....46
- איור 20: סיכום ממצאים והמלצות של הניתוח המרחבי.....47
- איור 21: המלצות מדיניות לטווח הקצר-בינוני ולטווח הארוך.....49
- איור 22: סיכום המלצות פריסה גאוגרפית של פתרונות.....50

רשימת טבלאות

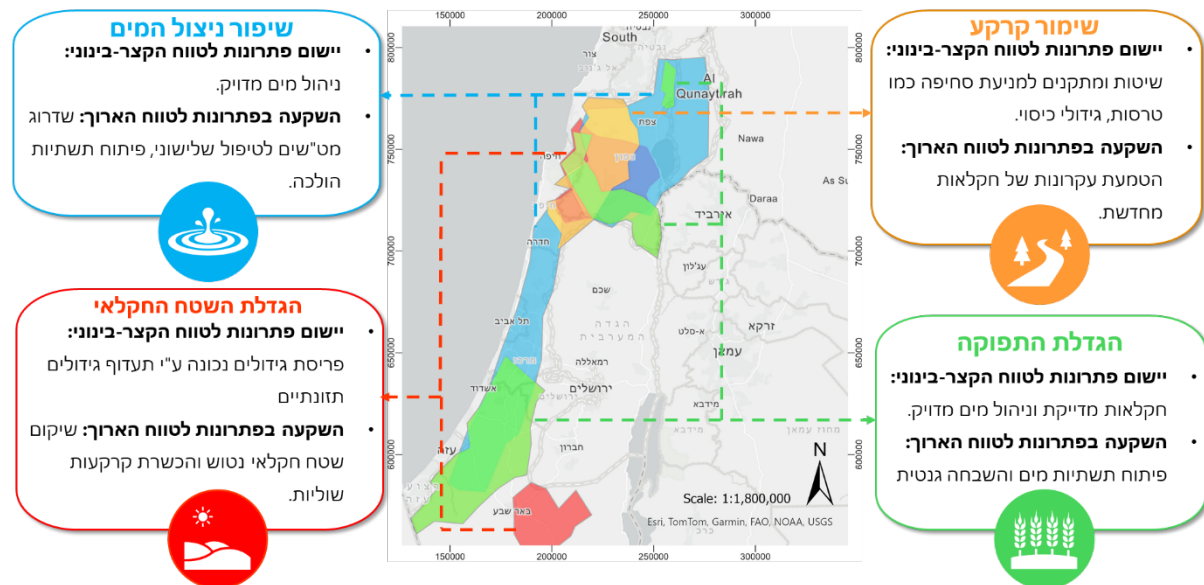
- טבלה 1 : שטח חקלאי, ייצור מקומי ותפוקה לדונם לפי קבוצות מזון..... 13
- טבלה 2: גידולים מייצגים עבור קבוצות המזון השונות ואחוז הירידה ביבול הצפוי ב- 2050..... 18
- טבלה 3 : קריטריונים להערכת פתרונות 22
- טבלה 4: סיכום האתגרים המערכתיים, הפתרונות המוצעים לכל אתגר ויתרונות וחסרונות לכל פתרון 37

ביטחון מזון הוא מרכיב חיוני ביציבות כלכלית וחברתית ומהווה אתגר משמעותי עבור מדינות רבות, ובפרט עבור ישראל, המתמודדת עם גידול אוכלוסייה מהיר, עיור מואץ, תנאי אקלים משתנים, ומחסור בקרקע זמינה לחקלאות. בנוסף, בהיותה תלויה במידה רבה ביבוא מזון, מדינת ישראל חשופה למשברים גאופוליטיים שמסכנים את שרשראות האספקה. מציאות זו מחייבת בחינה מעמיקה של משאבי הקרקע והמים הקיימים ויכולתם לתמוך בעצמאות תזונתית בטווח הארוך. דו"ח זה מתמקד בחקלאות הצמחית, ובוחן האם משאבי הקרקע והמים בישראל יוכלו לתמוך ביעדי ייצור מקומי עד שנת 2050, בהתאם לתרחישי צריכה משתנים. הדו"ח מחולק לשלושה חלקים עיקריים: בשלב הראשון בוצע ניתוח כמותי להערכת משאבי הקרקע והמים הקיימים ולחישוב הדרישות לשנת 2050, על מנת פערים. בשלב השני נערך ניתוח חלופות, בו גובשו פתרונות שונים להתמודדות עם האתגרים שזוהו, ונבחנו הישימות ופוטנציאל ההשפעה שלהם. בשלב השלישי בוצע ניתוח מרחבי למיפוי וזיהוי אזורים בעלי פוטנציאל ליישום הפתרונות.



תוצאות הניתוח הכמותי מצביעות על פערים משמעותיים בין המשאבים הקיימים לצרכים הצפויים ב-2050, במיוחד בגידולי דגנים וקטניות. כיוון שהשטחים החקלאיים צפויים להצטמצם עקב עיור ופיתוח מואצים, יש צורך בשיפור משמעותי ביעילות הייצור החקלאי – תפוקות ותשומות כאחד. בהתבסס על הממצאים הכמותיים, זוהו ארבעה אתגרים עיקריים: הגדלת התפוקה ליחידת שטח, שחיקה וסחיפה של קרקע, שימוש לא אופטימלי של מים וניצול לא אופטימלי של שטח חקלאי

לכל אחד מאתגרים אלו גובשו חלופות לפתרונות, תוך ניתוח קונפליקטים אפשריים. ניתוח החלופות הצביע על עדיפות לפתרונות רחבי היקף ליישום **בטווח הקצר-בינוני**: חקלאות מדייקת, ניהול מים מדויק ופריסת גידולים נכונה, לצד השקעות אסטרטגיות **לטווח הארוך**: שיקום קרקעות, פיתוח תשתיות מים וחממות מתקדמות. לבסוף, בוצעה התאמה גאוגרפית של הפתרונות לאזורים בעלי פוטנציאל ליישום. הניתוח המרחבי זיהה אזורים בעלי פוטנציאל ליישום ממוקד של הפתרונות בהתאם לאתגרים המקומיים.



ממצאים אלו תומכים בגישה אינטגרטיבית והדרגתית, המשלבת בין שיפור היעילות בשטח הקיים לבין השקעות ארוכות טווח שיחזקו את עמידות המערכת החקלאית מול שינויי אקלים, מגבלות משאבים ואי-ודאות עתידית. אימוץ גישות אלו עשוי לצמצם את הפער בין ההיצע לביקוש החזוי, תוך חיזוק חוסנה של ישראל בפני אתגרי ביטחון המזון, בדגש על שינויי האקלים והגידול הדמוגרפי.

ביטחון מזון מתקיים כאשר "לכל האנשים, בכל עת, יש גישה פיזית וכלכלית למזון מספיק, בטוח ומזין אשר עונה על הצרכים התזונתיים והעדפות המזון שלהם לחיים פעילים ובריאים" [1]. עם תחזית לגידול באוכלוסיית העולם לטווח שבין 9 ל-10 מיליארד עד שנת 2050, הצורך בהבטחת ביטחון מזון הולך וגובר. על מנת לעמוד בביקוש, יהיה צורך להגדיל את ייצור המזון העולמי בלפחות 70% עד לאותה שנה [2]. ביטחון מזון הוא מרכיב חיוני ביציבות כלכלית וחברתית ומהווה אתגר משמעותי עבור מדינות רבות. בשנת 2023, כ-30% מאוכלוסיית העולם חוו אי-ביטחון תזונתי בינוני או חמור, ומעל 700 מיליון איש סבלו מרעב כרוני. נתונים אלה משקפים מגמה עולמית מתמשכת של אי-שיפור במצב ביטחון המזון בשנים האחרונות, בעיקר במדינות מתפתחות, שבהן קיימת פגיעות גבוהה למשברים כלכליים, שינוי אקלים, סכסוכים מתמשכים, ועליית יוקר המחיה. בתגובה, מדינות רבות מגבשות אסטרטגיות לאומיות הכוללות השקעה במערכות מזון בנות קיימא, קידום חקלאות חכמה, תמיכה בחקלאים, ושיפור הרגולציה על ייצור והפצת מזון [3].

מציאות זו מאתגרת במיוחד עבור מדינות בעלות משאבים מוגבלים ותנאים סביבתיים רגישים ובפרט עבור ישראל, אשר מתמודדת עם גידול אוכלוסייה מהיר, עיור מואץ, תנאי אקלים משתנים, ומחסור בקרקע זמינה לחקלאות. שיעור המשפחות המדווחות על אי-ביטחון תזונתי עמד בשנת 2021 על 16.2%, מהן כ-8% חוו אי-ביטחון תזונתי חמור (רעב) [4]. בדירוג מדדי הביטחון התזונתי של מדינות ה-OECD ישראל הידרדרה מהמקום ה-12 בשנת 2021 למקום ה-24 בשנת 2024 [5]. למרות שגופים שונים בישראל עוסקים בנושא, בניגוד למדינות רבות אחרות, לישראל לא הייתה עד לאחרונה תוכנית לאומית מוסדרת לביטחון מזון. מלחמת חרבות ברזל, שהביאה לעלייה במחירי המזון ולפגיעה בשטחים חקלאיים ובכוח האדם הזמין לחקלאות, המחיש את הצורך הדחוף בגיבוש מדיניות כוללת. על רקע זה, החל תהליך לגיבוש תוכנית לאומית לביטחון מזון, הוקם מנהל ייעודי במשרד החקלאות, והמשרד עצמו שינה את שמו ל"משרד החקלאות וביטחון המזון" [6], [7]. במחקר שנערך במשרד החקלאות לבחינת הפוטנציאל של החקלאות הצמחית בישראל לספק מזון בריא ומזין לאוכלוסייה הגדלה, נמצא כי בתנאים הקיימים ניתן לענות על חלק משמעותי מצריכת הקלוריות, החלבונים והסיבים התזונתיים של האוכלוסייה. עם זאת, צפוי מחסור בעתיד בשל גידול האוכלוסייה וקיבעון ביכולת הייצור. הממצאים מדגישים את החשיבות האסטרטגית של שמירה על משאבי הקרקע והמים, הגברת תפוקת הייצור המקומי, וקידום מערכות מזון בנות-קיימא כחלק מתפיסה לאומית מקיפה [8].

כחלק מהתכנון האסטרטגי, קיים צורך מהותי להעריך את משאבי הקרקע והמים הדרושים להשגת יעדי ביטחון מזון לאומיים. השטח החקלאי בישראל נאמד בכ-4.2 מיליון דונם, המהווים כ-20% משטח המדינה [9]. בעשורים האחרונים חלה ירידה עקבית בהיקף הקרקע החקלאית בישראל, בקצב של כ-12 אלף דונם בשנה וכ-80% מהבינוי המיועד ל-2040 צפוי להיות על חשבון שטחים חקלאיים [10]. מגמה זו מדאיגה נוכח העובדה שקרקע חקלאית בישראל מהווה רק כ-20% משטח המדינה, לעומת ממוצע עולמי של כ-40%. בשנים האחרונות מקודמים תהליכים של "דו-שימוש" בקרקע חקלאית, כמו מסדרונות אקולוגיים, ניהול נגר ושילוב מתקני אנרגיה סולארית או תשתיות אחרות בתוך שטחים מעובדים. דו-שימוש יכול לאפשר ניצול יעיל של שטח מוגבל ולהציע יתרונות סביבתיים וכלכליים, אך עלול גם לפגוע בפוריות הקרקע וביכולת לגדל בה גידולים באופן מיטבי [10].

לכן, אנו מניחים כי הרחבת השטח החקלאי לא תהיה אפשרית, אלא להפך, צפויה ירידה משמעותית בשטחים החקלאיים בעקבות מגמות עיור, פיתוח תשתיות תחבורה ודיוור, שינויי ייעוד קרקע, ונטישת קרקעות חקלאיות שאינן כלכליות לעיבוד, צפויה ירידה משמעותית בשטחים החקלאיים. בנוסף, ישנם לחצים סביבתיים כגון הצורך בשימור שטחים פתוחים ואקולוגיים, השפעות שינויי האקלים (למשל, עליית טמפרטורות וירידה בזמינות מים), ותהליכי מדבור באזורים שוליים. היכולת לפתח שטחים חדשים לחקלאות מוגבלת מאוד בשל חסמים סביבתיים, רגולטוריים וגאופוליטיים. בעקבות זאת יהיה צורך גם ביעול שיטות הייצור החקלאי ובטכנולוגיות מתקדמות להגדלת התפוקה במסגרת השטחים הקיימים.

משק המים בישראל הוא גורם מרכזי בקביעת היכולת של המדינה לספק ביטחון מזון בעתיד. מים לחקלאות מהווים מעל 50% מצריכת המים הכוללת [11]. מרבית המים בחקלאות הם שפירים וקולחים. השקיה בקולחים מוסדרת על ידי משרד הבריאות ונקבעת בהתאם לרמות טיהור שונות, אשר משפיעות על סוגי הגידולים שניתן להשקות בהם. קולחים שטופלו ברמה גבוהה מאוד (טיפול שלישוני מתקדם) מותרים להשקיה בלתי מוגבלת, לרבות גידולים נאכלים חיים כמו חסה ומלפפונים. לעומת זאת, קולחים שטופלו ברמת טיהור נמוכה יותר מוגבלים לגידולים חקלאיים שאינם למאכל ישיר כמו דגנים, קטניות ופירות בעלי קליפה שאינה נאכלת (כגון הדרים ורימונים) [12]. לפיכך, התאמת איכות הקולחים לסוגי הגידולים היא תנאי הכרחי להקצאה אופטימלית של סוגי מים בחקלאות. יש צורך במיפוי אזורי השקיה לפי איכות הקולחים, בחירת שיטות השקיה מותאמות, והתאמת הגידולים בהתאם לדרישות הבריאותיות והסביבתיות.

נוכח החשיבות הגוברת של ביטחון המזון בישראל והצורך בתוכנית לאומית מקיפה, החל במוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית פרויקט לחקר ביטחון מזון, שמטרתו להציע כיצד להעלות את רמת הביטחון התזונתי של ישראל עד שנת 2050 במגוון דרכים כולל הגדלת הייצור המקומי ושיפור הרגלי התזונה. הפרויקט בוחן מגוון נושאים כמו: מקורות המזון, השפעת שינויי האקלים, חינוך ובריאות בקהילה, רגולציה וחדשנות טכנולוגית ועוד. במסגרת הפרויקט פורסמו מספר דו"חות, ובהם הוגדרו היעדים המרכזיים לביטחון מזון בשנת 2050. בין השאר, הוגדרה תזונה ים-תיכונית כתפריט התזונתי המומלץ, בשל תרומתה להפחתת סיכון למחלות כרוניות ושמירה על בריאות הציבור. תזונה זו כוללת צריכה גבוהה של פירות, ירקות, דגנים מלאים, קטניות, אגוזים ושמן זית; צריכה מתונה של מוצרי חלב, ביצים ועוף; וצריכה מועטה של בשר אדום, כאשר קטניות מהוות תפקיד חשוב בהפחתת התלות בחלבון מן החי [13]. בנוסף, גובשו תרחישי ייחוס ויעדים כמותיים להיקף הייצור המקומי הרצוי לכל קבוצת מזון. היעד המרכזי שנקבע הוא הסתמכות של 50% על ייצור מקומי עד שנת 2050 [7].

מטרת דו"ח זה

הדו"ח הנוכחי מתמקד בבחינת משאבי הקרקע והמים הנדרשים לעמידה ביעדי ייצור המזון המקומי לשנת 2050, תוך התמקדות בחקלאות צמחית. מטרותיו המרכזיות הן:

- הערכת המצב הנוכחי של משאבי הקרקע והמים בישראל.
- חישוב הצרכים העתידיים של קרקע ומים כדי לעמוד ביעדי ייצור מקומי, בהתאם לתרחישי צריכה עתידיים.
- זיהוי פערים בין היכולת הקיימת לדרישות הצפויות.
- הצעת צעדים נדרשים לצמצום פערים.

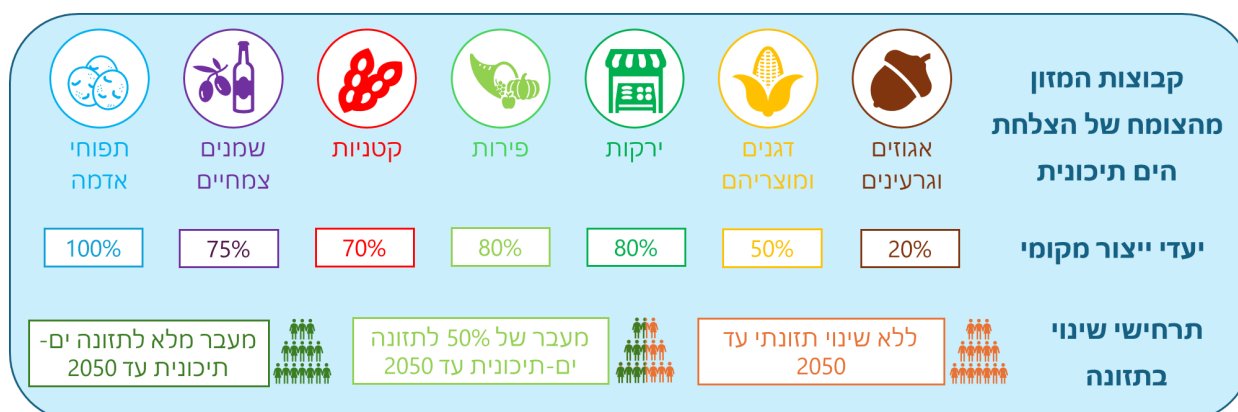
לצורך כך, הדו"ח מחולק לשלושה חלקים, בחלק הראשון בוצע ניתוח כמותי של משאבי המים והקרקע וזוהו הפערים המרכזיים בין היכולת הקיימת לבין הדרישות הצפויות לשנת 2050. בחלק השני גובשו ונותחו המלצות לפתרונות ובחלק השלישי בוצע ניתוח מרחבי לצורך התאמת אזורים ליישום ההמלצות.



1. חלק ראשון: ניתוח כמותי של משאבי המים והקרקע ל־2050

מטרת פרק זה היא להעריך האם משאבי הקרקע והמים הקיימים בישראל יאפשרו עמידה ביעדי הייצור המקומי של מזון מהצומח עד שנת 2050. בהמשך לדו"חות קודמים של מוסד נאמן, נקבעה הצלחת הים-תיכונית כצלחת המומלצת, עם הסתמכות של 50% על ייצור מקומי. בעקבות זאת, הוגדרו יעדי ייצור מקומי לכל קבוצת מזון. בנוסף, נקבעו 3 תרחישים של דפוסי תזונה ב־2050 המהווים את בסיס ההשוואה בניתוח זה. להלן בדו"ח, הצלחת הים-תיכונית ויעדי הייצור המקומי ייקראו "יעדי ביטחון המזון", ושלושת דפוסי הצריכה ייקראו "תרחישי התזונה". איור 1 מציג את קבוצות המזון מהצומח של הצלחת הים-תיכונית, יעדי הייצור המקומי לכל קבוצת מזון, ושלושת התרחישים שנבחנו.

איור 1: תרחישים ויעדים שהוגדרו בדו"חות קודמים ומהווים בסיס לחישובים בדו"ח זה



בנוסף ליעדי ביטחון המזון ותרחישי התזונה, הניתוח בפרק זה מבוסס על מספר הנחות בסיס:

- לא צפויה הרחבה משמעותית של השטח החקלאי בישראל, ואף ייתכן צמצום עקב עיור, פיתוח תשתיות ושינויי ייעוד קרקע.
- חישוב גודל השטח וכמות המים הנחוצים ב־2050 בוצע תחת ההנחה ששיטות הגידול והתפוקה ליחידת שטח יישארו כפי שהן כיום, ללא שיפורים טכנולוגיים או חקלאיים.
- החישובים בוצעו בהנחה של 17.6 מיליון תושבים בישראל ב־2050.

פרק זה מחולק ל־3 חלקים: (1) הערכת משאבי הקרקע הקיימים והדרושים ב־2050; (2) הערכת משאבי המים לחקלאות והשוואתם ליעדי רשות המים ל־2050; (3) בחינת ההשפעה של שינוי האקלים על התפוקה החקלאית ב־2050.

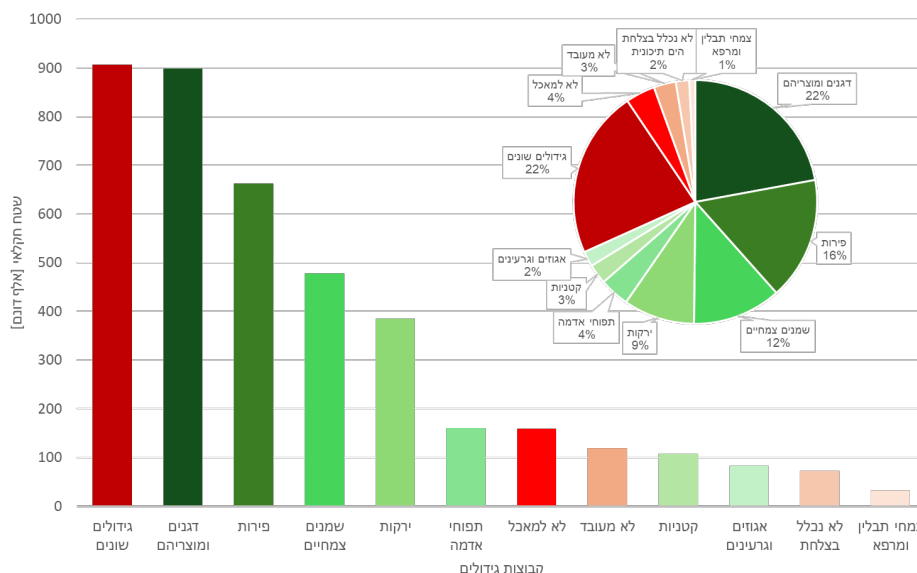
1.1 הערכת משאבי קרקע

1.1.1 משאבי קרקע קיימים 2025

לצורך חישוב השטח והתפוקה החקלאית בישראל כיום, נעשה שימוש בשכבת הממ"ג (מערכת מידע גאוגרפית – GIS) של החלקות החקלאיות של משרד החקלאות [14]. שכבה זו כוללת מידע על כ־200,000 חלקות חקלאיות, בהן מגודלים כ־600 סוגי גידולים שונים. עבור כל חלקה מצוינים פרטי מיקום ומאפיינים חקלאיים: אזור, מועצה, יישוב, ענף, סוג הגידול, גודל השטח, וסוג המים המשמשים להשקיה. במסגרת מחקר זה סווגו כלל החלקות החקלאיות לקטגוריות של קבוצות המזון מהצומח על פי הצלחת הים-תיכונית.

מעבר לגידולי קבוצות המזון, קיימות חלקות רבות שלא ניתן לסווג באופן חד-משמעי. זאת, בשל שטחים המתאפיינים במחזורי גידול משתנים, חוסר דיווח, וחוסר ודאות לגבי הייעוד הסופי של היבול. חלקות אלה מוגדרות ע"י משרד החקלאות כגד"ש כללי, מטעים שונים, וגידולים שונים. מה שיכול להעיד על גידולים למאכל כמו חיטה, ירקות תפוחי אדמה וכו', אבל גם יכול להעיד על גידולי שדה אחרים שאינם למאכל כמו כותנה או חיטה להזנת בע"ח. לצורך הניתוח חלקות אלה הוגדרו כ"גידולים שונים". כמו כן, סווגו גם חלקות עם גידולים שאינם למאכל, הכוללים פרחים, עצי נוי וצמחי מרפא, וכן שטחים שאינם מעובדים. באיור 2 מוצגים האחוז שכל אחת מהקטגוריות תופסות מהשטח החקלאי הכולל ואת השטח של כל קטגוריה בדונם.

איור 2: פיזור שטחים חקלאיים לפי קבוצות גידול



תרשים העמודות מציג את היקף השטח החקלאי הכולל (בדונמים) לכל קבוצת גידול, ותרשים העוגה מציג את אחוז השטח שכל קבוצה תופסת מתוך כלל השטח החקלאי. הגוונים הירוקים מייצגים קבוצות מזון שנכללות בתפריט "הצלחת הים-תיכונית", ואילו הגוונים האדומים מייצגים גידולים שאינם כלולים בו בהכרח.

כ־70% מהשטח החקלאי בישראל מוקדש לקבוצות המזון. כ־22% מסווגים כ"גידולים שונים", בשטחים אלה לא ניתן לדעת כמה מהשטח מוקדש עקב חוסר דיווח או חוסר מידע, אך בסך הכול ניתן לראות שרוב השטח החקלאי אכן מיועד לייצור מזון.

נתוני ייצור מקומי שנתי של הלמ"ס (מאזן אספקת מזון 2022) כפי שהוצגו בדו"ח "תרחישים ויעדים לאומיים לביטחון מזון ב-2050" של מוסד שמואל נאמן [15], [7], שימשו לצורך חישוב התפוקה היחסית לדונם לכל קבוצת מזון. טבלה 1 שלהלן מציגה את השטח החקלאי לצד היקף הייצור המקומי (בטון לשנה) והתפוקה הממוצעת לדונם עבור כל אחת מקבוצות המזון. לקבוצות המזון תפוחי אדמה, ירקות ופירות יש את התפוקה השנתית הגבוהה ביותר ליחידת שטח, בעוד שלקטניות ודגנים ומוצריהם יש את התפוקה השנתית הנמוכה ביותר (20%-30%).

טבלה 1: שטח חקלאי, ייצור מקומי ותפוקה לדונם לפי קבוצות מזון

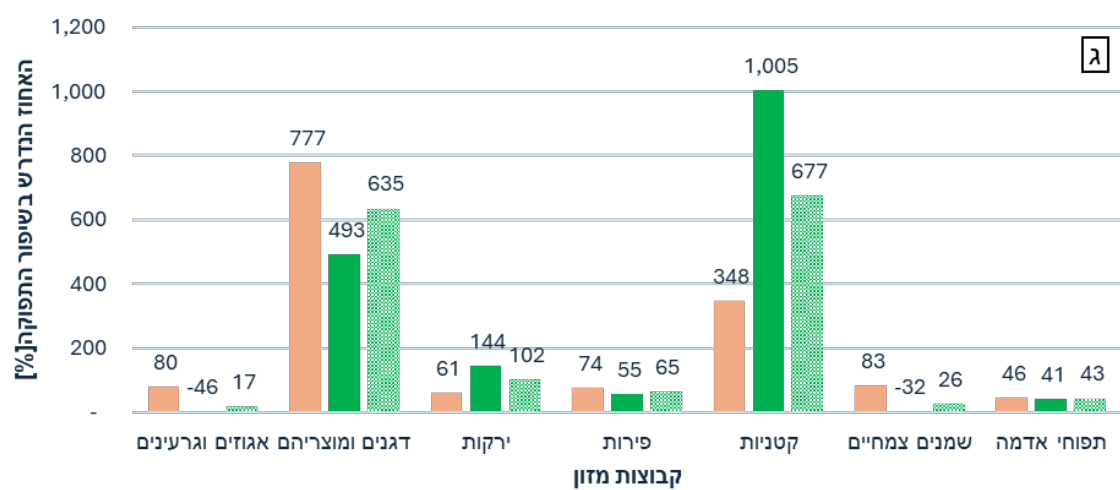
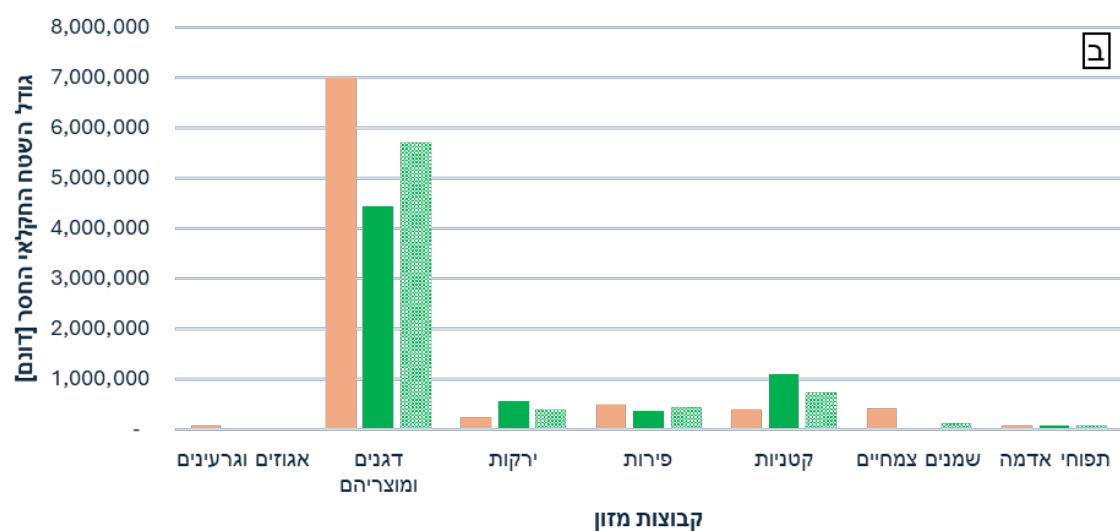
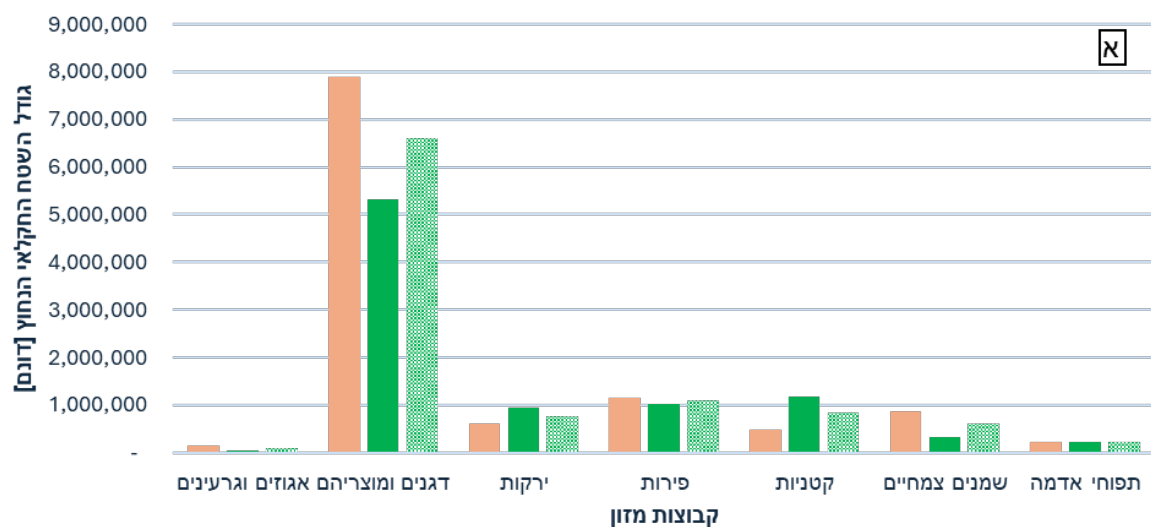
קבוצת מזון	שטח חקלאי [אלף דונם]	ייצור מקומי [טון/שנה]	תפוקה שנתית (טון/דונם)
אגוזים וגרעינים	82	25,925	0.314
דגנים ומוצריהם	899	268,210	0.298
ירקות	385	1,063,636	2.763
פירות	663	1,428,945	2.155
קטניות	108	21,585	0.201
שמנים צמחיים	478	369,267	0.772
תפוחי אדמה	161	488,221	3.041

1.1.2 משאבי הקרקע הנחוצים ב-2050

כדי לחשב את משאבי הקרקע הנחוצים ב-2050 לעמידה ביעדי הייצור שהוגדרו, חושב השטח הדרוש והחסר לכל קבוצת מזון, החישובים התבססו על נתוני הייצור מקומי ואספקה נדרשת לשנת 2050 מתוך דו"ח "יעדים ותרחישים לביטחון מזון" [7], עבור שלושת התרחישים תזונתיים, ובהנחה שאין שינוי בשיטות הגידול. בנוסף, חושב אחוז השיפור הנדרש בתפוקה בהנחה שלא תהיה אפשרות של הרחבת גודל השטח החקלאי (איור 3). מהניתוח עולה שללא שינוי בשיטות הייצור, עמידה ביעדי הייצור המקומי, תדרוש כ-11-9 מיליון דונם שטח חקלאי עבור קבוצות המזון. הפער הבולט ביותר הוא בקבוצת המזון של דגנים ומוצריהם, שבה נדרש שטח נוסף של 5-8 מיליון דונם (בהתאם לתרחיש התזונה העתידי). המשמעות היא צורך בשיפור דרמטי בתפוקה, כ-500%-800% עליה בתפוקה לדונם. קבוצת הקטניות מציגה גם היא צורך ניכר בשיפור התפוקה, בהיקף של 300%-1000% בתפוקה הנדרשת. אולם בניגוד לדגנים, החוסר בשטח עבור קטניות הוא קטן יותר.

ממצאים אלו מדגישים כי עמידה ביעדי ביטחון המזון מחייבת הגדלה משמעותית של התפוקה ליחידת שטח, תוך שמירה על משאבי הקרקע הקיימים. לצד זאת, נדרש זיהוי הזדמנויות לניהול יעיל יותר של הקרקע ושילוב פתרונות חדשניים שיאפשרו ניצול מיטבי של השטח החקלאי המוגבל. סוגיות אלו נדונות בהרחבה בפרק הבא (פרק 2), המוקדש לבחינת חלופות ופתרונות אפשריים.

איור 3: השטח החקלאי הנחוץ (א), השטח החסר (ב), ואחוז השיפור הנדרש בתפוקה (ג) לכל קבוצת מזון, בשלושת תרחישי הצריכה



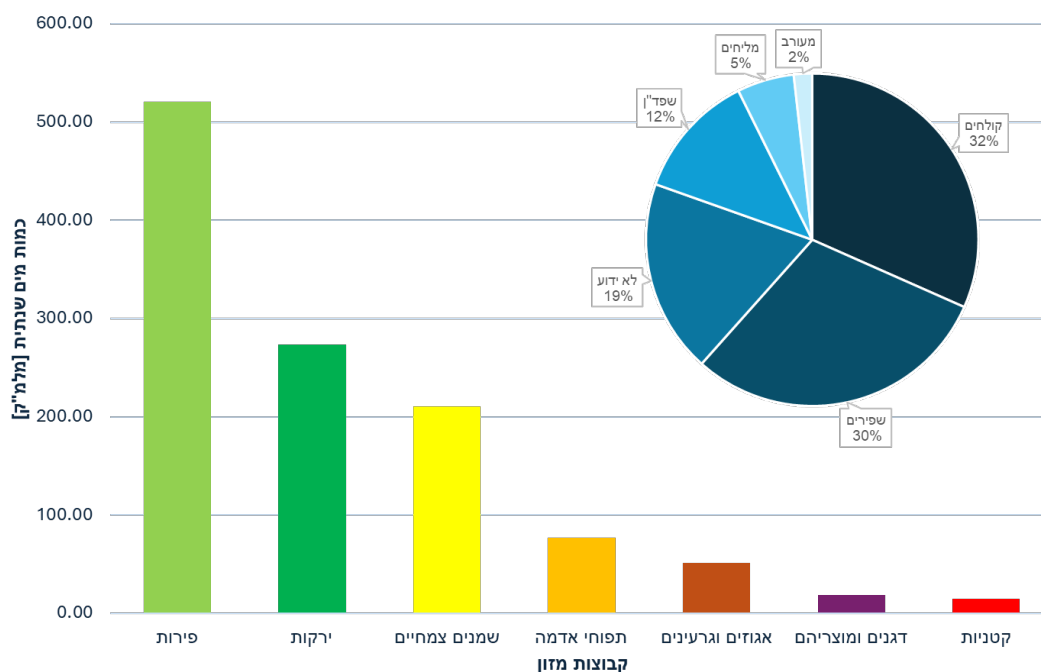
■ 2050 ■ מעבר מלא לתזונה ים תיכונית עד 2050 ■ מעבר של 50% לתזונה ים תיכונית עד 2050

1.2 הערכת משאבי מים לחקלאות והשוואה ליעדי רשות המים 2050

1.2.1 משאבי מים בחקלאות 2025

משק המים בישראל הוא גורם מרכזי בקביעת היכולת של המדינה לספק ביטחון מזון בעתיד. מים לחקלאות מהווים יותר מ-50% מצריכת המים הכוללת [16]. בשכבת הממ"ג של משרד החקלאות, השטחים החקלאיים מסווגים בהתאם לסוג ההשקיה שהם מקבלים (שפירים, קולחים, שפד"ן, מים מליחים, בעל או לא ידוע). כדי לחשב את כמות המים הנצרכת מכל סוג מים לכל קבוצת מזון, חושבו ערכי ההשקיה הממוצעת לכל חלקה (מ"ק/דונם) בהתאם לסוג הגידול שמתקיים בחלקה ובהתבסס על נתוני משרד החקלאות [8]. התקבל כי ב-2025 גידולי קבוצות המזון צרכו 1,165 מלמ"ק, כאשר 30% מהם הם מים שפירים ו-44% הם מי קולחים (כולל שפד"ן). בנוסף, 19% מהמים הם ממקור לא ידוע. באיור 4 ניתן לראות את כמות המים הנצרכת בכל קבוצת מזון ואת חלקו של כל סוג מי ההשקיה מתוך סה"כ המים. פירות היא קבוצת המזון הצורכת את מרבית המים לחקלאות, כאשר עיקרם מי קולחים (32%), כ-29% נוספים מגיעים ממים שפירים, וכ-25% ממקור שאינו ידוע. אחריה ניצבת קבוצת הירקות, שבה עיקר השימוש הוא במים שפירים (33%) ורק כ-18% מהמים מקורם בקולחים.

איור 4: פיזור מים לפי קבוצות מזון

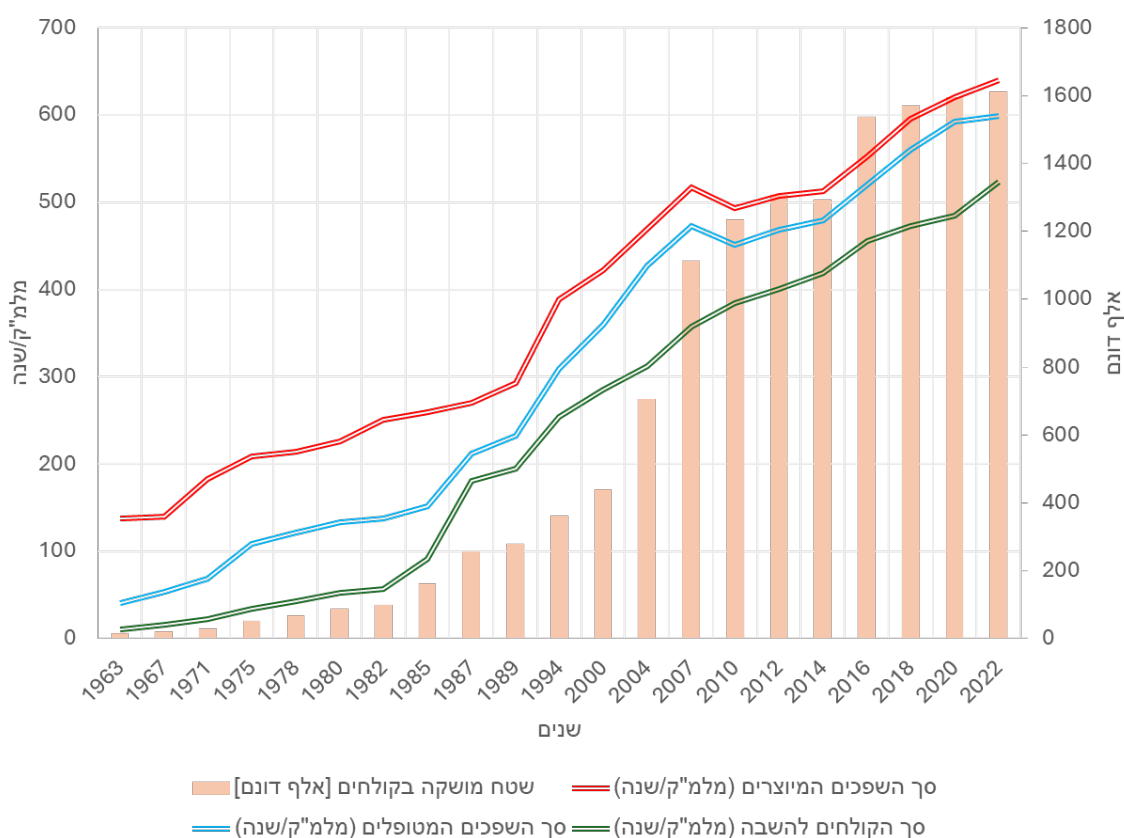


תרשים העמודות מציג את כמות המים הכוללת (במיליוני מ"ק) לכל קבוצת מזון, ותרשים העוגה מציג את האחוז של כל סוג מי ההשקיה מתוך סה"כ מי ההשקיה.

מי קולחים מהווים אם כך חלק משמעותי מהמים הנצרכים בחקלאות. לפי נתוני רשות המים בשנת 2022 הופקו כ-599 מלמ"ק קולחים, ומתוכם כ-523 מלמ"ק (87.4%) הושבו לשימוש חוזר, בעיקר לצורכי השקיה חקלאית. ובכל זאת, למרות השימוש ההולך וגובר בקולחים, עדיין קיימים עודפים שאינם מנוצלים ומוזרמים

לסביבה, וכן שפכים שאינם מטופלים כלל. כ־87 מלמ"ק קולחים לא נוצלו ונותרו כעודפים שהוזרמו לנחלים ולים. בנוסף, כ־4.5% מהשפכים המיוצרים בישראל כלל אינם מגיעים למערכת הטיפול ומוזרמים לבורות ספיגה, אגני שיקוע או לסביבה, ובכך מהווים מקור לזיהום קרקע ומים. גם מתוך מי הקולחים רק 66% עברו טיפול ברמה גבוהה (שלישוני) המאפשרת שימוש חוזר במים להשקיה חקלאית ללא מגבלות [17]. מצב זה מדגיש את הצורך בהרחבת השימוש בקולחים בחקלאות, לא רק כאמצעי לחיסכון במים שפירים, אלא גם ככלי להפחתת הנזק הסביבתי הנגרם משפכים לא מטופלים וקולחים המוזרמים לסביבה. באיור 5 ניתן לראות את סה"כ השפכים המיוצרים, השפכים המטופלים וסך הקולחים להשבה, ואת גודל השטח החקלאי המושקה בקולחים.

איור 5: מגמות בשפכים וקולחים בישראל בשנים 1963–2022



עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני רשות המים (2025): "סקר ארצי לאיסוף וטיפול בשפכים והשבת קולחים לשנת 2022" [18]. הקווים באיור מתארים את מגמות השפכים והקולחים בישראל לאורך השנים וגרף העמודות במסגרת (למעלה משמאל) מציג את שטח ההשקיה הכולל בקולחים בכל אחת מהשנים.

1.2.2 משאבי מים נחוצים ל־2050 והשוואה ליעדי רשות המים

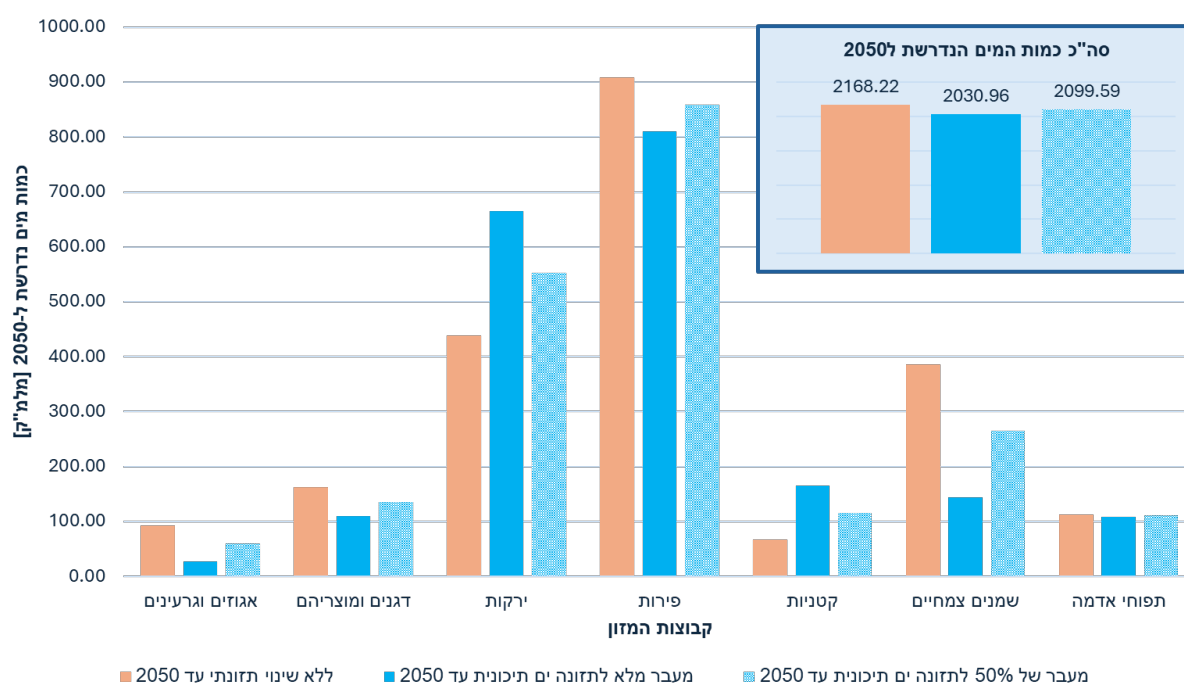
על פי תוכנית האב למשק המים, הביוב והקולחים של רשות המים (דצמבר 2024) עולים מספר תחזיות ויעדים 2050: [18]:

- סה"כ צריכת מים משוערת ב־2050 לפי הצפי של רשות המים לשנת 2050 הוא 4,010 מלמ"ק מים, עבור אוכלוסייה משוערת של 15.9 מיליון תושבים.

- החלוקה המתוכננת של מקורות המים ל-2050: 2,700 מלמ"ק מים שפירים (כולל מים מותפלים), 1,060 מלמ"ק מים קולחין ושפד"ן, 250 מלמ"ק מים מליחים.
- מתוך כלל צריכת המים, 1,810 מלמ"ק מיועדים לחקלאות. היעדים לאספקה לחקלאות הם: 500 מלמ"ק מים שפירים, 250 מלמ"ק מים מליחים והשאר מי קולחין.
- התחזית של שפכי השפד"ן ב-2050 היא 285 מלמ"ק.
- קיים יעד של שדרוג מערכת הולכה של השפד"ן לאספקה של כ-370 מלמ"ק.

כדי לבחון את הפערים העתידיים בצריכת המים לחקלאות, חושבה כמות המים הנדרשת לכל קבוצת מזון בשלושת התרחישים. החישוב נעשה בהתאם לשיעור הייצור המקומי שנדרש לעמוד ביעדי ביטחון המזון. נמצא כי ההבדלים בין שלושת התרחישים אינם מהותיים, **כאשר הכמות הכוללת של המים הנדרשת ב-2050 נעה בין 2,030 ל-2,168 מלמ"ק** (איור 6). ערכים אלו גבוהים מהיעד לשנת 2050 שהוגדר בתוכנית האב למשק המים (1,810 מלמ"ק). יש לציין כי החישובים בדו"ח זה מבוססים על אוכלוסייה של 17.6 מיליון תושבים, בעוד היעדים של רשות המים הוגדרו עבור 15.9 מיליון. לאחר התאמה לגודל האוכלוסייה של רשות המים, הפער מצטמצם.

איור 6: כמות המים הנדרשת לחקלאות לפי קבוצות מזון בשנת 2050, בשלושה תרחישי תזונה



ההשוואה בין הדרישה העתידית של המים לחקלאות, כפי שחושבה במסגרת עבודה זו, לבין היעדים שהציבה רשות המים לשנת 2050, מצביעה על כך שהיעדים הנוכחיים אינם מכסים במלואם את הכמות הנדרשת לצורך עמידה בתרחישי ייצור המזון המקומי. עם זאת פער זה קטן משמעותית מהפערים שנמצאו בתחום הקרקע החקלאית. היעד של הגדלת היצע המים לחקלאות עשוי להיות ריאלי, בכפוף להשקעה נרחבת בתשתיות התפלה, שדרוג מערכות הולכה והרחבת השימוש במים מושבים. בפרק הבא (פרק 2) נדונים בהרחבה בפתרונות שונים להתמודדות עם אתגר זה.

1.3 השפעת שינוי האקלים על התפוקה

שינוי האקלים צפוי להשפיע באופן משמעותי על הייצור החקלאי בישראל עד שנת 2050, עם השלכות על זמינות המזון, ביטחון המזון והתלות בייבוא. מאז 1950 נרשמה בישראל עלייה של כ-1.2–1.5 מעלות צלזיוס בטמפרטורה הממוצעת, והתחזיות צופות התחממות נוספת של 1.5–1.8 מעלות עד שנת 2050. מגמה זו מלווה בעלייה בתדירות ובחומרת אירועי קיצון, כמו גלי חום ממושכים ומיעוט של ימים קרים. בנוסף, קיימת ירידה מצטברת בכמות הגשם השנתית, ירידה במספר ימי הגשם, ועלייה באורך תקופות היובש. לפי התחזיות עד 2050, צפויה ירידה ממוצעת של כ-7% בכמות המשקעים. השפעות אלה מחריפות את האתגרים הקיימים של החקלאות המקומית, שכבר נאלצת להתמודד עם קיץ ארוך ויבש ועונת גשמים קצרה. שינוי האקלים צפוי להביא לעלייה בצריכת המים להשקיה, לירידה באיכות ובכמות התוצרת, לסחיפת קרקעות מוגברת, ולסיכון מוגבר לפגיעות אקלימיות כמו ברד, הצפות ורוחות עזות, והופעתם של מזיקים, מחלות ומינים פולשים [19].

גידולים מרכזיים בישראל צפויים לסבול מירידה ביבול עקב עליית הטמפרטורות, שינוי בדפוסי הגשמים ותנאים אקלימיים קיצוניים כגון גלי חום ובצורות. לאחרונה פרסם משרד החקלאות הערכה של ירידת התנובה ביבול עקב שינוי האקלים עבור חמישה גידולים מרכזיים בישראל¹. על מנת להרחיב את ניתוח ההשפעה על כלל המגזר החקלאי, ולקבל הערכה גאוגרפית של הפגיעה הצפויה בכל אזור חקלאי בישראל, נבחר גידול מייצג עבור כל אחת מקבוצות המזון. בטבלה 2 מצוין הגידול המייצג עבור כל קבוצת מזון ואת אחוז הירידה ביבול הצפוי ב-2050 [20].

טבלה 2: גידולים מייצגים עבור קבוצות המזון השונות ואחוז הירידה ביבול הצפוי ב-2050

גידול מייצג	אחוז ירידה ביבול ב-2050	קבוצת המזון
חיטה	באזורים ים תיכוניים -19%	דגנים ומוצריהם ואגוזים וגרעינים
	באזורים חצי מדבריים -47%	
אבוקדו	-7%	שמינים צמחיים
גזר	-18%	ירקות ופרות
חומס	-10%	קטניות
תפוחי אדמה	-15%	תפוחי אדמה

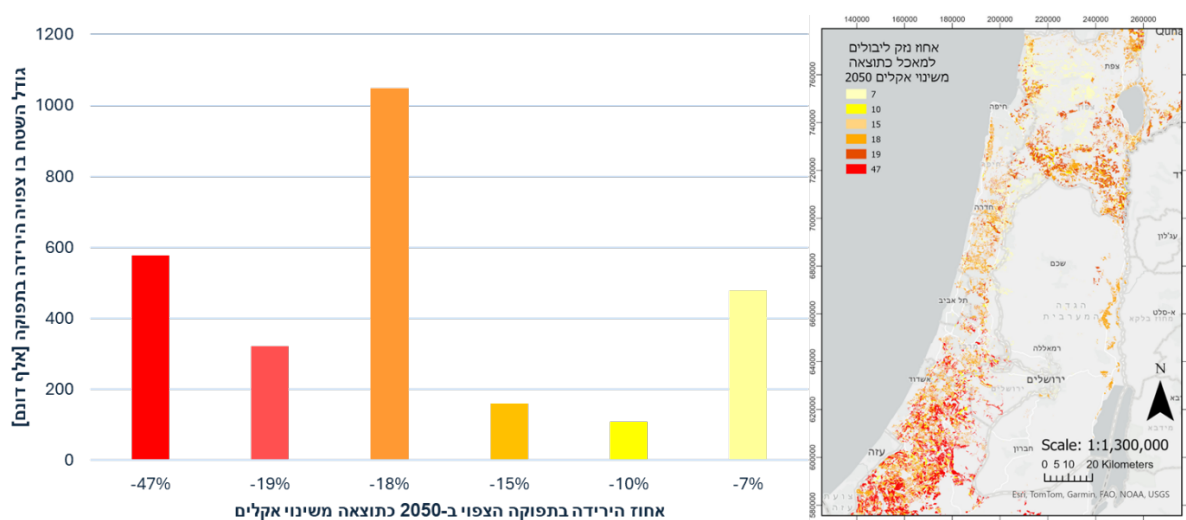
גודל השטח החקלאי (באלפי דונם) הצפוי לסבול מרמות שונות של ירידה בתפוקה מוצג באיור 7. המפה באיור ממחישה את ההתפלגות הגאוגרפית של הפגיעה, לפי אחוז הירידה הצפויה ביבול בכל אזור. כ-1950 אלף דונם שטח חקלאי (מעל 70% מהשטח החקלאי של גידולי קבוצות המזון), צפוי לרשום ירידה של מעל 15%

¹ בהתבסס על פירסום תוצאות ראשוניות ממחקר של שירות ההדרכה והמקצוע (שה"ם) של משרד החקלאות
https://www.gov.il/he/pages/climate_change_effects

בתפוקה, וכ-20% מהשטח של קבוצות המזון צפוי לרשום ירידה של למעלה מ-40%. היקף הפגיעה הצפוי מדגיש את עוצמת הסיכון הנשקפת ליכולת הייצור המקומי, ואת חשיבותם של צעדים מידיים להגברת העמידות של החקלאות לשינוי האקלים.

חשוב לציין כי השפעת שינוי האקלים לא תהיה אחידה במרחב, וגידולים שונים צפויים להיפגע בעוצמות משתנות בהתאם לאזור הגאוגרפי ולמאפייני האקלים המקומיים. צפי זה מדגיש את החשיבות של ניתוח מרחבי לצורך גיבוש מדיניות הסתגלות מותאמת. בנוסף, גידולים כמו חיטה וקטניות, אשר ממילא דורשים הגדלה ניכרת של התפוקה המקומית כדי לעמוד ביעדי ביטחון המזון, צפויים גם להיות בין הנפגעים העיקריים משינוי האקלים העתידי. פגיעה כפולה זו מעמידה אתגרים משמעותיים, ודורשת בחינה של פתרונות טכנולוגיים ומרחביים שיאפשרו שמירה על תפוקה מספקת. הפרק הבא (פרק 2) דן בפתרונות אלה בהרחבה ובאתגרים והחלופות האפשריות, והפרק שאחריו (פרק 3) מוקדש לניתוח מרחבי כדי להתאים פתרונות לאזורים גאוגרפיים.

איור 7: מיפוי שטחים חקלאיים לפי היקף הפגיעה הצפוי בתפוקה בשנת 2050 עקב שינוי האקלים



1.4 סיכום הניתוח הכמותי של משאבי המים והקרקע

מהניתוח הכמותי של משאבי הקרקע והמים בישראל עולה כי קיימים פערים מהותיים אשר עלולים להקשות על עמידה ביעדי הייצור המקומי שנקבעו לשנת 2050. איור 8 מסכם את הממצאים המרכזיים מהניתוח הכמותי של משאבי הקרקע והמים. עמידה ביעדי ביטחון המזון תחייב הרחבה ניכרת של השטח החקלאי, ואם הרחבה זו אינה אפשרית, יהיה צורך בשיפור משמעותי בתפוקה. במקביל, קיים גם פער בדרישות המים, אם כי קטן יחסית לזה שבקרקע, ואילו מתווספת ההשפעה הצפויה של שינוי האקלים, העלולה להביא לירידה ניכרת בתפוקות ולהקשות עוד יותר על עמידה ביעדים.

איור 8: עיקרי הממצאים מהניתוח הכמותי



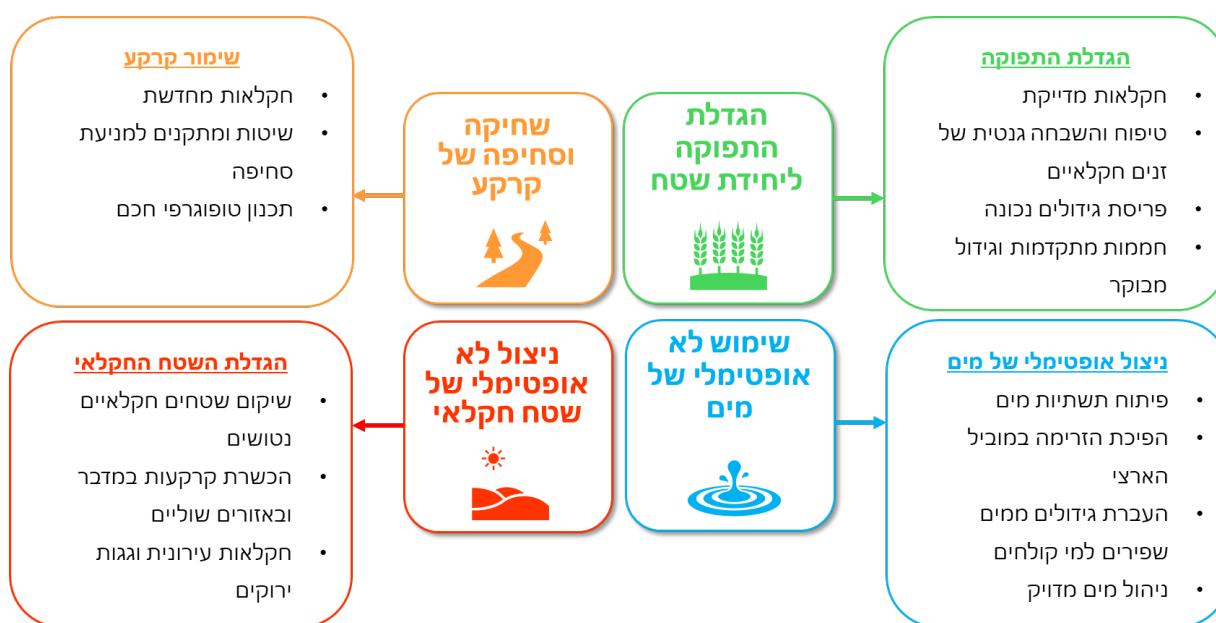
הפערים המרכזיים שזוהו:

- **משאבי קרקע:** צפויה ירידה בשטח החקלאי עד 2050, בעוד שלפי החישובים, נדרש גידול ניכר בשטח המוקצה לגידול מזון מהצומח, בעיקר דגנים וקטניות. ללא הרחבת שטח, תידרש עלייה של מאות אחוזים בתפוקה ליחידת שטח בגידולים מסוימים.
 - **משאבי מים:** קיים פער בין הדרישה לחקלאות כפי שחושבה במסגרת עבודה זו לבין היעדים שהציבה רשות המים לשנת 2050, אם כי פער זה קטן יחסית לזה שבקרקע. עם זאת, יהיה צורך בהשקעות בתשתיות הולכה, התפלה והרחבת שימוש במי קולחים.
 - **שינוי האקלים:** צפויה ירידה בתפוקה של מרבית הגידולים, כשמעל 70% מהשטחים החקלאיים עלולים לרשום ירידה של למעלה מ-15% בתפוקה. גידולים כמו חיטה וקטניות צפויים להיפגע משמעותית, מה שמקשה עוד יותר על עמידה ביעדים. הפגיעה צפויה להיות שונה בין האזורים, בהתאם לאקלים המקומי ולגידולים השולטים בהם, דבר שמדגיש את הצורך בניתוח מרחבי מותאם.
- בהתבסס על ממצאים אלה, זוהו האתגרים המערכתיים העיקריים שמשפיעים על היכולת לעמוד ביעדי ביטחון המזון לשנת 2050. אתגרים אלו נדונים בהרחבה בפרק הבא, לצד ניתוח חלופות אפשריות להתמודדות עימם.

2. הצעת חלופות לפתרונות משאבי המים והקרקע בישראל לקראת 2050

מהנתונים שנאספו עולה כי מדינת ישראל תעמוד בפני אתגרים משמעותיים בתחום ביטחון המזון בשל שילוב של גידול אוכלוסייה, שינוי האקלים והצטמצמות השטחים החקלאיים. בעקבות הפערים בזמינות הקרקע והמים שעלו בניתוח הכמותי, זוהו ארבעה אתגרים מערכתיים עיקריים ולכל אתגר הוצעו מספר פתרונות אפשריים (איור 9). פרק זה דן בפתרונות אפשריים לכל אתגר, תוך בחינת התועלות והחסמים ביישומם.

איור 9: אתגרים מערכתיים ופתרונות פוטנציאליים



לצורך תיעדוף בין הפתרונות שהוצעו, נבנתה מסגרת הערכה אחידה המאפשרת להשוות ביניהם על בסיס שתי קטגוריות: **ישימות** ו-**פוטנציאל השפעה**. כל פתרון נותח לפי שמונה קריטריונים, המחולקים לשתי הקטגוריות:

- **ישימות:** משך זמן נדרש ליישום, היקף עלות, חסמים צפויים (רגולציה, קבלה ציבורית, תפעול), ועמידות לשינוי האקלים.
- **פוטנציאל השפעה:** תרומה ליעד של 50% ייצור עצמי של מזון צמחי, התאמה לפערים שנמצאו בזמינות הקרקע והמים, החזר כלכלי צפוי, ותרומה לערכים משלימים (חברתיים, כלכליים, סביבתיים).

לכל קריטריון הוגדרו שלוש רמות דירוג: נמוכה (1), בינונית (2) וגבוהה (3), בהתאם למשמעותו הספציפית. טבלה 3 מפרטת את הקריטריונים, המשמעות המיוחסת להם ורמות הדירוג. הערכת הפתרונות בוצעה תחילה על בסיס סקירת ספרות, ולאחר מכן הועבר סקר בקרב אנשי מקצוע ובעלי עניין רלוונטיים. תוצאות הסקר שולבו בתהליך הניתוח והדירוג המשוקלל המוצגים בפרק זה.

טבלה 3 : קריטריונים להערכת פתרונות

קטגוריה	קריטריון	הסבר קצר	1 (נמוך)	2 (בינוני)	3 (גבוה)
ישימות	משך הזמן הנדרש ליישום הפתרון	הזמן הצפוי עד שהפתרון יוכל להיות מיושם בשטח	מעל 5 שנים	2-5 שנים	פחות משנתיים
	היקף העלות ליישום הפתרון	היקף ההשקעה הנדרש ליישום ולתחזוקה השוטפת של הפתרון	השקעה גבוהה ליישום ועלות תחזוקה גבוהה בהמשך	השקעה ראשונית גבוהה עם תחזוקה פוחתת בהמשך	השקעה נמוכה
	חסמים ביישום (רגולציה, קבלה חברתית, תפעול)	האם קיימים חסמים רגולטוריים, חברתיים או תפעוליים ביישום הפתרון	חסמים רבים – יישום מורכב או רגיש	חסמים מתונים מבחינת רגולציה/תיאום/הסברה	חסמים מועטים – יישום פשוט
	עמידות הפתרון לשינוי האקלים	היכולת של הפתרון להמשיך לתפקד גם בתנאי אקלים משתנים	רגישות גבוהה לשינוי האקלים	עמידות חלקית	עמידות גבוהה
פוטנציאל השפעה	השפעה על עמידה ביעדי ביטחון מזון (50% ייצור עצמי)	תרומת הפתרון להשגת היעד של 50% ייצור עצמי במזון צמחי	השפעה שולית או בלתי ישירה	השפעה עקיפה או חלקית	השפעה ישירה ומשמעותית
	רמת ההתאמה לפערים במשאבי קרקע ומים	מידת ההתאמה של הפתרון לפערים במשאבי הקרקע והמים שנמצאו בניתוח הכמותי	התאמה נמוכה	התאמה חלקית	התאמה מלאה
	החזר כלכלי צפוי	עד כמה הפתרון צפוי להניב רווחים ולהחזיר את ההשקעה	רווחיות נמוכה או לא ודאית	החזר איטי אך אפשרי	החזר מהיר ורווחיות גבוהה
	תרומה לערכים משלימים (חברתיים, כלכליים, סביבתיים)	התרומה של הפתרון לערכים משלימים- סביבתיים, כלכליים וחברתיים (כגון הפחתת פליטות, שיקום מערכות אקולוגיות, תעסוקה, פיתוח אזורים מוחלשים)	לא תורם לערכים נוספים	תורם לערך אחד נוסף	תורם למספר ערכים נוספים

2.1 הגדלת תפוקה ליחידת שטח

כפי שהראנו קודם, קיים פער מהותי בין שטחי הקרקע החקלאיים הזמינים כיום לבין הדרישות הצפויות לשנת 2050, במיוחד עבור גידולים מרכזיים כמו דגנים וקטניות. מאחר שצפויה ירידה בשטח החקלאי בשל מגמות של עיור, פיתוח תשתיות ושינוי האקלים, לא ניתן להסתמך על הרחבת שטח כפתרון העיקרי. המשמעות היא שעל מנת לעמוד ביעדי הייצור המקומי, תידרש עלייה משמעותית בתפוקה ליחידת שטח. עם זאת, הגברת האינטנסיביות החקלאית עשויה להוביל לשחיקת קרקע ולכן יש לבחון פתרונות שיאפשרו שיפור בתפוקה לצד שמירה על משאבי הטבע ועמידות לשינוי האקלים. להלן מספר חלופות שנבחנו עבור **הגדלת התפוקה**, תוך ניתוח התרומה האפשרית של כל אחת מהן והאתגרים שעלולים להתעורר ביישומן.

2.1.1 חקלאות מדייקת

חקלאות מדייקת היא גישה לניהול חקלאי המבוססת על טכנולוגיות מתקדמות ואיסוף נתונים, במטרה לשפר את היעילות, להגדיל את התפוקה ולהפחית את ההשפעות הסביבתיות של הפעילות החקלאית. בעזרת חיישנים, רחפנים, לוויינים, מצלמות, מערכות GPS, בינה מלאכותית ולמידת מכונה, ניתן לאסוף ולנתח מידע מדויק על מצב הקרקע, הצמח, המים והאקלים, ולהתאים את פעולות כמו השקיה, דישון, זריעה והדברה, לפי הצרכים הספציפיים של כל אזור בשטח החקלאי. החקלאות המדייקת החלה להתפתח בשנות ה-90 עם כניסת מערכות ניווט לווייני (GPS) מיפוי מרחבי (GIS) ומדדי יבול. כיום גם משולבות בה טכנולוגיות מתקדמות כמו האינטרנט של הדברים, רובוטיקה, ומערכות חכמות לאיסוף ועיבוד מידע. בנוסף, היא כוללת אמצעים אוטונומיים לניטור, החלטה וביצוע, החל משלב הדיאגנוזה ועד שלב היישום בשטח, תוך מעורבות מינימלית של בני אדם. מערכות אלה תורמות גם לניבוי מגמות אקלימיות, לניהול טוב יותר של זמני קציר ולזיהוי מוקדם של מזיקים ומחלות. לצד היתרונות, יישום החקלאות המדייקת מציב אתגרים כגון עלויות גבוהות, הצורך בהכשרה מתקדמת וקשיי נגישות בקרב חקלאים קטנים [22], [21], [2].

2.1.2 טיפוח והשבחה גנטית של זנים חקלאיים

תהליכים שמטרתם לשפר תכונות של צמחים ובעלי חיים חקלאיים, כמו עמידות למחלות, יבול גבוה או ערך תזונתי משופר. טיפוח מסורתי, מתבסס על הכלאות בין פרטים בעלי תכונות רצויות ובחירה בצאצאים המוצלחים. לעומתו, הנדסה גנטית מאפשרת שינוי מכוון ומדויק במטען התורשתי ע"י החדרת גנים ספציפיים במעבדה כדי להוסיף תכונה מבוקשת מבלי להעביר תכונות לא רצויות [24], [23]. השימוש בהנדסה גנטית בחקלאות מאפשר להקנות לצמחים עמידות למזיקים, מחלות, שינוי אקלים, להפחית את הצורך בחומרי הדברה, לחסוך במים, לשפר ערכים תזונתיים ואף לשנות מאפיינים שיווקיים כמו צבע וטעם. בניגוד לטיפוח הקלאסי, השבחה גנטית היא תהליך מהיר ומדויק יותר, שיכול לסייע במתן מענה לאתגרים של שינוי אקלים, ירידה בפוריות הקרקע וגידול באוכלוסייה [25]. עם זאת, ההנדסה הגנטית מלווה גם בחששות סביבתיים ובריאותיים: מעבר בלתי מבוקר של גנים לצמחי בר, סיכון ליצירת מינים פולשים, פגיעה בגיוון הגנטי והיעדר ודאות לגבי השפעות עתידיות על בריאות האדם. בישראל אין כיום גידול מסחרי של צמחים מהונדסים גנטית, אך מתקיים מחקר מתקדם בתחום. הניסויים נערכים תחת פיקוח של משרד החקלאות ומשרד הבריאות,

ומוצרים מיובאים שעברו הנדסה גנטית קיימים בתעשיית המזון. יש צורך במדיניות מושכלת לניהול הסיכונים ולמיצוי הפוטנציאל של הטכנולוגיה תוך שמירה על הסביבה [26].

2.1.3 פריסת גידולים נכונה

בעבר ביטחון תזונתי התבסס על החקלאות התעשייתית שכוללת גידול נרחב של מספר מצומצם של גידולים רווחיים (מונו קולטורה). אך לשיטה זו מספר חסרונות משמעותיים: פגיעה בפוריות הקרקע, הגברת השימוש בדשנים כימיים ובחומרי הדברה, סחיפת קרקע, זיהום מקורות מים, פליטות פחמן והידלדלות המגוון הביולוגי. בנוסף, שיטה זו מתאפיינת ברמת עמידות נמוכה לשינוי האקלים. לנוכח אתגרים אלו, הולך ומתבסס בשנים האחרונות פתרון אלטרנטיבי המבוסס על פריסת גידולים נכונה. שתי האסטרטגיות המרכזיות בגישה זו הן סבב גידולים וגידול משולב. סבב גידולים הוא תהליך מחזורי שבו מגדלים גידולים שונים על אותה חלקה לאורך זמן, לעיתים בשילוב תקופות מנוחה או דישון אורגני ירוק. שיטה זו תורמת לשיפור איכות הקרקע, להפחתת הופעת עשבים ומחלות, ולוויסות טוב יותר של חנקן ולחות. במקביל, גידול משולב, למשל גידול שורות של גידולים שונים זה לצד זה, מאפשר קיום אינטראקציות אקולוגיות מועילות בין הצמחים, תוך שמירה על ניהול נפרד ויעיל של כל גידול. יישום שיטות אלה יכול להוביל למספר תועלות: שיפור מבנה הקרקע, הפחתת התלות בחומרי תשומה סינתטיים, ייצוב של יבולים לאורך זמן גם בתנאים אקלימיים קיצוניים, ושיפור בתפוקה. לצד היתרונות, ישנם גם אתגרים: השיטה דורשת ידע אגרונומי מעמיק, תכנון מוקדם, ולעיתים גם התאמות בצידוד, בתהליכי עיבוד ובשיווק. כמו כן, חקלאים רבים נתקלים בחסמים מוסדיים, תרבותיים או כלכליים המונעים את המעבר לשיטות מגוונות אלו [27]–[29].

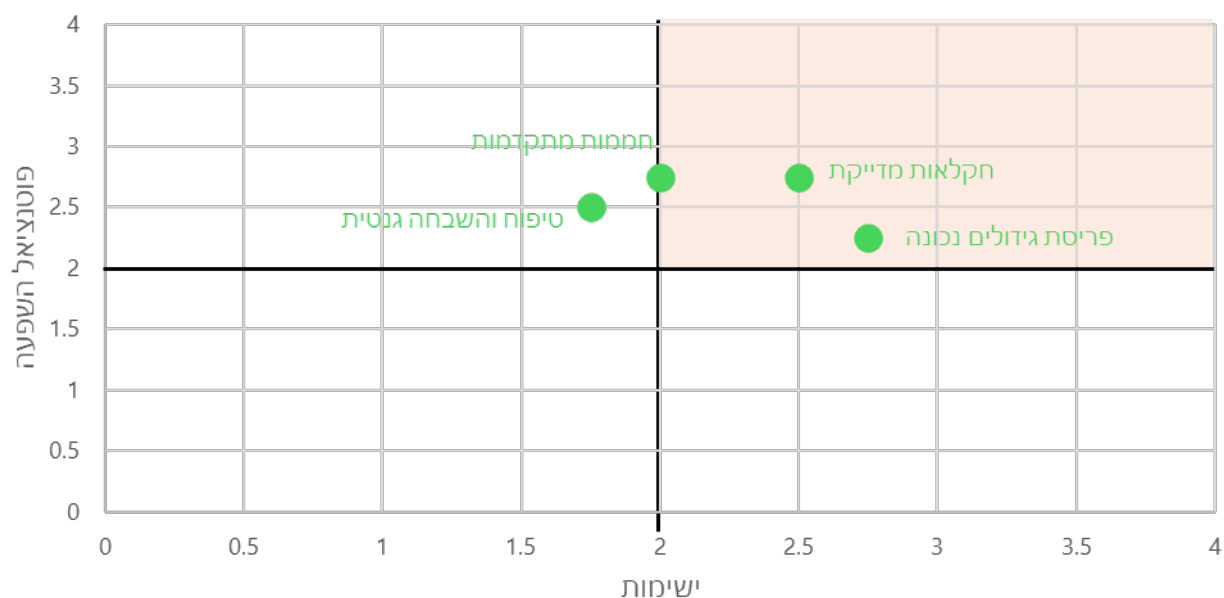
2.1.4 חממות מתקדמות וגידול מבוקר

חממות מתקדמות וחקלאות מבוקרת (Controlled Environment Agriculture – CEA) הן מערכות ייצור מזון חדשניות המבוססות על שליטה מלאה בתנאי הסביבה: אור, טמפרטורה, לחות, רמות פחמן דו חמצני, השקיה ודישון, במטרה ליצור תנאים מיטביים לגידול צמחים לאורך כל ימות השנה. בניגוד לחקלאות המסורתית שתלויה באקלים ובעונות, מערכות אלו מאפשרות גידול רציף, אינטנסיבי ומדויק, גם באזורים עירוניים, באקלים קיצוני או בקרקעות שאינן מתאימות לחקלאות פתוחה. שיטות הגידול כוללות חממות קלאסיות, חממות חכמות, מנהרות פלסטיק גבוהות, חקלאות אנכית, הידרופוניקה (גידול בצינורות מים עם דשנים), איירופוניקה (התזת ערפל מזין על שורשי הצמח) ואקוופוניקה (שילוב בין גידול דגים לגידול צמחים באותה מערכת). היתרונות של חממות מתקדמות כוללים הפחתה ניכרת בצריכת מים, הפחתת השימוש בחומרי הדברה, שיפור איכות התוצרת ויכולת לגדל מזון בקרבת מקומות הצריכה, מה שמקטין את הצורך בשינוע. בנוסף, חקלאות מבוקרת מאפשרת ניצול מיטבי של שטח, יעול תהליכי הייצור, הגדלה של התפוקה ליחידת שטח, ושיפור יציבות היבול גם בתנאים משתנים. עם זאת, הטמעת מערכות אלו דורשת השקעות ראשוניות גבוהות, תחזוקה מורכבת, צריכת אנרגיה רבה (במיוחד עבור תאורה וקירור) ומיומנויות טכנולוגיות מתקדמות. למרות האתגרים, חממות חכמות וחקלאות מבוקרת יכולות לסייע במענה לצרכים של אוכלוסייה הולכת וגדלה, שינויי אקלים, ולחץ גובר על משאבי הקרקע והמים [30], [31].

2.1.5 ניתוח פתרונות להגדלת התפוקה

הניתוח של ארבעת הפתרונות להגדלת התפוקה מראה כי **חקלאות מדייקת** ו**פריסת גידולים נכונה** הם הפתרונות הבולטים, בזכות שילוב של פוטנציאל השפעה גבוה עם ישימות גבוהה (איור 10). חקלאות מדייקת הצטיינה בעמידות לשינוי האקלים, תרומה לערכים סביבתיים וחברתיים, זמן יישום קצר יחסית, והשפעה ישירה על יעדי ביטחון המזון, אך דורגה נמוך יותר בשל עלויות ראשוניות גבוהות. פריסת גידולים נכונה קיבלה ציונים גבוהים בזכות ישימות גבוהה, עם זמן יישום קצר, עלות נמוכה ומעט חסמים, אך השפעתה הישירה על ייצור המזון ופוטנציאל ההחזר הכלכלי שלה דורגו כבינוניים. חממות מתקדמות נחשבות לפתרון בעל השפעה גבוהה במיוחד, בעיקר בשל שליטתו בתנאי הסביבה, אך זוכה לדירוג נמוך יותר מבחינת ישימות עקב עלות גבוהה ודרישות תחזוקה. טיפוח והשבחה גנטית הציג פוטנציאל גבוה מבחינת התאמה לאתגרי שינוי האקלים ותרומה ליעדי הביטחון התזונתי, אך זוכה לדירוג נמוך בישימות עקב חסמים רגולטוריים וחשש ציבורי מהנדסה גנטית.

איור 10: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של הפתרונות להגדלת התפוקה ליחידת שטח



מסקנה מרכזית מהניתוח היא שהפתרונות המהווים איזון בין ישימות גבוהה לפוטנציאל השפעה גבוה הם חקלאות מדייקת ופריסת גידולים נכונה, פתרונות אלה מתאימים ביותר לקידום בטווח הקצר-בינוני. בנוסף, פתרונות מאתגרים יותר כדוגמת חממות מתקדמות וטיפוח והשבחה גנטית מצדיקים השקעה מחקרית ופיתוחית, כחלק מאסטרטגיה ארוכת טווח.

2.2 שחיקה וסחיפה של הקרקע

על רקע מגמות עיור ופיתוח הגורמות לצמצום שטחים חקלאיים, ישנה חשיבות רבה לשמירה על הקרקע החקלאית הקיימת. עם זאת, כ-70% מהשטח החקלאי בישראל נתון כיום לסיכון של שחיקה וסחיפה, דבר

שפוגע בפוריות הקרקע ומקטין את יכולת הייצור החקלאי [32]. סיכון זה צפוי להחמיר על רקע שינוי האקלים, ובפרט גשמים קצרים ואינטנסיביים. פרק זה מציג פתרונות אפשריים לשימור הקרקע, שנועדו למנוע אובדן נוסף של קרקע פורייה ולשפר את עמידותה של המערכת החקלאית בטווח הארוך.

2.2.1 חקלאות מחדשת

חקלאות מחדשת היא גישה אקולוגית כוללת לחקלאות, השואפת לשקם ולחזק את המערכת האקולוגית החקלאית תוך כדי ייצור מזון. היא מתמקדת בתוצאות סביבתיות כמו שיפור בריאות הקרקע, הגדלת המגוון הביולוגי, אגירת פחמן ושיפור שירותי המערכת האקולוגית, ולא רק בניצולת היבול [34], [33]. חקלאות מחדשת מדגישה גמישות, התאמה לתנאי השטח והתמקדות בתוצאה. היא נשענת על עקרונות כמו הפחתת עיבוד הקרקע, שימוש בגידולי כיסוי מגוונים, שילוב בעלי חיים (רעייה מותאמת), הוספת חומרים אורגניים (כמו קומפוסט וביו-פחם), ושימוש באורגניזמים מועילים לשיפור פוריות הקרקע. אחת התועלות המרכזיות של חקלאות מחדשת הוא שימור הקרקע- מניעת סחף, שמירה על מבנה הקרקע, הגדלת תכולת החומר האורגני ושיפור יכולת האגירה של מים וחומרי הזנה. מחקרים מראים כי חקלאות מחדשת מביאה לירידה משמעותית במזיקים, לשיפור ברמות חומר אורגני ולרווחיות כלכלית גבוהה יותר, כתוצאה מהפחתת עלויות ותמיכה של שירותי מערכת אקולוגית, גם אם התפוקה החקלאית מעט נמוכה. בקרקעות עשירות בחומר אורגני נצפתה ירידה בצורך בדישון חיצוני, ויכולת עמידה טובה יותר בתנאי יובש או שיטפונות [35], [34].

עם זאת, אימוץ הגישה מלווה במספר אתגרים, היא דורשת השקעות ארוכות טווח, שינוי תפיסתי וניהולי מצד החקלאי, ולעיתים הכשרות והסתגלות של השוק לצורת ייצור חדשה. יש מחסור בתמריצים כלכליים ברורים, וקושי להעריך את השיפור הסביבתי באופן כמותי. חקלאים מדגישים את הצורך במדידה אובייקטיבית של תוצאות (כמו אגירת פחמן או בריאות קרקע), בתמריצים מותנים תוצאה ובשימור גמישות ניהולית. כדי לקדם מעבר נרחב לחקלאות מחדשת, נדרש שילוב בין מדיניות תומכת, תמריצים מבוססי תוצאה, השקעה במחקר ובפיתוח כלים למדידה, והסברה רחבה לציבור ולחקלאים [36], [33].

2.2.2 שיטות ומתקנים למניעת סחיפה

מכלול של פתרונות שמטרתם להאט את זרימת המים, לשפר חלחול ולמנוע סחיפת קרקע באזורים חקלאיים, ובעיקר במדרונות. את האמצעים ניתן לחלק לשלוש קטגוריות עיקריות: (1) שיטות הנדסיות הכוללות מתקנים בשטח שתפקידם לנתב את זרימת המים, להאט אותה או לבלום אותה באמצעות תשתית קבועה; (2) שיטות חקלאיות שהן טכניקות ניהול עיבוד וזריעה שמפחיתות סחף באמצעות שינוי תצורת השדה וממשק הגידול; (3) שיטות ביולוגיות ש מבוססות על שימוש בצמחייה רב-שנתית או עונתית לייצוב הקרקע והאטת סחף [37].

השיטות ההנדסיות כוללות טרסות (Terraces) - מדרגות עיבוד המדרגות לאורך שיפוע ומסייעות בהאטת נגר ואגירת מים; סכרים קטנים (Check dams) - מחסומים נמוכים בערוצים המאפשרים שקיעת סדימנטים והפחתת עוצמת הזרימה; ותעלות ניקוז (Diversion ditches) - תעלות שמובילות עודפי מים באופן מבוקר אל מחוץ לאזור הרגיש לסחף. דוגמאות לשיטות אגרונומיות כוללות עיבוד לאורך קווי גובה (Contour farming) - חריש וזריעה בהתאם לקווי הטופוגרפיה, להאטת הזרימה; חיפוי קרקע (Mulching) - פיזור שאריות צמחיות או חומרים אורגניים על פני הקרקע כדי להפחית את פגיעת הגשם ולשמר לחות; ותלמים עם

חסימות (Tied ridges) - מבנים קטנים שאוגרים מים ומונעים זרימה ישירה על פני השטח. בין השיטות ביולוגיות קיימות רצועות חיץ צמחיות (Buffer strips) - אזורי צמחייה קבועים הממוקמים בין חלקות ומסייעים בהאטת הנגר ושקיעת סחף; צמחי כיסוי (Cover crops) - צמחים המכסים את הקרקע בין מחזורי גידול ומגנים עליה מפני פגיעת גשם; וגידור חי (Live hedges) - נטיעת שיחים או עשבים גבוהים לאורך מדרונות, המאטים את הזרימה ותורמים להצמדות הקרקע [38].

לתהליכים אלו תועלות פוטנציאליות מרובות הן סביבתיות והן כלכליות. מעבר להפחתת הסחף עצמו, הם תורמים לשימור חומר אורגני בקרקע, לשיפור מבנה הקרקע ויכולת האחיזה שלה במים, להפחתת זיהום מקורות מים בסדימנטים, ולשמירה על פוריות ויציבות הקרקע לאורך זמן. חיפוי הקרקע, למשל, נמצא יעיל במיוחד בהפחתת אידי ובהגנה על הקרקע מפני פגיעת טיפות גשם, גם באזורים תלולים [38]. בנוסף, שימוש ברצועות חיץ, צמחי כיסוי וגידור חי לא רק תורמים למניעת סחף, אלא גם מניבים תוצרת נלווית כמו מספוא, חומרי בעירה או עיבוי שולי חלקות, ובכך מוסיפים תועלת משקית לשטח החקלאי [37], [38].

אף על פי כן, יישום רחב של השיטות הללו מלווה באתגרים רבים. עלויות ההקמה הראשוניות עשויות להיות גבוהות, וחלק מהשיטות דורשות תכנון מוקדם או ציוד מיוחד שאינו זמין לחקלאים קטנים. התועלות ניכרות לרוב רק בטווח הבינוני או הארוך, בעוד ההשקעה נדרשת מיידית, מה שמקשה על אימוץ מהיר מצד החקלאים [32]. מגבלות נוספות כוללות זמינות נמוכה של ביומסה לחיפוי קרקע, בעיקר באזורים צחיחים, וכן מגבלות פיזיות: בשיפועים תלולים ובקרקעות חדירות מאוד, אמצעים כמו תעלות או תלמים עלולים לקרוס או להחמיר את הסחף אם אינם מותאמים כראוי [38]. בנוסף, למרות שמחקרים רבים עוסקים בשיטות ביולוגיות, בפועל בשטח מיושמות לרוב שיטות הנדסיות, דבר המעיד על פער בין הידע לבין היישום בפועל. כדי להתמודד עם הפער הזה, יש צורך במדיניות ציבורית תומכת, הנגשת ידע והדרכה מקצועית, ותמריצים כלכליים שיאפשרו לחקלאים לאמץ שיטות אלו באופן נרחב ובר קיימא [37].

בישראל, כ־70% מהשטח החקלאי במדינה נתון לסיכון לסחיפה ושחיקה, במיוחד באזורים הרריים ובשדות במורדות. ולכן שימור הקרקע הוא הכרח אסטרטגי לצורך קיום חקלאות בת קיימא. מחקר שבוצע בארץ בחן טכניקות לשימור קרקע, בהם רצועות חיץ צמחיות, בורות חלחול, שימוש בפסולת אורגנית וחיפוי בשאריות יבול, ומצא כי יישומם תרם באופן מובהק להפחתת סחף, לשיפור מאפייני הקרקע (כגון יציבות מבנית, תכולת חומר אורגני ויכולת אגירת מים), ואף לשיפור תנובת הקרקע לאורך זמן. ניתוח כלכלי העלה כי שיטות אלו משתלמות בטווח של 10–25 שנה, בעיקר בזכות הפחתת נזקים מצטברים ושימור יכולת הייצור. עם זאת, פחות מ־20% מהחקלאים דיווחו על יישום טכניקות מסוג זה. בין הסיבות לכך נמנים חוסר במידע ישים, היעדר תמריצים מוסדיים מובהקים, ועלויות ראשוניות שמרתיעות חקלאים מהשקעה מיידית. מסקנת החוקרים הייתה כי נדרשת מדיניות סדורה, מערך ייעוץ פעיל, ותמיכה תקציבית ייעודית להרחבת השימוש באמצעים לשימור קרקע בישראל [32].

2.2.3 תכנון טופוגרפי חכם

הטופוגרפיה היא גורם מרכזי בתכנון חקלאי ובפוריות של הקרקע. שיפועים תלולים מגבילים את יכולת העיבוד המכני, מגבירים את הסיכון לסחיפת קרקע, ומקשים על השקיה יעילה. בנוסף, באזורים הרריים קיים קושי בבניית תשתיות חקלאיות, והתחזוקה שלהן מורכבת ויקרה יותר. באזורים שטוחים לעומת זאת, קל יותר

לבצע עיבוד, זריעה והשקיה, ולכן הם לרוב מתאימים יותר לגידולים מסחריים בקנה מידה גדול. אך גם אזורים שטוחים יכולים לסבול מהצפות או ניקוז לקוי, במיוחד אם הם נמצאים במפלס נמוך. תכנון חקלאי חכם כולל התאמה של סוג הגידולים והשיטות החקלאיות למבנה השטח. למשל, באזורים משופעים נהוג להשתמש בשיטות כמו טרסות, עיבוד לאורך קווי גובה או רצועות חיץ צמחיות להפחתת סחיפה ושימור הקרקע. תכנון כזה גם מסייע לייעל את ניצול המים ולהפחית נזקים סביבתיים [39].

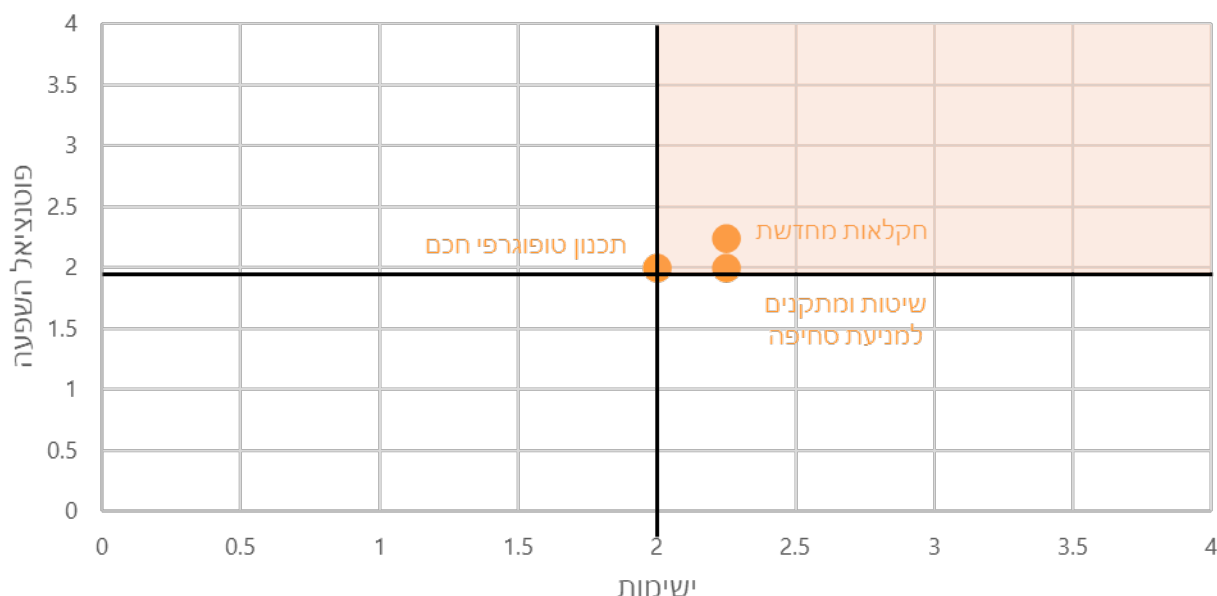
תכנון טופוגרפי חכם הוא גישה אינטגרטיבית שמיישמת מידע טופוגרפי כמו שיפועים, תצורת הקרקע וכיווני זרימה, כדי לעצב באופן מותאם את פריסת השטח החקלאי, מיקום תשתיות ההשקיה והניקוז, ואופי העיבוד. אחת הדרכים ליישום גישה זו היא שימוש במודלים ממוחשבים המבוססים על מידע טופוגרפי, סוגי קרקע ותרחישי שימוש, לצורך הערכה כמותית של סיכון לסחיפה ובחינת חלופות תכנון. מודלים כאלה מאפשרים לבחור את מבנה החלקות, כיווני העיבוד והגישה לשטח באופן שמצמצם את אובדן הקרקע מבלי לפגוע בתפקוד החקלאי [41], [40]. במקביל, טכנולוגיות כמו רחפנים תורמות למדידה מדויקת של פני הקרקע וליצירת מפות תלת-ממדיות, שיכולות לשמש לתכנון השקיה, ניקוז וזריעה באופן מותאם לשטח בפועל [39].

בקרב היתרונות המרכזיים של גישה זו ניתן למנות הפחתת סחף משמעותית, שימור חומר אורגני, שיפור חלחול, הפחתת נזקי נגר וזיהום מקורות מים, וכן ייעול של שימוש במשאבים ושיפור ארוך טווח ביכולת הייצור [41], [40]. בנוסף, התאמת חלקות לפי הטופוגרפיה מאפשרת תכנון תשתיות זולות יותר ותחזוקה פשוטה לאורך זמן [39]. עם זאת, ישנם מספר אתגרים ביישום – תכנון טופוגרפי דורש מידע גאוגרפי מדויק, תוכנות ניתוח ייעודיות, ולעיתים התאמות בשיטות העבודה הקיימות של החקלאים. כמו כן, קיימת מגבלה של עלות תכנון ראשוני וזמן השקעה במיפוי וניתוח התוצאות, שאינם תמיד זמינים לחקלאים קטנים. כדי לקדם את השימוש בגישה זו יש צורך במדיניות תומכת, בהדרכה והנגשת כלים חכמים לשימוש חקלאי יומיומי [39], [41].

2.2.4 ניתוח פתרונות לשימור קרקע

הניתוח של הפתרונות לשימור קרקע על מנת להתמודד עם אתגר השחיקה וסחיפה של קרקע מצביע על דירוגים דומים יחסית מבחינת ישימות ופוטנציאל השפעה (איור 11). **חקלאות מחדשת** הוא הפתרון בעל הישימות והשפעה הגבוהים ביותר בזכות עמידות גבוהה לשינוי האקלים ותרומה לערכים סביבתיים ולערכים נוספים מעבר לביטחון מזון (למשל מערכות אקולוגיות). שיטות ומתקנים למניעת סחיפה הוא פתרון ישים יחסית עם חסמים מתונים, ועמידות גבוהה לשינוי האקלים, אך פוטנציאל ההשפעה שלהם נמוך מזה של חקלאות מחדשת, בעיקר בשל תרומה נמוכה יותר לערכים משלימים. בעוד ששיטות ומתקנים מהווים פתרונות נקודתיים להתמודדות עם בעיות מקומיות, חקלאות מחדשת היא גישה מערכתית רחבה לייצור חקלאי, המשלבת שיקום מערכות אקולוגיות, שימור משאבים ושיפור עמידות החקלאות לאורך זמן. תכנון טופוגרפי חכם קיבל ציונים מעט נמוכים יותר, בגלל היקף ההשקעה הנדרשת, אך מדובר בפתרון מעשי ויחסית פשוט ליישום.

איור 11: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והשימות של פתרונות שימור קרקע



מהניתוח עולה כי שילוב של פתרונות הכולל גם אמצעים מבניים נקודתיים וגם שינויים מערכתיים באופי הגידול יכול לסייע לשימור קרקע אפקטיבי לאורך זמן. חקלאות מחדשת ותכנון טופוגרפי חכם מהווים פתרונות מבטיחים לטווח הבינוני והארוך, בעוד ששיטות למניעת סחיפה יכולות לשמש כהתערבויות ממוקדות במוקדי סיכון.

2.3 שימוש לא אופטימלי של מים

שימוש לא אופטימלי במים לחקלאות, הכולל השקיה במים שפירים לגידולים שניתן להשקות בקולחים וחוסר בתשתיות הולכה, מהווה אתגר משמעותי ליכולת לעמוד ביעדי ביטחון המזון. כיום, למרות שמרבית הקולחים מופנים לחקלאות, עודפים עדיין מוזרמים לסביבה. גידול האוכלוסייה צפוי להעלות את הביקוש למים שפירים לצריכה ביתית ובמקביל ליצור יותר מי שפכים, מה שידרוש גם הגדלת ייצור מי קולחים וגם הרחבת השימוש בהם בחקלאות. לנוכח זאת, חלק זה מציג פתרונות **לניצול יותר אופטימלי של מים** בחקלאות.

2.3.1 פיתוח תשתיות מים

בשל הגידול המהיר באוכלוסיית ישראל, נדרש פיתוח מסיבי של תשתיות מים שיתמודדו עם הביקוש הגובר למים לצרכים ביתיים, חקלאיים ותעשייתיים. תחום ההתפלה צפוי להוות את עמוד השדרה של אספקת המים. במקביל, קיים צורך גובר בפיתוח תשתיות להולכת מי קולחים והשקיית חקלאות. כיום מעל 80% מהקולחים בישראל משמשים לחקלאות, אך מגבלות רגולטוריות, השפעות שליליות על הקרקע (למשל הצטברות מלחים בקרקע) והמגבלות הגוברת בזמינות קרקע חקלאית מגבילים את יכולת הקליטה של המים המושבים [42].

פיתוח התשתיות כמו צנרת, מאגרים, מתקני טיפול והשבת מים, עשוי לאפשר שימוש רחב ובטוח יותר בקולחים, לצמצם את הזרמתם לנחלים ולים, ולתמוך בגידול חקלאי יציב וביטחון תזונתי. ישראל כבר

פועלת בכיוון זה: משרד החקלאות השקיע 52 מיליון ש"ח בסבסוד תשתיות השקיה לחקלאים שהשתמשו במים מושבים בשנת 2023, תוך כיסוי של עד 80% מההשקעה בתשתיות כגון צינורות ומאגרים [43]. במקביל, ועדת הכלכלה של הכנסת אישרה תוכנית רב-שנתית של 3.5 מיליארד ש"ח להקמת "מוביל ארצי לקולחים" והפחתת תעריפי מים לחקלאים [44]. בנוסף, פורסם מכרז להקמת מתקן טיפול משלים לקולחי השפד"ן, שיאפשר לטהר עד 200 מיליון מ"ק מים בשנה לצרכים חקלאיים בדרום [45]. לצד התועלות, הפיתוח מציב אתגרים מהותיים: השקעות הון גדולות, דרישה להסבות טכנולוגיות ורגולטוריות, צריכת חשמל גבוהה להתפלה, פגיעה פוטנציאלית במערכות אקולוגיות חופיות בשל הזרמת תמלחת, וכן חששות בריאותיים עקב מינרלים חסרים במים מותפלים או מזהמים במים מושבים [42].

2.3.2 הפיכת הזרימה במוביל הארצי

מעבר נרחב לשימוש במים מותפלים מחייב מערכות הולכה מתקדמות שיאפשרו שינוע מים מאזורים חופיים, בהם ממוקמים מתקני ההתפלה, אל אזורי הביקוש בפנים הארץ ובצפון. הדבר דורש התמודדות עם מרחקים גדולים והפרשי גובה משמעותיים, וצפוי להוביל להשקעות משמעותיות בתשתיות ובאנרגיה [42]. אחת היוזמות המרכזיות בתחום זה היא היפוך הזרימה במוביל הארצי שתאפשר הזרמת מים ממערכת ההתפלה שבמרכז הארץ אל אגם הכנרת.

שינוי כיוון הזרימה במקטעים מסוימים של המוביל הארצי נועד לתת מענה לעלייה בצריכת המים באזור הצפון (לצרכים ביתיים, תעשייתיים וחקלאיים), לעמידה במחויבות להספקת מים לירדן, ולשמירה על איזון המערכת האקולוגית באגם הכנרת ובאזורי ההיקף. בניגוד למערכת ההיסטורית שהתבססה על גרביטציה והובילה מים מהכנרת דרומה, ההזרמה ההפוכה מחייבת תכנון הנדסי מורכב הכולל תחנות שאיבה, מאגרים ומערכת צינורות בלחץ. הפרויקט צפוי לאפשר הזרמה של עד 120 מיליון מ"ק מים בשנה לכנרת, עם פוטנציאל להרחבה עתידית עד ל-300 מיליון מ"ק. מעבר ליעדיו ההידרולוגיים, הפרויקט נועד גם לחזק את אמינות האספקה לצפון הארץ, ולהוות נדבך בתשתית מים לאומית גמישה, שתשרת את המדינה גם בשנות בצורת ואתגרי אקלים עתידיים [46], [47]. תכנית האב למשק המים מדגישה את חשיבות המהלך כחלק מראייה מערכתית רחבה, ושואפת להחליף את המוביל הארצי הקיים במערכת ארצית מתקדמת בעלת מבנה טבעתי ו/או מגובה בצירי אורך ורוחב, שתאפשר גמישות תפעולית, ניתוב מים דינמי וגיבוי בשעת חירום, תוך חיבור בין מקורות מים מגוונים והסתגלות לשינויים עתידיים בביקוש והיצע [18].

2.3.3 העברת גידולים ממים שפירים למי קולחים

אחד הפתרונות המרכזיים לקידום שימוש יעיל ובר קיימא במשק המים החקלאי בישראל. כיום, מעל 50% מצריכת המים בישראל מיועדת לחקלאות, כשחלק ניכר מהם מקורו במים שפירים הניתנים גם לשתייה [11]. [48]. השימוש במים מושבים מאפשר להפנות מים שפירים לשימושים חיוניים אחרים (למשל צריכה ביתית), ובכך מחזק את עמידות משק המים בפני תנודות אקלימיות. כפי שהוזכר, בישראל, איכות הקולחים קובעת את היקף השימוש המותר בהם להשקיה, קולחים מטוהרים ברמה גבוהה מאפשרים השקיה בלתי מוגבלת וקולחים באיכות נמוכה מוגבלים לגידולים שאינם למאכל ישיר או בעלי קליפה שלא נאכלת [12]. מחקר

שבוצע באוסטרליה מצביע על כך שעגבניות, לדוגמה, לא רק ששרדו השקיה במים מושבים, אלא אף הפיקו תנובה גבוהה יותר בזכות הרכב מינרלי מועיל של הקולחים, מה שמפחית גם את הצורך בדישון נוסף [49].

יישום נרחב של פתרון זה מצריך התאמת הגידולים לאיכות הקולחים הקיימת באזור, תוך הסתמכות על מיפוי איכותי של מקורות מים, פיתוח שיטות השקיה מותאמות, ותכנון מרחבי חקלאי לפי שיקולים בריאותיים וסביבתיים. עם זאת, חשוב להדגיש כי רגולציה מחמירה בישראל מגבילה את השימוש בקולחים לגידולים מסוימים בלבד, ולמרות ש-85% ממי הקולחים בישראל כבר מושבים לחקלאות, עדיין עשרות מלמ"ק של מים מטהרים מוזרמים לים מדי שנה בשל חוסר תשתיות או הגבלות שימוש [44]. הרחבת היקף ההשקיה בקולחים מציעה תועלות רבות, חיסכון במים שפירים, ייעול כלכלי, הפחתת זיהום ימי, אספקת מקור עשיר במינרלים שיכול לצמצם את הצורך בדישון חקלאי, והגדלת יציבות אספקת המים לחקלאות. עם זאת, היא מלווה באתגרים מהותיים: חששות לבריאות הציבור, פגיעה אפשרית ביבולים מסוימים, הצטברות מלחים בקרקע, מגבלות אזוריות על איכות הקולחים, עלויות גבוהות של טיפול ושינוע והתנגדות חקלאים לשינויים בתמהיל הגידולים או בפרקטיקות ההשקיה [50], [48]. לשם מימוש הפוטנציאל, יש להרחיב את ההשקעה בתשתיות הולכה ואגירה, להסיר חסמים רגולטוריים, ולהפעיל מנגנוני תמרוץ כלכליים מבוססי אזור.

אחת ההזדמנויות המרכזיות שיכולות לסייע ביישום הפתרון הזה היא היוזמה שאושרה לאחרונה בוועדת הכלכלה של הכנסת, הכוללת רפורמה מקיפה בניהול השימוש בקולחים בישראל, וכוללת שני מרכיבים עיקריים: שינוי במנגנון תמחור הקולחים לחקלאות ותוכנית השקעה רחבת היקף בתשתיות. תעריף מי הקולחים לחקלאים לא יגלם עוד את עלות הטיפול השלישוני, במקביל תוקצה השקעה ממשלתית של 3.5 מיליארד ש"ח לעשור הקרוב לשדרוג תשתיות הולכה, כולל הקמת מוביל ארצי לקולחים. מהלך זה צפוי להוזיל את עלויות ההשקיה, להרחיב את זמינות הקולחים לאזורים חקלאיים, ולהגביר את השימוש בהם, תוך הפחתת התלות במים שפירים [51], [44].

2.3.4 ניהול מים מדויק

גישה מבוססת-טכנולוגיה להשקיה חקלאית שמטרתה למקסם את ניצול המים ולהתאים את כמות המים המושקית לצורכי הגידול, בזמן ובמקום הנכון. לניהול מים מדויק דרושים ארבעה מרכיבים עיקריים: (1) קביעת מועד ההשקיה, הכמות הנדרשת והדפוס המרחבי האופטימלי, בהתאם ליעדים כגון מקסום יבול, יעילות מים או רווחיות; (2) הפעלת מערכת השקיה שמבצעת בפועל את הכמות הנדרשת בדיוק מירבי; (3) מדידה או סימולציה של הכמות שסופקה בפועל, יחד עם תגובת הקרקע והצמח להשקיה; (4) שימוש במידע שהתקבל לתכנון מושכל של ההשקיה הבאה. גישה זו שואפת להפחית בזבז מים, למנוע הצפת יתר או ייבוש, ולהתאים את ההשקיה למצבי קרקע משתנים ותנאים אקלימיים דינמיים [52].

השיטות העיקריות בניהול מים מדויק כוללות שימוש במערכות מידע גאוגרפיות (GIS), חישה מרחוק, נתונים מחיישנים בשטח, ומודלים חישוביים להערכת צריכת מים והשקיה אופטימלית [53], [52].

- מערכות GIS משמשות להערכה של התאמת קרקע להשקיה, תכנון מערכות השקיה, ניתוח מרחבי של דרישות מים, ותיאום הקצאות מים ברמה שדה-אזורית.
- חישה מרחוק (באמצעות לוויינים, רחפנים או חיישנים אופטיים) מאפשרת מעקב אחר מצבי צמחייה, חישוב אידיוי בפועל וזיהוי מוקדים של עקת מים.

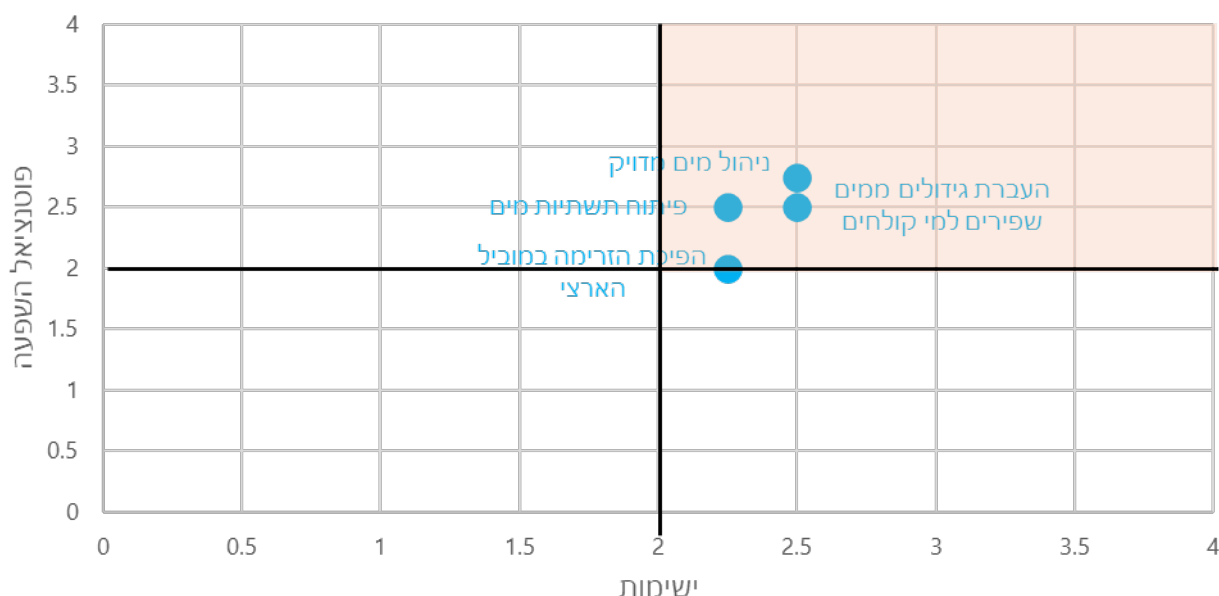
- חיישנים קרקעיים מספקים נתוני זמן אמת על רטיבות הקרקע, טמפרטורה ומליחות, ומשמשים לבקרה לצרכים משתנים.
- מודלים חישוביים או אלגוריתמים מבוססי למידת מכונה, מסייעים באמידת צריכת מים, תזמון השקיה והערכת הביצועים של מערכות ההשקיה הקיימות.

התועלות של ניהול מים מדויק כוללות חיסכון משמעותי במים, שיפור בפריון הגידולים, הפחתת עקת מים, והתייעלות תפעולית בשימוש במערכות השקיה. טכנולוגיות אלו מסייעות בקבלת החלטות מבוססות נתונים, במעקב שוטף אחר התפתחות השדה, ובהפחתת התלות בהערכות גסות או ניסוי וטעיה של החקלאים, [52] [53]. עם זאת, קיימים אתגרים בשימוש בגישות אלו, ובהם קושי בזיהוי שדות מושקים בתנאים לחים, מגבלות זמן ומרחב של צילומי לוויין, היעדר נתוני אימות מהשטח, ומחסור בנתונים בזמן אמת באזורים מסוימים. בנוסף, הטמעה מוצלחת דורשת תשתיות מתקדמות, השקעות כספיות ויכולת טכנולוגית מצד החקלאים [53].

2.3.5 ניתוח פתרונות לניצול אופטימלי של מים

הניתוח מראה כי **ניהול מים מדויק** הוא הפתרון הבולט ביותר, בזכות שילוב של ישימות גבוהה עם פוטנציאל ההשפעה הגבוה ביותר מבין הפתרונות שנבחנו (איור 12). הוא מדורג גבוה במיוחד בזכות עמידות גבוהה לשינוי האקלים, השפעה ישירה על יעדי ביטחון המזון ותרומה לערכים נוספים, לצד זמני יישום קצרים יחסית ועלויות בינוניות. גם העברת גידולים ממים שפירים למי קולחים מדורגת גבוה ונחשבת לפתרון ישים שמאפשר חיסכון משמעותי במים שפירים. בנוסף, הוא תורם לסביבה על ידי הפחתה של כמויות הקולחים המוזרמות לסביבה. לעומתם, פיתוח תשתיות מים והפיכת כיוון הזרימה במוביל הארצי דורשים השקעות תשתיות גדולות, מה שהופך אותם למאתגרים ליישום בטווח הקצר, אך תרומתם עשויה להיות משמעותית כחלק ממהלכים ארוכי טווח.

איור 12: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של פתרונות לניצול אופטימלי של מים בחקלאות



2.4 ניצול לא אופטימלי של שטחים חקלאיים

השטח החקלאי בישראל מצטמצם בעקביות בשנים האחרונות, בין היתר בשל עיור מואץ, פיתוח תשתיות ושינויי ייעוד קרקע. מגמה זו מציבה אתגר משמעותי ליכולת להבטיח ייצור מזון מקומי, במיוחד לנוכח הצורך העתידי בהגדלת היקפי הייצור בעקבות גידול האוכלוסייה. לאור המגבלות על הרחבת שטחים חקלאיים חדשים, נדרש לבחון דרכים ליעול השימוש בקרקעות קיימות, לצד איתור אזורים נוספים לגידול מזון. בחלק זה מוצגים פתרונות פוטנציאליים להגדלת השטח החקלאי, תוך בחינת התועלות והאתגרים הפוטנציאליים שלהם.

2.4.1 שיקום שטחים חקלאיים נטושים

קרקע חקלאית ברחבי העולם מצויה תחת לחץ גובר כתוצאה מגידול אוכלוסין, אשר מוביל לביקוש הולך וגדל למזון ודיור. בין הסיבות המרכזיות לנטישת קרקעות ולהידרדרותן ניתן למנות סחיפת קרקע על ידי רוח ומים, חמצון הקרקע, הידוק יתר, המלחה, עיבוד אינטנסיבי, רעיית יתר, בירוא יערות וניהול לקוי של קרקעות מעובדות [54]. גם בישראל מתרחבת תופעת ההידרדרות ונטישת קרקעות חקלאיות. מגמה זו נובעת מהצטמצמות הרווחיות בענפי חקלאות מסוימים, לחץ לפיתוח עירוני ופגיעה בזכויות שימוש בקרקע [55]. בנוסף, מעל 100,000 דונם של שדות נפגעו בעקבות פעילות צבאית במהלך מלחמת "חרבות ברזל", ודורשים כיום שיקום מורכב הכולל פינוי פסולת, טיפול בהידוק קרקע ושיקום תשתיות [56].

שיקום קרקע חקלאית כולל מגוון שיטות שצריך להתאים לתנאים המקומיים, למבנה הקרקע ולשיקולים כלכליים וחברתיים. בין השיטות המרכזיות: קילטור השטח, יישור והכנתו לזריעה, שיקום תשתיות ניקוז, שיקום אגני ניקוז, שילוב צמחייה מקומית, גידולי כיסוי לשמירה על הלחות ומניעת סחיפה, שימוש בקומפוסט, דשן ירוק ושאריות יבול לשיפור איכות הקרקע, וחקלאות משמרת המבוססת על עיבוד מינימלי של הקרקע, מחזור גידולים ושימור כיסוי קרקע. בנוסף, ננקטות שיטות לשיקום מרעה ומניעת רעיית יתר באמצעות גידור זמני ומחזור רעייה, וכן שילוב גידולים עם נטיעת עצים לשימושים כלכליים, המהווים מקור צל, תרומה לקרקע, והכנסה נוספת. בנוסף, חשוב להתאים בין סוגי גידולים לפוטנציאל הקרקע והאקלים המקומי. לדוגמה, שילוב קטניות כמו לוביה או חמצה עם דגנים כמו חיטה או סורגום נמצא יעיל בשיקום פוריות הקרקע, הפחתת הצורך בדשנים כימיים, ושיפור עמידות בפני בצורת, תוך שמירה על מגוון תזונתי וחקלאי [54], [56], [57].

אחת הדרכים החדשניות להעלאת הכדאיות של קרקע נטושה או שולית היא הטמעת מערכות אגרו-וולטאיות, המשלבות פאנלים סולאריים עם גידול חקלאי. מערכות אלו מאפשרות שימוש כפול באותה חלקת קרקע, מספקות הכנסה נוספת לחקלאים, משפרות את המיקרו-אקלים ומפחיתות את צריכת המים והדשנים. כתוצאה מכך, מערכת אגרו-וולטאית עשויה להפוך קרקע לא מנוצלת לקרקע יצרנית, גם באזורים שבהם החקלאות לבדה אינה כלכלית [58]. למרות הפוטנציאל, לשיקום שטחים חקלאיים נטושים קיימים אתגרים מהותיים: שיקום הקרקע דורש השקעות ראשוניות גבוהות, תקופת התאוששות ארוכה עד לחזרת יבול יציב, ולעיתים גם ידע, תכנון ותמיכה שאינם זמינים לכל חקלאי. אתגרים נוספים כוללים מחסור בזכויות קרקע ברורות, חוסר המשכיות במימון ותמיכה מוסדית, תנאי אקלים קיצוניים, ופערים בין ידע מסורתי לידע מדעי [57].

2.4.2 הכשרת קרקעות במדבר ובאזורים שוליים

בעולם קיימים כ-1.5 מיליארד הקטאר של קרקע שולית בלתי מעובדת, שחלקה עשוי להפוך לקרקע חקלאית פרודוקטיבית באמצעות התאמות מתאימות. קרקעות אלו מאופיינות לרוב בפוריות נמוכה, מליחות, שיפועים תלולים או תנאי אקלים קשים, ולעיתים מוגבלות גם על ידי כדאיות כלכלית נמוכה או נגישות. בנוסף, קרקע שמוגדרת כ"שולית" עשויה גם להיות רלוונטית לגידולים או שימושים אחרים כמו מרעה, ייצור ביו-אנרגיה או חקלאות מותאמת אקלים [59]. בישראל, תוכניות להרחבת השטחים המעובדים לאזורים מדבריים ושוליים (בעיקר בנגב) מתבצעות כבר שנים, אך עולות שאלות מהותיות לגבי השלכותיהן הסביבתיות. חקלאות אינטנסיבית באזורים אלה עלולה להוביל לשינויים במבנה בתי גידול טבעיים, פגיעה במגוון המינים, חדירה של מינים פולשים והחמרה בתהליכי סחיפה וירידה בפוריות הקרקע. תופעות אלה מדגישות את הצורך בתכנון זהיר, המאזן בין צורכי חקלאות לשימור המערכות האקולוגיות המקומיות [29].

כדי להתמודד עם אתגרים אלו, מוצעות שיטות ניהול מותאמות מקומית כגון התאמת גידולים המתאימים לתנאים קשים (כמו קטניות), שיקום מרעה, שילוב עצים, טכנולוגיות השקיה חכמות ודישון אורגני. גישות אלו יכולות להפוך קרקע שולית למשאב יצרני תוך הפחתת הסיכון לפגיעה סביבתית. עם זאת, השימוש בקרקעות שוליים מחייב זהירות: טיפול לא נכון עשוי לגרום לסחיפת קרקעות, דחיסת קרקע או אובדן של שירותים אקולוגיים. לכן, דרושה מדיניות הכוללת תמריצים כלכליים, מיפוי מדויק, ותכנון לפי תנאי הקרקע, צרכים אזוריים ומטרות לאומיות [59].

2.4.3 חקלאות עירונית וגגות ירוקים

"חקלאות עירונית" מוגדרת כשימוש במשאבי קרקע ומים בתוך שטח עירוני או בסמוך לו, למטרות גידול, עיבוד ושיווק של תוצרת חקלאית, לצריכה עצמית או למכירה. מעבר להפקת מזון, היא כוללת תפקודים נוספים כגון תרומה כלכלית, פנאי, חינוך ובניית קהילה. שיטות חקלאות עירונית מגוונות, וכוללות גינות קהילתיות, גינות ביתיות, חקלאות מסחרית קטנה, חקלאות מוסדית (בתי ספר, בתי אבות, מוסדות בריאות), חוות הידרופוניות ואקוופוניות [60]. אחת הדרכים ליישום חקלאות עירונית היא חקלאות על גגות מבנים, כלומר להשתמש בגגות ירוקים לצורך חקלאות עירונית. גגות ירוקים הוא מונח כולל למגוון עיצובים וטכנולוגיות להקמת שטחים ירוקים על גגות ומרפסות, המבוססים על הוספת שכבת צמחייה על פני המשטח העליון [61]. שימוש בגגות ירוקים לחקלאות עירונית כולל שימוש בשטחי גג פנויים, בין אם פתוחים ובין אם חממות גג, לגידול ירקות וצמחי תבלין. קיימים שני סוגים עיקריים של גגות ירוקים: גגות ירוקים אינטנסיביים (עומק מצע של מעל 15 ס"מ) המאפשרים גידול עמוק ויכולים להתאים לגידולי ירקות כמו עגבניות, אך דורשים תחזוקה ועומסי מבנה גבוהים, וגגות ירוקים אקסטנסיביים (עומק מצע של פחות מ-15 ס"מ) המתאימים לגידולים שטחיים כמו חסה, קייל וצנונית, שהם בעלי תשואה גבוהה עם השקעה נמוכה יחסית [62], [63].

החקלאות העירונית בישראל היא רעיון חדש-ישן, בשנותיה הראשונות של המדינה עודדו תושבים לגדל מזון בערים כחלק ממאמץ לאומי, אך עם השנים דעך העיסוק בכך בעקבות המעבר לחקלאות תעשייתית ריכוזית. כיום, על רקע משבר האקלים, העלייה ביוקר המחיה והצורך בביטחון תזונתי, גובר הצורך לעודד מחדש חקלאות מקומית בעיר, תוך שימוש בשטחים בלתי מנוצלים ובשיטות גידול מקיימות. עם זאת, התחום סובל

מהיעדר מדיניות מוסדרת, חסמים תכנוניים ורגולטוריים, וקשיים כלכליים שמעכבים את התפתחותו [64]. למרות מגמת ההתרחבות העולמית של גגות ירוקים, בישראל מספרם עדיין נמוך [65]. לאחרונה, מינהל התכנון החל במדיניות חדשה של גגות עירוניים תחת תוכנית "גגות מועילים". המטרה היא לא רק להחליף את דודי השמש בגינות, אלא לנצל את הגגות לצרכים מגוונים: כמו הגדלת שטחים ירוקים, הפחתת הצפות, פאנלים סולריים ופעילויות לקהילה [66].

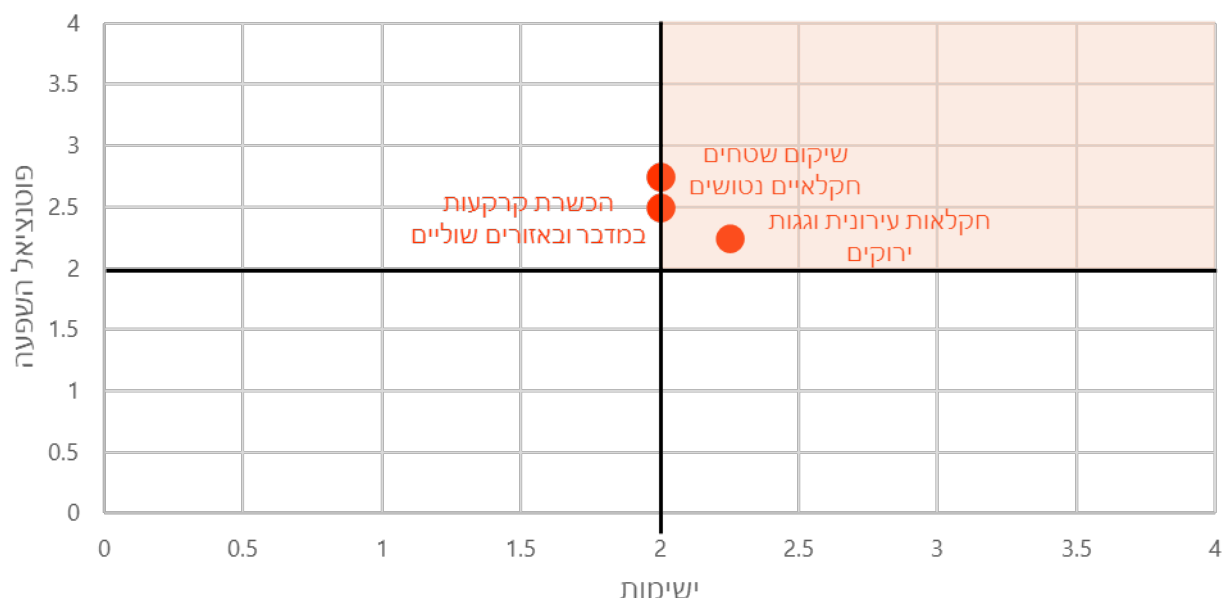
חקלאות עירונית וגגות ירוקים מציעים מגוון רחב של תועלות סביבתיות, חברתיות וכלכליות. הם מאפשרים ייצור מזון מקומי טרי בסמוך לצרכנים, ובכך מצמצמים את הצורך בהובלה ארוכת טווח ואת פליטות גזי החממה הנלוות. גגות ירוקים תורמים לשיפור מיקרו-אקלים עירוני על ידי הפחתת אפקט "אי החום העירוני", ספיגת נגר עילי, ושיפור הבידוד התרמי של המבנה. ברמה החברתית, יוזמות חקלאות עירונית מעודדות מעורבות קהילתית, חיזוק קשרים חברתיים, העצמה קהילתית, והזדמנויות חינוכיות ותעסוקתיות. נוסף על כך, הן תורמות להחזרת הטבע לעיר, להגדלת המגוון הביולוגי, ולשיפור איכות החיים במרחב האורבני [60], [63], [62].

עם זאת, לחקלאות עירונית קיימים מספר אתגרים: זמינות קרקע נמוכה במרחב העירוני, מחסור במדיניות תומכת, חסמים רגולטוריים, בעיות בעלות קרקע, ולעיתים חוסר התאמה בין החקלאות לבין התכנון העירוני. במדינות מפותחות האתגרים קשורים לרגולציה ונגישות, ואילו במדינות מתפתחות לאתגרים חברתיים וכלכליים [60]. חקלאות על גגות יכולה להוות מענה חלקי למחסור בשטח עירוני, שכן מרבית הגגות אינם מנוצלים לשימושים אחרים. עם זאת, היא מעלה אתגרים ייחודיים: עומסי משקל על מבנים, עלויות הקמה גבוהות, מגבלות מבניות, צורך במצעי גידול מותאמים, ניהול מדויק של השקיה ודישון, התנגשות עם שימושים פוטנציאליים אחרים לגגות (דודי שמש, מזגנים, פאנלים סולאריים), פוטנציאל לנגר מזוהם, והיעדר רגולציה ותמריצים [63].

2.4.4 ניתוח פתרונות להגדלת השטח החקלאי

מבין הפתרונות שנבחנו, **שיקום שטחים חקלאיים נטושים** מוביל בפוטנציאל ההשפעה, הוא מדורג גבוה בתרומה ליעדי ביטחון המזון, התאמה לפערים בקרקע, ותרומה לערכים סביבתיים וחברתיים (איור 13). עם זאת, הוא קיבל ציון נמוך בזמן ליישום, שכן תהליכי השיקום עלולים להיות ממושכים ומורכבים. חקלאות עירונית וגגות ירוקים קיבלה את הציון הגבוה ביותר בקטגוריית השימוש, בזכות זמן יישום קצר יחסית, עלויות מתונות וחסמים נמוכים. בנוסף, יש לה ערך מוסף סביבתי וחברתי, אך פוטנציאל ההשפעה הכולל שלה נמוך יותר בהשוואה לשאר הפתרונות, בשל מגבלות ההיקף והשטח בערים. הכשרת קרקעות במדבר ובאזורים שוליים מדורגת דומה לשיקום שטחים מבחינת ישימות, אך בעלת פוטנציאל השפעה נמוך יותר, בשל תרומה נמוכה יותר לערכים משלימים.

איור 13: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של פתרונות להגדלת השטח החקלאי



המסקנה מהניתוח היא שכל אחד מהפתרונות מתאים להיקף וטווח זמן מסוימים. שיקום שטחים נטושים מתאים להיקפים גדולים, וחקלאות עירונית מציעה יישום נקודתי יותר. הכשרת קרקעות מדבריות עשויה להוות פתרון משלים בתכנון ארוך טווח.

2.5 סיכום חלופות

בפרק זה בחנו פתרונות שונים שנועדו לצמצם את הפערים הקיימים בישראל בין משאבי הקרקע והמים בחקלאות הצמחית ובין הדרישות הצפויות לשנת 2050, כפי שזוהו בניתוח הכמותי בפרק 1. הפתרונות מיונו לארבעה אתגרים מערכתיים עיקריים ולכל אתגר גובשו מספר פתרונות. טבלה 4 מפרטת את ארבעת האתגרים המערכתיים, הפתרונות המוצעים ביחד עם יתרונות וחסרונות אפשריים של כל פתרון.

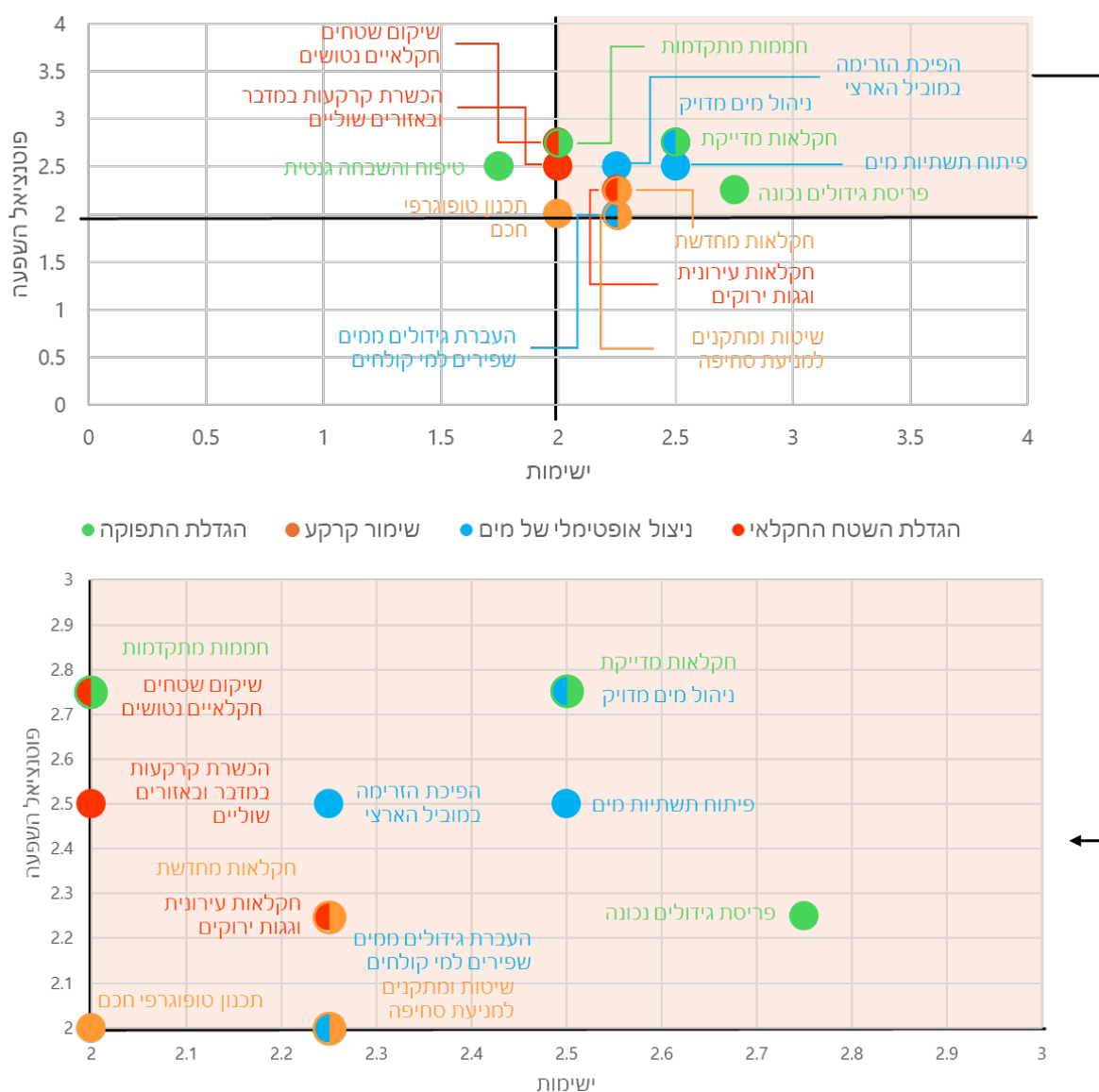
טבלה 4: סיכום האתגרים המערכתיים, הפתרונות המוצעים לכל אתגר ויתרונות וחסרונות לכל פתרון

אתגר	פתרונות	יתרונות	חסרונות
הגדלת תפוקה ליחידת שטח, נוכח מגבלות בהרחבת שטח חקלאי	חקלאות מדייקת	שיפור יעילות השימוש במשאבים, הגדלת תפוקה, הפחתת השפעות סביבתיות, ניטור וניבוי מדויק	עלויות גבוהות, צורך בהכשרה טכנולוגית, נגישות מוגבלת לחקלאים קטנים
	טיפול והשבחה גנטית	שיפור יבולים, עמידות למחלות ושינויי אקלים, חסכון במים וחומרי הדברה, שיפור ערך תזונתי	חששות סביבתיים ובריאותיים, סוגיות רגולציה, פיקוח מחמיר, היעדר ודאות עתידית
	פריסת גידולים נכונה	שיפור פוריות הקרקע, ייצוב יבולים, הפחתת תלות בדשנים והדברה, עמידות לאקלים קיצוני	צורך בידע אגרונומי, תכנון מורכב, התאמות בתפעול, חסמים מוסדיים ותרבותיים
	חממות מתקדמות וגידול מבוקר	הגדלת תפוקה ליחידת שטח, גידול רציף לאורך כל השנה, חיסכון במים, שיפור איכות היבול, התאמה לאקלים קיצוני	עלות הקמה גבוהה, תחזוקה מורכבת, צריכת אנרגיה גבוהה, דרישה למיומנויות טכנולוגיות
שימור הקרקע הקיימת, לאור שיעורי סחיפה גבוהים שפוגעים בפוריות	חקלאות מחדשת	שיפור בריאות הקרקע, שימור קרקע ומניעת סחף, שיפור אגירת מים וחומרי הזנה, ירידה בצורך בדישון, עמידות לאקלים קיצוני, רוחיות בטווח הארוך	דורש שינוי תפיסתי וניהולי, השקעה ארוכת טווח, מחסור בתמריצים, קושי בכימות השפעות סביבתיות, צורך בהכשרות
	שיטות ומתקנים למניעת סחיפה	הפחתת סחף, שימור חומר אורגני, שיפור מבנה הקרקע, הגנה על מקורות מים, תוספת תוצרת נלווית (כמו מספוא), שיפור תנובת הקרקע בטווח הארוך	עלויות הקמה גבוהות, תכנון מוקדם וציווד מיוחד, זמינות נמוכה של חומרים (ביומסה), פער בין ידע ליישום, היעדר תמריצים, סיכונים בשטח לא מותאם
	תכנון טופוגרפי חכם	הפחתת סחף, שימור חומר אורגני, שיפור חלחול, הפחתת נזקי נגר וזיהום מקורות מים, ייעול תכנון תשתיות, שיפור ביכולת הייצור	צורך במידע גאוגרפי מדויק, תוכנות ניתוח ייעודיות, עלות תכנון ראשוני וזמן השקעה, מגבלות לחקלאים קטנים

אתגר	פתרונות	יתרונות	חסרונות
שיפור הניצול של מאבי מים לאור עודפי קולחים ושימוש יתר במים שפירים	פיתוח תשתיות מים	הגדלת השימוש בקולחים להשקיה, צמצום הזרמה לסביבה, תמיכה בגידול חקלאי וביטחון תזונתי, ייעול חלוקת מים	השקעות הון גבוהות, צריכת חשמל גבוהה, צורך בהסבות רגולטוריות וטכנולוגיות, סיכון לפגיעה סביבתית
	הפיכת הזרימה במוביל הארצי	חיזוק הגמישות והאמינות של אספקת המים לצפון, חיזוק תשתית מים לאומית להתמודדות עם שינויי אקלים, שיפור באספקת מים לכנרת ולחקלאות בצפון	השקעות הון ואנרגיה גבוהות, תכנון הנדסי מורכב, צורך בתחנות שאיבה ומתקנים חדשים
	העברת גידולים ממים שפירים למי קולחים	חיסכון במים שפירים, ייעול כלכלי, אספקת מים יציבה לחקלאות, הפחתת זיהום ימי, הפחתת צורך בדישון	מגבלות רגולציה על סוגי גידולים, חששות בריאותיים, הצטברות מלחים בקרקע, חוסר בתשתיות, התנגדות חקלאים, פערים באיכות הקולחים
	ניהול מים מדויק	חיסכון במים, שיפור פריון, הפחתת עקת מים, קבלת החלטות מבוססות נתונים, תזמון אופטימלי של השקיה	השקעות ראשוניות גבוהות, צורך בתשתיות מתקדמות, מגבלות טכנולוגיות (חיישנים, לוויינים), חוסר בנתונים בזמן אמת, צורך בהכשרה
הגדלת השטח החקלאי, על רקע מגמות עיור וצמצום הקרקע החקלאית	שיקום שטחים חקלאיים נטושים	הפחתת לחצים על קרקעות מעובדות, החזרת שטחים חקלאיים לייצור, שיפור פוריות הקרקע, הגדלת מגוון גידולים, שילוב פאנלים סולאריים (אגרו-וולטאי)	עלויות ראשוניות גבוהות, תקופת התאוששות ארוכה, צורך בידע מקצועי, מחסור בזכויות קניין ברורות, פערים בין ידע מסורתי ומודרני, תמיכה מוסדית חלקית
	הכשרת קרקעות במדבר ואזורים שוליים	הרחבת השטח המעובד, הפיכת קרקע לא מנוצלת למשאב יצרני, התאמת גידולים לתנאים מקומיים, פיתוח חקלאות מותאמת אקלים	סיכון לפגיעה במערכות אקולוגיות, סחיפה ודחיסת קרקע, צורך בתכנון זהיר, כדאיות כלכלית נמוכה באזורים מסוימים
	חקלאות עירונית וגגות ירוקים	ייצור מזון מקומי וטרי, שיפור מיקרו-אקלים עירוני, הפחתת נגר עילי ופליטות גזי חממה, חיזוק קהילתי, העצמה חינוכית ותעסוקתית, הגדלת שטחים ירוקים בעיר	זמינות קרקע נמוכה, חסמים רגולטוריים, עלויות הקמה גבוהות, עומסי משקל על מבנים, היעדר מדיניות ותמריצים

הפתרונות הוערכו באמצעות מסגרת אחידה הכוללת שמונה קריטריונים של ישימות ופוטנציאל השפעה. הערכה זו התבססה על סקירת ספרות ושולבה עם תובנות שהתקבלו מסקר מומחים בתחום החקלאות, הקרקע והמים. בגרף הפתרונות באיור 14 ניתן לראות את התוצאות של הישימות ופוטנציאל השפעה עבור הפתרונות השונים.

איור 14: תוצאות ניתוח פוטנציאל ההשפעה והישימות של פתרונות לצמצום הפער במשאבי המים והקרקע לחקלאות צמחית בישראל 2050



2.5.1 תיעדוף פתרונות-המלצות למקבלי החלטות

הניתוח שביצענו באיור 14 מצביע על כך שכל הפתרונות שנבחנו נמצאים ברביע העליון-ימני או קרוב אליו. רביע זה כולל את הפתרונות שדורגו כבעלי ישימות גבוהה והשפעה פוטנציאלית גבוהה. על מנת לזהות את הפתרונות המומלצים, נזהה את נקודות הפארטו. נקודות הפארטו מייצגות את קבוצת החלופות שאינן נשלטות, כלומר אין נקודה אחרת שמשפרת אותן לפחות באחד מהקריטריונים מבלי לפגוע באחר. למשל, חממות מתקדמות ושיקום שטחים נטושים נשלטות ע"י חקלאות מדויקת וניהול מים מדויק כי יש להם את אותו פוטנציאל ההשפעה אבל הם בעלי ישימות נמוכה יותר. שלושה פתרונות בולטים במיוחד ומהווים את נקודות הפארטו של הניתוח ומתאימים ליישום בטווח הקצר-בינוני: פריסת גידולים נכונה, חקלאות מדויקת, ניהול מים מדויק. פתרונות אלו מהווים את עמדת הפתיחה המומלצת, שכן הם בעלי היקף רחב ויכולים לתרום משמעותית ליעדי הייצור המקומי. בנוסף, הם לא דורשים תשתיות כבדות או שינויים רגולטוריים מרחיקי לכת. לפיכך, הם מהווים צעדים ראשונים מועדפים למדיניות. בהמשך, בולטים שלושה פתרונות נוספים בעלי פוטנציאל השפעה/ישימות גבוהים. פתרונות אלו דורשים השקעות גבוהות ותכנון ממושך, ולכן מתאימים יותר ליישום בטווח הארוך או כתוספת הדרגתית לאסטרטגיה קיימת: פיתוח תשתיות מים, חממות מתקדמות וגידול מבוקר, שיקום שטחים חקלאיים נטושים (איור 15).

איור 15: פתרונות מועדפים ליישום בטווח הקצר-בינוני ובטווח הארוך



ליישום של פתרונות אלה עשויה להיות השפעה משמעותית לא רק על יעדי ביטחון המזון, אלא גם על שיפור הישימות של פתרונות אחרים. לדוגמה, פיתוח תשתיות מים (שיכול לכלול גם את הפיכת הזרימה במוביל הארצי) יוכל להרחיב את יכולת ההעברה של גידולים ממים שפירים למי קולחים. שיקום קרקעות יגדיל את היצע הקרקע החקלאית ויאפשר יישום שיטות כמו חקלאות מחדשת, שהיא לא רק שיטת עיבוד אלא אסטרטגיה כוללת לשיקום מערכות אקולוגיות חקלאיות, המשלבת בין שמירה על קרקע, הגדלת פוריות ועמידות לאקלים, וניהול אינטגרטיבי של המרחב.

כמובן שאין בזה לשלול את יעילותם או חשיבותם של הפתרונות האחרים. ניתוח זה נועד לשמש ככלי תומך החלטה לתיעדוף פתרונות מבחינת ישימות ופוטנציאל ההשפעה שלהם, וגם הפתרונות שלא קיבלו את

הדירוג הגבוה ביותר יכולים להתאים להקשרים ספציפיים (גאוגרפיים, רגולטוריים או חברתיים) או להוות חלק מתוכנית פעולה ארוכת טווח. למשל, פתרונות כמו חקלאות עירונית, שיקום קרקעות נטושות או שיטות למניעת סחיפה, הם פתרונות ממוקדים יותר ויהיו רלוונטיים באזורים ספציפיים בהם מתקיימים תנאים מתאימים ליישום. טיפוח והשבחה גנטית של זנים אמנם לא מופיע ברביע העליון של הגרף, אך יכול להוות השקעה אסטרטגית בטווח הארוך. הוא צפוי לתרום רבות להתמודדות עם שינוי האקלים והגדלת התפוקה עבור גידולים חיוניים כמו דגנים וקטניות, בעיקר כאשר יתאפשרו מסגרות רגולטוריות תומכות.

לסיכום, ממצאי הניתוח תומכים בגישה הדרגתית ומשולבת: התחלה בפתרונות רחבי היקף בעלי ישימות גבוהה שמתאימים ליישום בטווח הקצר-בינוני (פריסת גידולים נכונה, חקלאות מדייקת וניהול מים מדויק) לצד השקעה בפתרונות אסטרטגיים לטווח הארוך (פיתוח תשתיות מים, חממות מתקדמות ושיקום קרקעות) שיכולים להעצים את הישימות של פתרונות אחרים. בנוסף, כדאי גם לשלב פתרונות נקודתיים, כמו חקלאות עירונית או מניעת סחיפה. גישה זו מאפשרת מענה הוליסטי, הדרגתי, להתמודדות עם אתגרי ביטחון המזון של ישראל.

3. המלצת פריסה גאוגרפית של יישום הפתרונות

כדי לגבש המלצות לאופן יישום הפתרונות שנגזרו מהאתגרים המרכזיים, בוצע ניתוח מרחבי לזיהוי אזורים בעלי פוטנציאל ליישום הפתרונות הרלוונטיים. הניתוח מבוסס על שכבת הממ"ג של החלקות החקלאיות של משרד החקלאות [14]. ניתוח זה משלב בין נתוני קרקע, מים, גידולים והשפעת שינוי האקלים, ומציע זיהוי של אזורים בהם נדרש מענה ממוקד, תוך התאמה לאופי האתגר המקומי. מיפוי זה מאפשר גיבוש צעדים יישומיים ברמה האזורית והארצית, ומהווה כלי תומך החלטה עבור מקבלי החלטות.

3.1 שיפור התפוקה החקלאית

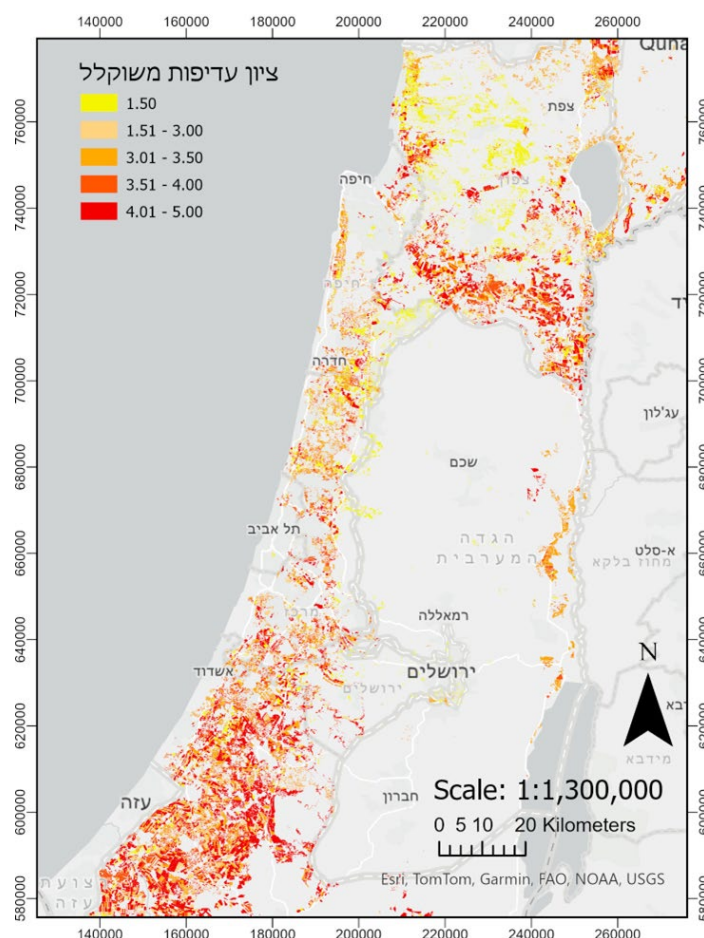
כדי לזהות אזורים שבהם נדרש שיפור משמעותי בתפוקת הייצור החקלאי, חושב ציון עדיפות משוקלל לכל חלקה חקלאית. הציון התבסס על שני משתנים מרכזיים:

1. האחוז הנדרש בשיפור התפוקה עד ל-2050 כפי שחושב בחלק 1.2 של הדו"ח.
2. הירידה הצפויה בתפוקה כתוצאה משינוי האקלים בהתבסס על תחזיות של משרד החקלאות [20], כפי שהיא מופיעה בחלק 1.4 של הדו"ח.

כדי לשמור על אותו סולם ערכים, שני המשתנים הומרו לציונים בסולם של 1 (נמוך) עד 5 (גבוה). לכל חלקה חושב ציון משוקלל עבור עדיפות לשיפור בתפוקה, באמצעות ממוצע של שני המשתנים, את התוצאות ניתן לראות באיור 16.

כ-900,000 דונם של שטח חקלאי קיבלו ציון עדיפות משוקלל גבוה (מעל 4 – מסומן באדום במפה). באזורים אלה מתקיימים גידולים של קבוצות המזון בהן יש צורך בשיפור משמעותי בתפוקה וגם צפי לירידה ניכרת בתפוקה כתוצאה משינוי האקלים, מה שמעיד על צורך דחוף בשיפור התפוקה בשטחים אלו. רוב השטחים הללו מרוכזים באזור הנגב, אך קיימים ריכוזים נוספים בגליל התחתון, בעמק יזרעאל ובשפלה. מבחינת סוג הגידול, מרבית החלקות שייכות לקבוצת המזון "דגנים ומוצריהם", ובעיקר חיטה לגרעינים ולתחמיץ. באזורים אלה, יש צורך בהשקעה בפתרונות יעילים לטווח הקצר והבינוני, כולל אימוץ טכנולוגיות חקלאיות מתקדמות, וניהול מים מדויק. בנוסף, יש לשקול פתרונות ארכי טווח יותר כמו השבחה גנטית ופיתוח תשתיות באזורים מסוימים, למשל בנגב, שם תנאי הסביבה מאתגרים יותר. ניתוח זה מצביע על אזורים שבהם יש סיכון גבוה לפגיעה בתפוקה ולכן גם סיכוי גבוה להשפעה חיובית של השקעות והתערבויות. השקעת משאבים בחלקות שקיבלו את הדירוג הגבוה ביותר יכולה לתרום באופן משמעותי להשגת יעדי ייצור 2050 ולשיפור עמידות החקלאות המקומית לתנאי קיצון.

איור 16: ציון עדיפות משוקלל לשיפור תפוקה חקלאית עבור החלקות החקלאיות (עדיפות גבוהה באדום)

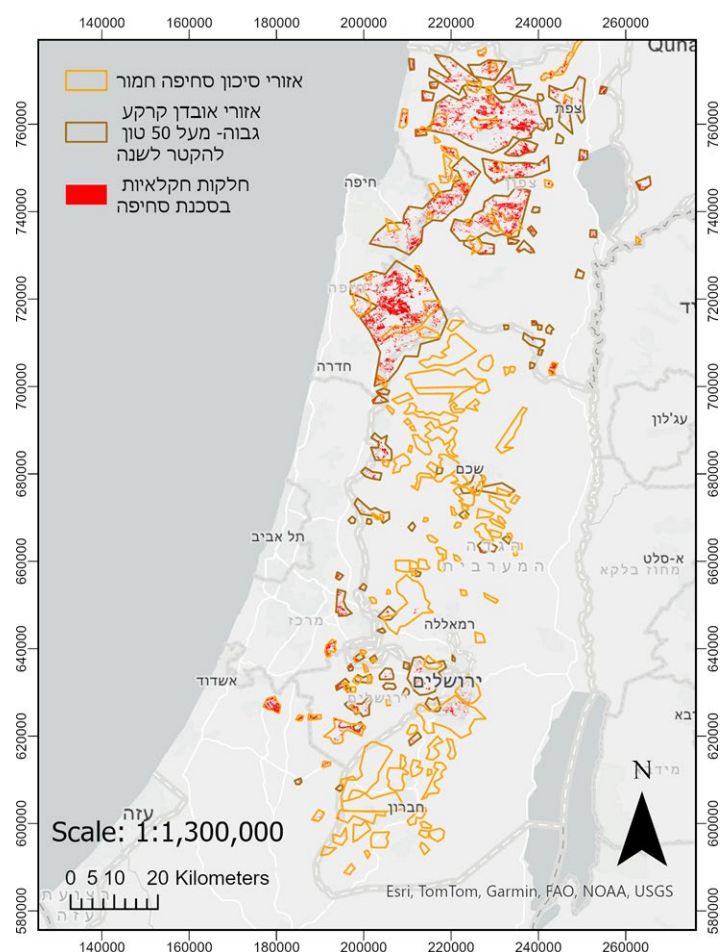


3.2 שימור קרקע

שימור הקרקע מהווה נדבך קריטי להבטחת יציבות ייצור חקלאי בטווח הארוך, תוך שמירה על פוריות הקרקע, מניעת סחף ושיפור שירותי המערכת האקולוגית. הניתוח המרחבי עבור שימור קרקע התבסס על מפת סיכוני סחיפה של משרד החקלאות [67] ונתוני התחנה לחקר הסחף [68], ואיתר כ-300,000 דונם חקלאיים המצויים באזורים בסיכון סחיפה חמור (איור 17).

חלקות אלו מרוכזות בעיקר בגליל, בגולן ובעמקים, אזורים המאופיינים בטופוגרפיה תלולה יחסית, כמות משקעים גבוהה יותר ועיבוד חקלאי נרחב. מרבית השטחים שזוהו משויכים לגידולי זיתים לשמן. באזורים אלה, יש צורך בהטמעה של שיטות לשימור קרקע, כפי שנדונו בפרק הקודם, לרבות: שימוש בגידולי כיסוי, עיבוד משמר, בניית טרסות, שילוב של צמחייה מקומית לאורך ערוצי זרימה, ניהול מרעה מבוקר ותחזוקת תשתיות ניקוז. מעבר לכך, באזורים אלה כדאי לשקול גם מעבר לגישות חקלאות מותאמות יותר כמו חקלאות מחדשת. יישום פתרונות שימור במוקדים אלו צפוי לתרום גם להפחתת הזנת משקעים מזהמים למקורות מים, לשמירה על פוריות הקרקע לאורך זמן, ולחיזוק עמידות השטח החקלאי בפני שינויי אקלים והקצנה באירועי מזג האוויר.

איור 17: אזורים חקלאיים בסיכון גבוה לסחיפת קרקע (באדום)



3.3 שיפור ניצול מקורות המים

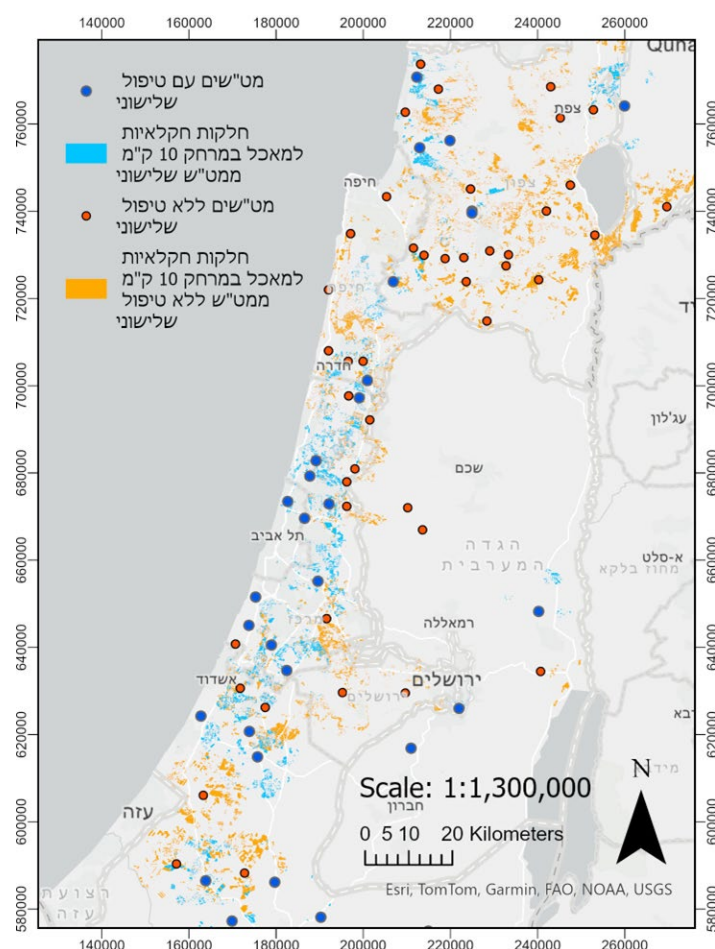
הקצאת מים בהתאם לצורכי הגידולים מהווה מרכיב חיוני בהתייעלות חקלאית, במיוחד לנוכח דרישה הולכת וגוברת באספקת מים שפירים לשימושים שאינם חקלאיים. כיום, כמות ניכרת מהמים המשמשים להשקיה חקלאית בישראל הם מי קולחים (מים מושבים), אולם חלק מהגידולים, בעיקר פירות וירקות הנצרכים טריים, עדיין מושקים במים שפירים. בנוסף, עודפי קולחים מוזרמים לנחלים, לים או לסביבה הפתוחה, ויכולים להוביל לפגיעה סביבתית, כמו המלחת קרקעות, פגיעה במקורות מים טבעיים ובמערכות אקולוגיות. ניצול עודפים אלה לצרכים חקלאיים, במיוחד באזורים בהם קיים ביקוש למים, מהווה חלופה עדיפה סביבתית, תפעולית וכלכלית.

במטרה לזהות אזורים בעלי פוטנציאל מעבר למים מושבים, בוצע ניתוח מרחבי שבחן את הקרבה בין חלקות חקלאיות המושקות כיום במים שפירים לבין מט"שים (מכונני טיהור שפכים) בעלי טיפול שלישוני (הנחשב מתאים להשקיה ללא הגבלה). מהניתוח עלה כי קיימות כ-24,000 חלקות, בהיקף כולל של כ-295,000 דונם, אשר שוכנות בטווח של עד 10 ק"מ ממט"ש עם טיפול שלישוני (איור 18) [69].

מרבית החלקות הללו מצויות באזור המרכז, ובאופן לא מפתיע, שייכות לגידולי ירקות ופירות - גידולים שדורשים מים באיכות גבוהה. בנוסף, הניתוח מראה כי בצפון הארץ, ובעיקר בגליל ובגולן, קיימת בעיה

מבנית: מרבית המט"שים פועלים ברמת טיפול שניוני בלבד, שאינה מספיקה להשקיית גידולים רגישים. עם הבצורת של חורף 2024-2025, צפון הארץ סובל ממחסור גובר במים להשקיה, מה שמחדד את הצורך בהרחבת השימוש במים מושבים גם באזור זה. לשם כך יש לשדרג מט"שים קיימים לטיפול שלישוני ולפתח תשתיות הולכה והפצה שיאפשרו הזרמת מי קולחים מאזורים שבהם מיוצרים עודפים (בעיקר במרכז הארץ) אל אזורים שבהם הייצור נמוך אך הביקוש גבוה – כמו בעמקים ובגליל העליון. לצד פיתוח תשתיות ארוך טווח, ניתן ליישם בטווח הקצר פתרונות משלימים כמו ניהול מים מדויק וחקלאות מדויקת, המבוססים על חיישנים, חישה מרחוק וניתוח נתונים. פתרונות אלו משפרים את יעילות ההשקיה, מפחיתים בזבז מים ותורמים לשימוש מיטבי של מקורות המים.

איור 18: חלקות המושקות במים שפירים ונמצאות בטווח 10 ק"מ ממט"שים עם טיפול שלישוני



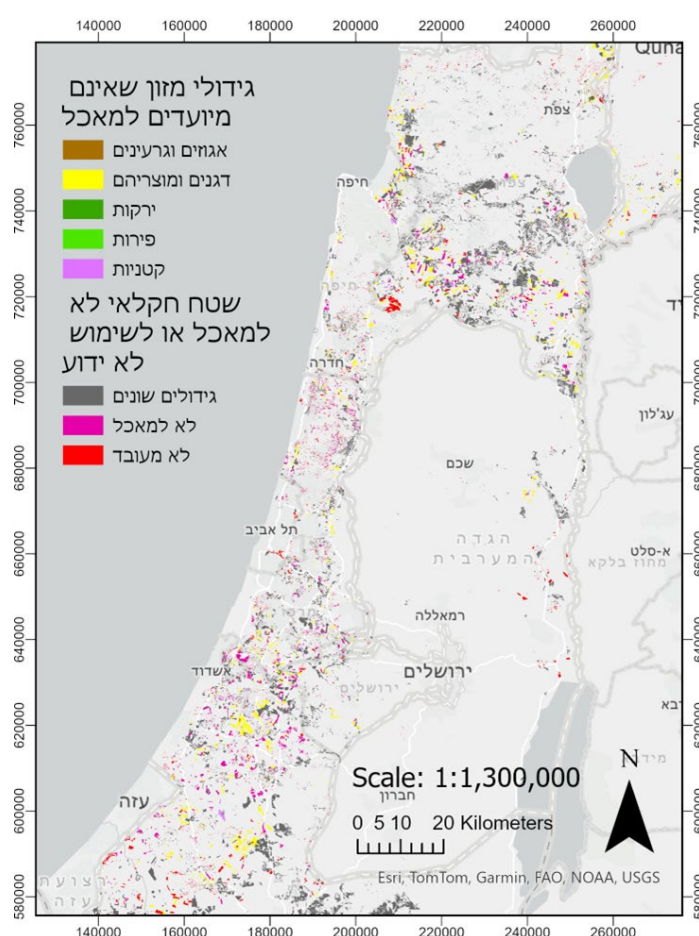
3.4 הרחבת השטח החקלאי

למרות התחזיות המצביעות על ירידה בשטח החקלאי בישראל עד שנת 2050, בעיקר בשל תהליכי עיוור, פיתוח תשתיות ושינויים בשימושי הקרקע, קיימים אזורים בעלי פוטנציאל להרחבת ייצור המזון המקומי. הניתוח המרחבי מצביע על שתי קבוצות עיקריות של שטחים שיכולים לתרום לכך (איור 19):

1. כ-20% מהשטחים החקלאיים מוגדרים כ"גידולים שונים" – קטגוריה שאינה מאפשרת הבחנה ברורה בין גידולי מזון לגידולים אחרים (כגון פרחים, צמחי נוי או גידולי מספוא שאינם לצריכת מזון ישירה). תיעדוף מחדש של שטחים אלה לגידולים תזונתיים, ובפרט לדגנים וקטניות, יכול לצמצם באופן ניכר את הפערים ביעדי הייצור. להמחשה, בחישוב פשוט בו 50% מהשטחים הללו הוקצו לדגנים ו-50% לקטניות התקבלה הפחתה משמעותית בדרישות השיפור בתפוקה: מ-635% ל-389% בדגנים ומ-677% ל-49% בלבד בקטניות.
2. כ-7% נוספים מהשטחים (כ-280,000 דונם) מוגדרים כשטחים שאינם מעובדים או ככאלו המשמשים לגידולים שאינם מיועדים למאכל. התאמה של שטחים אלה לצורכי ייצור מזון יכולה להוות דרך נוספת להגדלת ההיצע המקומי.

כדי לממש את הפוטנציאל באזורים אלו, נדרשת התערבות מדיניות תומכת הכוללת תמריצים כלכליים למעבר לגידולים תזונתיים, ושילוב מערכות תומכות החלטה לבחירה מיטבית של גידולים בהתאם לתנאים המקומיים. בנוסף, יישום פתרונות משלימים כמו שיקום שטחים חקלאיים נטושים, הכשרת קרקעות שוליות (למשל באזורים מדבריים), שימור קרקע ויישום עקרונות של חקלאות מחדשת – יכול לשפר את איכות הקרקע, להגביר את עמידותה לשינויי אקלים, ולשפר את הכדאיות הכלכלית של חקלאות באזורים אלה.

איור 19: חלקות שאינן מיועדות למאכל או שייעודן אינו ברור



3.5 סיכום פריסה גאוגרפית של פתרונות והמלצות

פרק זה התמקד בזיהוי אזורים בעלי פוטנציאל ליישום הפתרונות שנדונו בפרק הקודם, באמצעות ניתוח מרחבי של שכבות מידע גאוגרפיות. לצורך כך גובשו מדדים כמותיים עבור ארבעה תחומים מרכזיים: הגדלת התפוקה החקלאית, שימור הקרקע, שיפור ניצול המים, והרחבת השטח החקלאי. על בסיס התוצאות גובשו מספר המלצות תכנון ממוקדות למקבלי ההחלטות, בהתאם לאזור ולסוג ההתערבות הנדרשת. באיור 20 ניתן לראות סיכום של הממצאים וההמלצות.

איור 20: סיכום ממצאים והמלצות של הניתוח המרחבי



מיפוי זה מדגיש את חשיבות ההתאמה המרחבית של הפתרונות לאתגרי ביטחון המזון על ידי תרגום אתגרים מערכתיים להזדמנויות תכנוניות ממוקדות אזור. הניתוח מלמד כי יש הבדלים ניכרים בין אזורים בארץ מבחינת צורכי ההתערבות, ולכן נדרשת גישה גמישה שמזהה את הפוטנציאל המקומי וממקסמת אותו בהתאם לנסיבות. יישום מדורג, מותאם אזור, המשלב בין פתרונות לטווח הקצר והבינוני (חקלאות מדייקת,

פריסת גידולים נכונה וניהול מים מדויק) לבין צעדים אסטרטגיים ארוכי טווח (פיתוח תשתיות, שיקום שטחים וחקלאות מחדשת), יעזור להתמודד עם מגבלות משאבי הקרקע והמים בישראל.

4. סיכום הדו"ח והמלצות מדיניות

במסגרת פרויקט ביטחון מזון במוסד שמואל נאמן הוגדרה תזונה ים-תיכונית כתפריט התזונתי המומלץ, וגובשו תרחישי ייחוס ויעדים כמותיים להיקף הייצור המקומי הרצוי לכל קבוצת מזון. היעד המרכזי שנקבע הוא הסתמכות של 50% על ייצור מקומי עד שנת 2050 [7]. הדו"ח הנוכחי מתמקד בבחינת משאבי הקרקע והמים הנדרשים להשגת יעד זה, תוך התמקדות בחקלאות הצמחית. מטרותיו הן להעריך את המצב הקיים, לחשב את הצרכים העתידיים, לזהות פערים, ולהציע צעדים נדרשים לצמצומם. לשם כך, הדו"ח חולק לשלושה חלקים עיקריים: (1) **ניתוח כמותי** של משאבי הקרקע והמים וזיהוי הפערים מול הדרישות הצפויות לשנת 2050; (2) **ניתוח חלופות** ותיעדוף פתרונות, שכלל גיבוש פתרונות לאתגרים המרכזיים שזוהו וניתוח השוואתי בהתאם לקריטריונים של ישימות והשפעה; (3) **ניתוח מרחבי** לזיהוי אזורים בעלי פוטנציאל ליישום הפתרונות.

4.1 עיקרי הממצאים

- **ניתוח כמותי** - נדרש גידול משמעותי בשטח המוקצה לגידולים תזונתיים (בעיקר דגנים וקטניות) כדי לעמוד ביעדי הייצור המקומי. אבל השטח החקלאי צפוי לרדת כתוצאה מתהליכים שונים ולכן יהיה צורך בעלייה של מאות אחוזים בתפוקה ליחידת שטח בגידולים מסוימים ובעיקר עבור דגנים וקטניות. בנוסף, קיים פער בין הדרישות לחקלאות ובין יעדי ההקצאה שהוגדרו ברשות המים לשנת 2050. לסיכום נמצאו 4 אתגרים מערכתיים כדי לעמוד ביעדי ביטחון המזון לשנת 2050: הגדלת התפוקה ליחידת שטח, מניעת שחיקה וסחיפה של קרקע, הצורך בשימוש אופטימלי של מים, ניצול אופטימלי של שטח חקלאי.
- **ניתוח חלופות לפתרונות** - נבחנו פתרונות אפשריים להתמודדות עם האתגרים שזוהו, לפי שמונה קריטריונים של ישימות והשפעה. הניתוח הצביע על עדיפות ראשונית לפתרונות רחבי היקף שניתנים ליישום **בטווח קצר-בינוני**: חקלאות מדויקת, ניהול מים מדויק ופריסת גידולים נכונה. לצד אלו הומלצו גם פתרונות אסטרטגיים ליישום **בטווח הארוך**: שיקום קרקעות, פיתוח תשתיות מים, וחממות מתקדמות.
- **פריסה גאוגרפית** - זוהו אזורים בעלי פוטנציאל ליישום ממוקד של הפתרונות: (1) אזורים בהם יש גידולים בהם דרושה עלייה גדולה בתפוקה אך גם צפויה בהם ירידה משמעותית בתפוקה כתוצאה משינוי אקלים; (2) חלקות חקלאיות שנמצאות באזורים בסיכון גבוה לסחיפת קרקע; (3) חלקות של גידולים למאכל שמושקות ע"י מים שפירים אך נמצאות במרחק סביר ממקור של מי קולחים המתאימים להשקיה; (4) שטחים שאינם מנוצלים או שייעודם אינו ברור (כ-27% מהשטח החקלאי), שעשויים לתרום באופן משמעותי להגדלת התוצרת.

4.2 המלצות מדיניות

תוצאות המחקר מדגישות את הפער בין היכולת החקלאית הנוכחית של ישראל לבין יעדי ביטחון המזון לשנת 2050, במיוחד עבור הגידולים השייכים לקבוצות המזון דגנים וקטניות. לאור הירידה הצפויה בשטחי החקלאות הזמינים, נוכח גידול האוכלוסייה ותנאים אקלימיים משתנים, נדרש מענה מערכתי שיבטיח ייצור מזון מקומי בהיקף מספק ובאופן בר-קיימא. ההתמודדות עם פערים אלו מחייבת לא רק שיפור בניצולת החקלאית והטמעת טכנולוגיות מתקדמות, אלא גם ניתוח מרחבי לזיהוי הזדמנויות ליישום פתרונות מותאמים לאזורים השונים. בהתבסס על ממצאי הדו"ח, גובשו המלצות לאסטרטגיית פעולה הדרגתית, המשלבת בין יישום פתרונות בטווח הקצר-בינוני לבין השקעות בפתרונות וגישות ארוכי טווח (איור 21).

איור 21: המלצות מדיניות לטווח הקצר-בינוני ולטווח הארוך

המלצות לטווח הקצר-בינוני

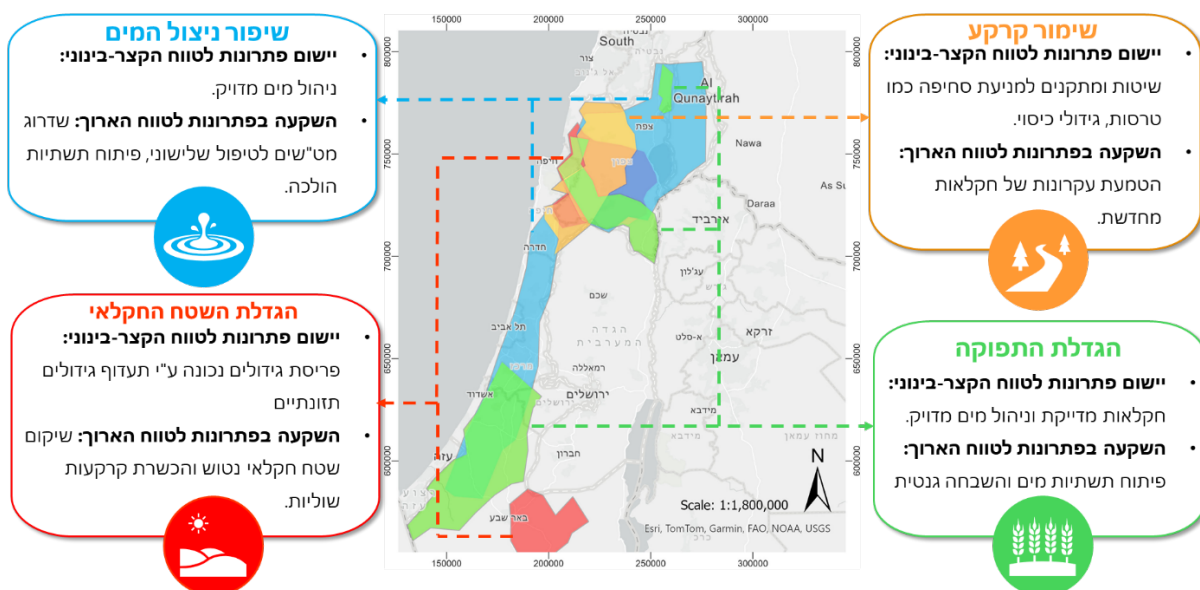
- **השקעות בפתרונות בעלי ישימות גבוהה** - קידום חקלאות מדייקת, ניהול מים מדויק ופריסת גידולים נכונה (תוך תעדוף של גידולי מאכל) כאמצעים לשיפור תפוקה וחסכון במים.
- **התאמה מרחבית של הפתרונות** - יישום תכניות מותאמות לאזור בהתאם לצרכים והפוטנציאל המקומי.
- **קידום שימוש מושכל במשאבי מים** - עידוד העברת גידולים ממקורות שפירים למי קולחים, תוך השקעה מינימלית בהובלה מקומית.
- **תמיכה בהטמעת טכנולוגיות חכמות** - עידוד וסבסוד מערכות חישה, ניתוח נתונים וכלים תומכי החלטה, לטובת תכנון חקלאות מדייקת וניהול מים מדויק.

המלצות לטווח הארוך

- **פיתוח תשתיות מים** - שדרוג מט"שים לטיפול שלישוני, פיתוח מערכות הולכה אזוריות ונקודתיות להעברת קולחים מהמט"שים הקיימים לאזורים המושקים במים שפירים.
- **שיקום והרחבת שטחים חקלאיים** - שיקום קרקעות נטושות והכשרת קרקעות שוליות (למשל באזורים מדבריים).
- **פיתוח חממות מתקדמות וגידול מבוקר** - הרחבת השימוש במערכות גידול מבוקר (חממות חכמות, חקלאות אנכית, הידרופוניקה ואקוופוניקה), להגדלת התפוקה במרחבים מוגבלים ובתנאי אקלים משתנים.
- **מעבר לגישה של חקלאות מחדשת** - עידוד מעבר לטכניקות של חקלאות מחדשת: שימור קרקע, הפחתת עיבוד, גידולי כיסוי, ועוד. לחיזוק פוריות הקרקע, ושיקום מערכות אקולוגיות חקלאיות.
- **פיתוח והשבחה גנטית של גידולים** - קידום מחקר ויישום של זנים עמידים לשינויי אקלים ובעלי ערך תזונתי גבוה, בדגש על דגנים וקטניות.

כפי שכבר צוין, יישום המלצות המדיניות שגובשו בדו"ח זה מחייב לא רק תיעדוף בין פתרונות לטווח הקצר והארוך, אלא גם התאמה גאוגרפית של ההתערבויות בהתאם לצורכי השטח. לכל אזור מאפיינים שונים, ולכן יש חשיבות גבוהה לתכנון אזורי מותאם. כחלק מהדו"ח בוצע ניתוח גאוגרפי של שכבות מידע שונות, שבאמצעותן זוהו אזורים בעלי פוטנציאל ליישום הפתרונות השונים שנבחנו. באיור 22 מוצגים הממצאים המרכזיים של ניתוח זה, ומוצעת חלוקה גאוגרפית הממחישה כיצד ניתן למקד את יישום הפתרונות בהתאם לאתגר הנמצא בכל אזור.

איור 22: סיכום המלצות פריסה גאוגרפית של פתרונות



לצד האתגרים המערכתיים שזוהו, הדו"ח מצביע על שורה של פתרונות ישימים וברי השפעה שיכולים לתרום באופן משמעותי לעמידה ביעדי הביטחון התזונתי של ישראל לשנת 2050. אף על פי שמגבלות פיזיות כמו צמצום שטחים חקלאיים ושחיקת קרקעות מקשות על הגדלת ההיצע, ניתן להשיג שיפור ניכר ביעילות הייצור המקומי באמצעות קידום חקלאות מדויקת, תכנון חכם של פריסת גידולים וניהול מיטבי של מקורות המים. לצד פתרונות אלה, ראוי להשקיע גם בפתרונות אסטרטגיים לטווח הארוך: פיתוח תשתיות מים, שיקום שטחים נטושים, והטמעת טכנולוגיות מתקדמות של חממות מבוקרות. פתרונות נוספים שכדאי לקדם בטווח הארוך הם מעבר לגישה של חקלאות מחדשת וטיפול והשבתה גנטית של זנים המתאימים לתנאי אקלים משתנים, שיכולים להרחיב את גבולות היכולת החקלאית ולשפר את עמידות המערכת החקלאית כולה. בנוסף, הדו"ח מצביע על פוטנציאל משמעותי בהקצאה מחדש של שטחים חקלאיים שאינם מנוצלים או שיעודם אינו ברור, שמהווים כ-27% מכלל השטח החקלאי, ויכולים להוות מרחב פעולה משמעותי להגדלת התפוקה.

לסיכום, ההתמודדות עם אתגרי ביטחון המזון של ישראל מחייבת גישה אינטגרטיבית, המשלבת תכנון מרחבי מותאם אזור, מדיניות מבוססת נתונים, השקעה בתשתיות וחדשנות, והכוונה אסטרטגית לטווחים שונים. גישה כזו תאפשר חיזוק של קיימות המערכת החקלאית והגברת חוסנה של ישראל אל מול שינויי אקלים, שינויים דמוגרפיים ואי-ודאות גאופוליטית.

- [1] C. Vuppapapati, Food Security, *Int. Ser. Oper. Res. Manag. Sci.*, vol. 331, no. 2, pp. 189–282, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-08743-1_4.
- [2] E. M. B. M. Karunathilake, A. T. Le, S. Heo, Y. S. Chung, and S. Mansoor, The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture, *Agric.*, vol. 13, no. 8, pp. 1–26, 2023, doi: 10.3390/agriculture13081593.
- [3] FAO, IFAO, UNICEF, WFP, and WHO, The state of food security and nutrition in the world 2024- Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms, Rome, 2024. doi: <https://doi.org/10.4060/cd1254en>.
- [4] מ. אנדלבלד ול. כראדי, סקר ביטחון תזונתי 2021 מהלך הסקר והממצאים העיקריים, 2021.
- [5] The Economist Group, Global Food Security Index (GFSI) 2022, *Econ. Intell. Unit*, pp. 1–42, 2022, [\[Online\]](#).
- [6] משרד החקלאות, גיבוש התכנית הלאומית לביטחון המזון 2050- הצגת תוצרי ביניים (הודעה לעיתונות), 2025, [\[קישור\]](#).
- [7] א. שמעוני, ס. ציפרפל, ו-נ. שפירא, תרחישים ויעדים לאומיים לביטחון מזון ב-2050 דוח ביניים שני במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050, 2024, [\[קישור\]](#).
- [8] ג. טופורוב, צ. גרינהוט, ע. לוינגרט, ח. בזק, א. צוק-בר, וי. קחל, תזונה מקיימת וביטחון תזונתי בחקלאות בישראל- נתונים כמותיים מגידולי הצומח, 2019.
- [9] ע. בן אשר, מיפוי החקלאות בישראל, *משרד החקלאות*, 2022, [\[קישור\]](#).
- [10] ש. ארבל וע. בן-צור, לאכול, לגור ולשמור: כיצד כדאי לקבוע מסגרת לתעדוף צרכים וערכים בשימושי הקרקע בישראל?, 2025, [\[קישור\]](#).
- [11] הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס), נתוני הפקה וצריכה של מים, 2023, [\[קישור\]](#).
- [12] ועדת הלפרין, דוח ועדת הלפרין: עקרונות למתן היתרים להשקיה בקולחים, 2002.
- [13] א. שימעוני וס. ציפרפל, צלחת המזון הישראלית ב-2050 דוח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050, 2024, [\[קישור\]](#).
- [14] משרד החקלאות, חלקות חקלאיות ציבורי, *משרד החקלאות וביטחון המזון*, אגף בכיר טכנולוגיות דיגיטליות ומידע, *תחום GIS*, 2025, [\[קישור\]](#).
- [15] י. קנת-שינפלד, מאזן אספקת מזון, 2024.
- [16] הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס), 23.6 הפקה וצריכה של מים, 2023.
- [17] רשות המים, סקר ארצי לאיסוף וטיפול בשפכים והשבת קולחים לשנת 2022, ירושלים, 2025.

- [18] רשות המים, תכנית אב למשק המים, הביוב והקולחים- טיוטה לדיון, 2024.
- [19] ג. טופורוב, מ. פרל, צ. גרינהוט, וע. לוינגרט, היערכות חקלאות ישראל לשינוי האקלים, 2020, [\[קישור\]](#).
- [20] שירות ההדרכה והמקצוע (שה"מ), והנה התחזית: כך ייראו 30 השנים הבאות- לראשונה משרד החקלאות מפרסם הערכה כמותית לסיכונים של החקלאות הישראלית ואספקת המזון כתוצאה משינויי האקלים, *משרד החקלאות*, 2024.
- [21] C. F. Ajilogba and S. Walker, Modeling climate change impact on dryland wheat production for increased crop yield in the Free State, South Africa, using GCM projections and the DSSAT model, *Front. Environ. Sci.*, vol. 11, no. July, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1067008.
- [22] י. כהן, חקלאות מדייקת- הפתרון נמצא בפרטים הקטנים, *אקולוגיה וסביבה*, 7(2), 2016, [\[קישור\]](#).
- [23] שירות המזון הארצי, מזון מהונדס גנטית, *משרד הבריאות*, 2022, [\[קישור\]](#).
- [24] K. Alizadeh, M. K. Gathala, R. Mohammadi, and A. Amri, Editorial: Dryland agriculture: crop adaptations, increasing yield and soil fertility, *Front. Environ. Sci.*, vol. 11, no. October, pp. 1–2, 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1293440.
- [25] N. J. Kavhiza, M. Zargar, S. I. Prikhodko, E. N. Pakina, K. M. S. Murtazova, and M. R. Nakhaev, Improving Crop Productivity and Ensuring Food Security through the Adoption of Genetically Modified Crops in Sub-Saharan Africa, *Agronomy*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.3390/agronomy12020439.
- [26] ח. אולנובסקי and י. ספיר, סיכונים ויתרונות סביבתיים בשימוש בצמחים מהונדסים גנטית בחקלאות בישראל, *אקולוגיה וסביבה*, 4(4): 340–342, 2013, [\[קישור\]](#).
- [27] T. Adamo, L. Colizzi, G. Dimauro, E. Guerriero, and D. Pareo, Crop planting layout optimization in sustainable agriculture: A constraint programming approach, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 224, no. June, p. 109162, 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.109162.
- [28] Y. Hou, Y. Liu, X. Xu, Y. Fan, S. Ma, and S. Wang, Grid-scale crop dynamic layout optimization model considering stakeholders' cropping preferences and practice behaviours, *Ecol. Indic.*, vol. 155, no. November 2022, p. 110963, 2023, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.110963.
- [29] א. בן-ישראל, א. רמון, and ד. רותם, התפשטות החקלאות חולות הנגב המערבי להשלכותיה האקולוגיות, *אקולוגיה וסביבה*, 3(1): 97–102, 2012, [\[קישור\]](#).
- [30] S. Ragaveena, A. Shirley Edward, and U. Surendran, Smart controlled environment agriculture methods: a holistic review, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, vol. 20, no. 4, pp. 887–913, 2021, doi: 10.1007/s11157-021-09591-z.
- [31] D. T. Santosh, 2 Innovations in Greenhouse and Controlled Environment Agriculture, no. June, 2024, [\[Online\]](#).

- [32] י. פרח, א. הדס, א. ניומן, א. ארגמן, and מ. בן-חור, כדאיות כלכלית של שימוש בממשקי שימור קרקע כנגד סחיפה והגרעה של קרקעות בשטחי חקלאות פתוחים, אקולוגיה וסביבה, 11(3), 2020, [\[קישור\]](#).
- [33] J. Ikerd, Realities of regenerative agriculture, *J. Agric. Food Syst. Community Dev.*, vol. 10, no. 2, pp. 7–10, 2021, doi: 10.5304/jafscd.2021.102.001.
- [34] G. A. Musto, P. A. Swanepoel, and J. A. Strauss, Regenerative agriculture v. conservation agriculture: potential effects on soil quality, crop productivity and whole-farm economics in Mediterranean-climate regions, *J. Agric. Sci.*, vol. 161, no. 3, pp. 328–338, 2023, doi: 10.1017/S0021859623000242.
- [35] C. E. LaCanne and J. G. Lundgren, Regenerative agriculture: Merging farming and natural resource conservation profitably, *PeerJ*, vol. 2018, no. 2, pp. 1–12, 2018, doi: 10.7717/peerj.4428.
- [36] S. Lemke, N. Smith, C. Thiim, and K. Stump, Drivers and barriers to adoption of regenerative agriculture: cases studies on lessons learned from organic, *Int. J. Agric. Sustain.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–13, 2024, doi: 10.1080/14735903.2024.2324216.
- [37] X. Wen, L. Zhen, Q. Jiang, and Y. Xiao, A global review of the development and application of soil erosion control techniques, *Environ. Res. Lett.*, vol. 18, no. 3, 2023, doi: 10.1088/1748-9326/acbaac.
- [38] A. Roose, Land husbandry: components and strategy, Vol. 70. Rome: FAO, 1996.
- [39] JOUAV, How is topography a limiting factor to agriculture?, 2024, [\[online\]](#).
- [40] H. Aytop and S. Şenol, The effect of different land use planning scenarios on the amount of total soil losses in the Mikail Stream Micro-Basin, *Environ. Monit. Assess.*, vol. 194, no. 4, 2022, doi: 10.1007/s10661-022-09937-2.
- [41] X. Li, G. W. McCarty, L. Du, and S. Lee, Use of topographic models for mapping soil properties and processes, *Soil Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/soilsystems4020032.
- [42] I. Kramer, Y. Tsairi, M. B. Roth, A. Tal, and Y. Mau, Effects of population growth on Israel's demand for desalinated water, *npj Clean Water*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2022, doi: 10.1038/s41545-022-00215-9.
- [43] מ. רונן, משרד החקלאות יתמוך בהקמת תשתיות להשקיה במי קולחין בסך 52 מיליון שקלים, דבר, 2024, [\[קישור\]](#).
- [44] מערכת infospot, 3.5 מיליארד ₪ לפיתוח תשתיות להגדלת השימוש בקולחים לחקלאות, *Infospot*, 2025, [\[קישור\]](#).
- [45] אגף ייעוץ משק המים, הודעה משותפת למשרד האוצר, משרד האנרגיה והתשתיות, רשות המים ומקורות: פורסמו מסמכי המיון המוקדם למכרז בינלאומי לתכנון, מימון הקמה והפעלה של מתקן טיפול משלים בקולחי השפד"ן, אתר gov.il, 2024, [\[קישור\]](#).

- [46] ש. קנפו, המוביל הארצי משנה כיוון: יוביל מים אל הכינרת, *Ynet*, 2020. [\[קישור\]](#).
- [47] ר. רובינשטיין, אושרה הרחבת המוביל ההפוך, שמזרים מים מותפלים לכינרת, *Ynet*, 2023. [\[קישור\]](#).
- [48] A. Tal, Rethinking the sustainability of Israel's irrigation practices in the Drylands, *Water Res.*, vol. 90, pp. 387–394, 2016, doi: 10.1016/j.watres.2015.12.016.
- [49] ר. ווקס, העגבניות שאוהבות מי קולחין, *זוית-סוכנות ידיעות למדע ולסביבה*, 2020. [\[קישור\]](#).
- [50] A. Poustie, Y. Yang, P. Verburg, K. Pagilla, and D. Hanigan, Reclaimed wastewater as a viable water source for agricultural irrigation: A review of food crop growth inhibition and promotion in the context of environmental change, *Sci. Total Environ.*, vol. 739, p. 139756, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139756.
- [51] ע. א. מוסטקי, מתווה חדש לקביעת מחיר מים לחקלאות ייקר התעריף לציבור, *כלכליסט*, 2025. [\[קישור\]](#).
- [52] R. Smith, J. Baillie, A. McCarthy, S. Raine, and C. Baillie, Review of Precision Irrigation Technologies and their Application A Report for National Program for Sustainable Irrigation, no. November, 2010.
- [53] E. Bwambale *et al.*, Towards precision irrigation management: A review of GIS, remote sensing and emerging technologies, *Cogent Eng.*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.1080/23311916.2022.2100573.
- [54] A. Saturday, Restoration of Degraded Agricultural Land: A Review, *J. Environ. Heal. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 44–51, 2018, doi: 10.15436/2378-6841.18.1928.
- [55] מכון דש"א, עידוד שיקום וייעור אקולוגי בשטחים חקלאיים ערכיים ונטושים, 2013.
- [56] ניהול משאבי סביבה, משרד החקלאות וביטחון המזון מפרסם מתווה לשיקום קרקע חקלאית בעקבות נזקי מלחמת 'חרבות ברזל', *משרד החקלאות וביטחון המזון*, 2025. [\[קישור\]](#).
- [57] S. Babu, A. Das, S. Singh, R. Raghavendra, and S. Rajbir, Ecological Solutions to Agricultural Land Degradation, *Springer*, 2025.
- [58] מרכז השל, אגרו-וולטאי פרק ב'- מצב קיים בישראל והמלצות, 2024.
- [59] N. Csikós and G. Tóth, Concepts of agricultural marginal lands and their utilisation: A review, *Agric. Syst.*, vol. 204, no. November 2022, 2023, doi: 10.1016/j.agry.2022.103560.
- [60] C. G. Wadumestrigi Dona, G. Mohan, and K. Fukushi, Promoting urban agriculture and its opportunities and challenges—a global review, *Sustain.*, vol. 13, no. 17, 2021, doi: 10.3390/su13179609.
- [61] א. פלד, מדריך לתכנון גגות ירוקים, 2022.

- S. A. Walters and K. S. Midden, Sustainability of urban agriculture: Vegetable production on green roofs, *Agric.*, vol. 8, no. 11, pp. 1–16, 2018, doi: 10.3390/agriculture8110168. [62]
- E. Appolloni *et al.*, The global rise of urban rooftop agriculture: A review of worldwide cases, *J. Clean. Prod.*, vol. 296, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126556. [63]
- מ. סלקמון, חקלאות עירונית- העיר כיצרנית מזון לתושביה, *אקולוגיה וסביבה*, 2016, 7(3): 238–239, [\[קישור\]](#). [64]
- ע. וסל, ש. לוי, ג. קדס, ול. בלאושטיין, השפעת מאפיינים שונים על תפקוד גג ירוק אקסטנסיבי בישראל, *אקולוגיה וסביבה*, 2021, 12(1), [\[קישור\]](#). [65]
- ה. ציאון, במקום דודי שמש: המדינה רוצה שתהפכו את הגג שלכם לגינה ירוקה, *Ynet*, 2024, [\[קישור\]](#). [66]
- ע. בן אשר, מפת סיכוני סחיפה, *משרד החקלאות וביטחון המזון*, אגף בכיר טכנולוגיות דיגיטליות ומידע, *תחום GIS*, 2024, [\[קישור\]](#). [67]
- התחנה לחקר הסחף, מודל RUSLE IL, *משרד החקלאות וביטחון המזון*, האגף לשימור קרקע, [\[קישור\]](#). [68]
- ע. יצחקי, ד. ויינברג, ד. איישן, א. ארז, and ד. רובין, דו"ח עמידת מט"שים גדולים בישראל בשנת 2017 בתקנות הקולחים, 2018. [69]



neaman.org.il