

בטחון מזון 2050 הערכה כלכלית-סביבתית

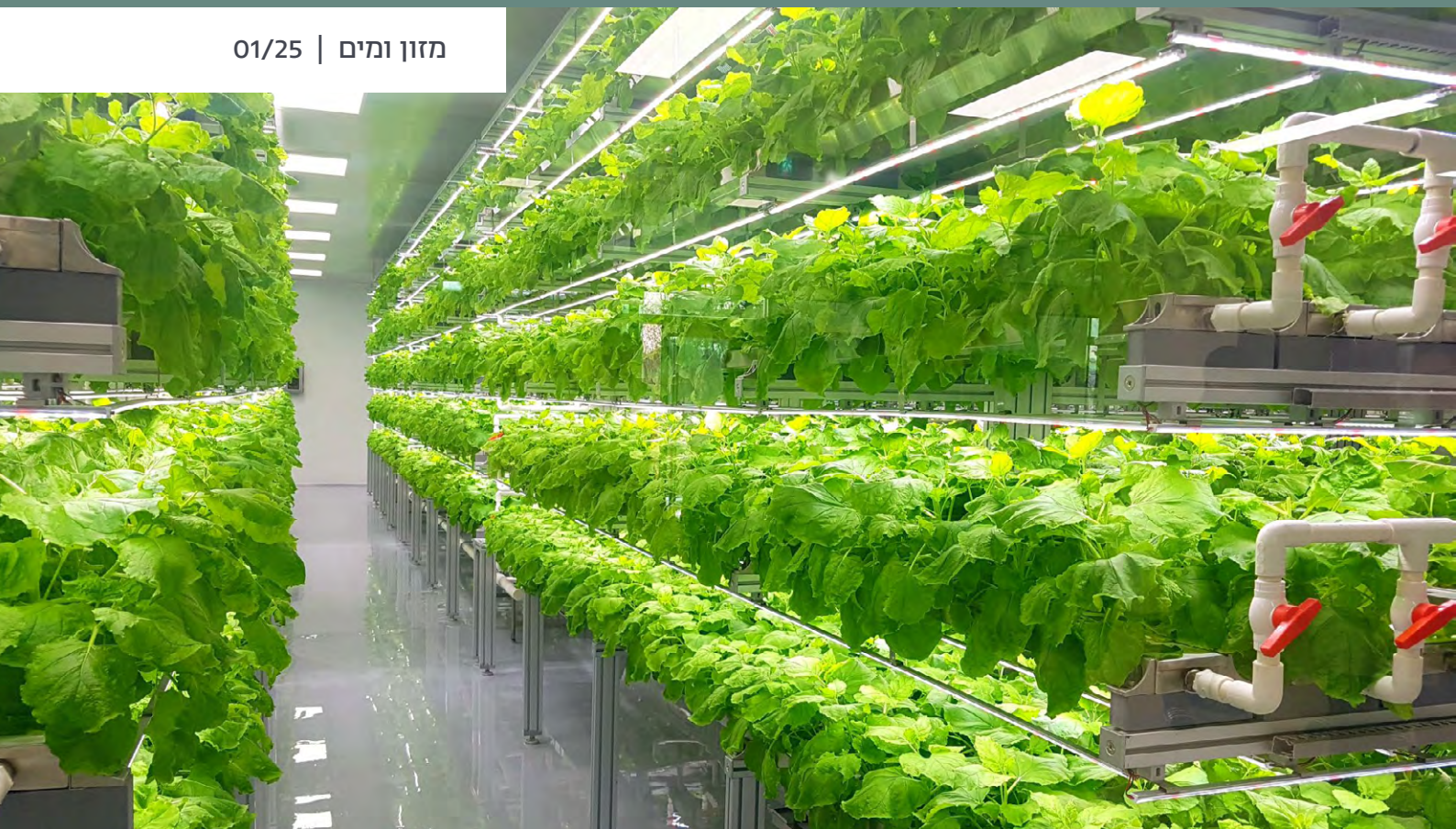
דוח ביניים במסגרת פרויקט
ביטחון מזון ישראל 2050

ד"ר אורנה רביב
פרופ' אופירה אילון
פרופ' אייל שמעוני
סימה ציפרפל
נעמה שפירא

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



מזון ומים | 01/25





בטחון מזון 2050 – הערכה כלכלית-סביבתית

דוח ביניים

במסגרת פרויקט

ביטחון מזון ישראל 2050

ד"ר אורנה רביב, פרופ' אופירה אילון, פרופ' אייל שמעוני, סימה ציפרפל, ונעמה שפירא

ינואר, 2025

תקציר

המגמות בעולם לאבטחת אספקת המזון בעשורים הקרובים מתמקדות בהגדלת ייצור מקומי בר-קיימא והקטנת היבוא, הפחתת הפליטות ושינוי תהליכי הייצור באופן שיפחית את ההשפעות עקב שינוי האקלים.

בישראל, היכולת להגדיל את הייצור המקומי ולהבטיח אספקת מזון בשנים הקרובות תלויה בשלושה אתגרים מרכזיים בתחום הייצור והביקוש למזון -

1. **שיטות העיבוד החקלאי** משנות משמעותית את העלות והתועלת בייצור מזון ותלויות באתגרים של שינוי האקלים וביעדים להפחתת השפעות חיצוניות
2. **משאבי הטבע** הם חסם מרכזי להרחבת הייצור - היקף הקרקע והמים, כולל המושבים, לא מספיק לייצור מקומי של המזון בעשורים הבאים, על פי מאפייני הייצור והביקוש הקיימים
3. **הרגלי התזונה** של הצרכנים משפיעים הן על מאפייני הביקוש בכל קבוצת-מזון והן על אופן הניהול של שימושי הקרקע הקיימים וקבלת ההחלטות לגבי ייצור המזון בעתיד

הדו"ח נוגע בניתוח של שלושת האתגרים המרכזיים בעיצוב בטחון המזון בישראל ובתלות ההדדית ביניהם. כך לדוגמה - התלות של שיטות העיבוד בניהול המשאבים, ובפרט בזמינות והאיכות של קרקע ומים בשנת 2050; ההשפעה של זמינות הקרקע והמים והתלות בשינוי האקלים על היקף המזון ואיכותו, ובפרט על היכולת לייצר מספוא וחלבון מהחי; ולבסוף, השינוי בתזונה וביקוש לסוגי מזון שונים והשפעתם על היקף הייצור המקומי, ניהול המשאבים ושיטות העיבוד, והיכולת לבסס בטחון מזון בישראל.

הנתונים מבהירים שבשיטות הקיימות העלות להפקת ק"ג מזון בגידולי בע"ח גבוהה בהשוואה לגידול הצמחי - הן בעלות הישירה והן בעלות הסביבתית. כמו כן ברורה התלות הקריטית של הגידול הצמחי באיכות משאבי הטבע.

תוצאות הניתוח בדוח זה מבהירות שניתן, לאחר שינויים בתמהיל הגידולים, בניהול הקרקע ובשיטות העיבוד, לספק את רוב המרכיבים התזונתיים המומלצים עבור האוכלוסייה.

המנועים שיאפשרו ביסוס של בטחון מזון באופן בר-קיימא הם ע"י הגדלת ההיצע ושינוי הביקוש:

- מעבר לשיטות עיבוד של חקלאות מדייקת ומחדשת כתנאי מקדים לניהול יעיל של משאבי הטבע - העברה של גידול הירקות וחלק-מהפירות לחוות עירוניות שמבוססות על גידול מנותק קרקע ובקומות. הגידול בחוות-עירוניות יפנה קרקע חקלאית לגידולי-שדה שנדרשים בעתיד.
- שינוי תמהיל הגידולים על קרקע חקלאית והתאמת שיטות העיבוד לשינוי האקלים - מעבר לגידולים בהשקייה חכמה (פחות גידולי בעל), ובמידת הצורך גידול בכתי צמיחה כדוגמת חממות, מנהרות ובתי-רשת שיפחיתו את הסיכון משינוי האקלים.
- שינוי הביקוש - מעבר לתזונה ים-תיכונית, שתפחית פגיעה במשאבי הטבע והוצאות בריאות, וכן תעודד חדשנות מקומית והגדלת הייצור של חלבון מהצומח.

בניתוח התקבל שהעלות הממוצעת לייצור המזון הנדרש בשנת 2050 בשני סוגי התזונה - רגילה וים-תיכונית, היא דומה ותהיה כ-42 מיליארד שקל בשנה (על פי ערך נוכחי). העלות תהיה דומה

למרות שבתזונה ים-תיכונית נדרש ייצור של כ-14 מיליון טונות מזון בשנה בהשוואה כ-12 מיליון טון בשנה בתזונה הקיימת. תזונה ים תיכונית מאפשרת יצור בעלות נמוכה יותר לכל ק"ג יבול.

העלות הזזה מתאפשרת הודות לשינוי באופן פיזור ההשקעה והחלק היחסי של העלות המושקעת בייצור של כל אחת מקבוצות המזון. המיקוד בתזונה הים-תיכונית יפנה משאבים לפיתוח קבוצות המזון של הדגים, הירקות, הקטניות והביצים, בעוד שהתזונה הקיימת מפנה את רוב המשאבים לייצור בשר, שומן מן החי ודגנים.

התועלת מהמעבר לתזונה הים-תיכונית צפויה לגדול ככל ששיטות גידול המזון יתייעלו והעלות לגידול טון מוצר תקטן, בפרט במזונות המרכזיים בתזונה ים-תיכונית, שהם ירקות, גרעינים וקטניות – שבכולם ניתן לייעל את שיטות-העיבוד בחקלאות מדויקת ובהתאמה לשינוי האקלים.

התועלת מהשינוי הודות לשלושת המנועים מתבטאת גם בעלויות הסביבתיות המופחתות, הן הודות להפחתת היבוא וגידול בעלי-החיים והן הודות להפחתת עלויות הבריאות שנגרמות מהתזונה הקיימת.

תוכן עניינים

2	.....	תקציר
6	.....	מבוא
6	.....	1. שיטות עיבוד – עלות ותועלת
7	.....	1.1 עלות ישירה
8	.....	1.2 תועלת כלכלית-סביבתית
9	.....	2. אתגר משאבי-הטבע – העלות העקיפה
10	.....	2.1 קרקע לחקלאות
12	.....	2.2 מים
13	.....	2.3 אנרגיה
13	.....	2.4 מערכות אקולוגיות
15	.....	3. המנועים - תלות הדדית
16	.....	3.1 התייעלות בשיטות העיבוד וניהול המשאבים
19	.....	3.2 המעבר לתזונה ים-תיכונית מבוססת ייצור מקומי
21	.....	3.3 ניהול המשאבים ואיכותם תלוי בביקוש
23	.....	4. מסקנות והמלצות
24	.....	מקורות
29	.....	נספח

רשימת איורים:

- איור 1: ממוצע העלות לייצור טון [או אלפי-ליטרים] של מוצרי-מזון.....7
- איור 2: הערכת התרומה של המערכות האקולוגיות לאספקת המזון בשנת 2015.....8
- איור 3: שטחי החקלאות בישראל – בשדות ובחממות, במרעה ובים [באלפי דונם = קמ"ר].....10
- איור 4: השימוש היחסי בקרקע ומים על פי סוג הגידול ושיטת העיבוד.....12
- איור 5: שיעור המוצרים הצמחיים ומוצרים מן החי בעיבוד-חקלאי מקומי ובפליטות גזי החממה (כולל יבוא מזון לבע"ח).....14
- איור 6: השינוי בפדיון בשנת 2050 בהתחשב בהשפעות שינוי האקלים וההתייעלות בשיטות העיבוד החקלאי.....17
- איור 7: שיעור ההשקעה בכל קבוצת מזון על פי ערך נוכחי ממוצע לייצור מזון בתזונה קיימת ובתזונה ים-תיכונית.....21
- איור 8: ההשפעה על משאבי הטבע בתזונה ים-תיכונית בהשוואה לקיימת.....22
- איור 9: עלויות מינימום כדוגמא בייצור מזון בחקלאות.....29
- איור 10: התפלגות הוצאות התפעול החקלאות.....29
- איור 11: תשומות מינימום למתקן מדגה.....30

רשימת טבלאות

- טבלה 1: אסטרטגיה ליישום המעבר לתזונה ים-תיכונית והאמצעים הנדרשים בטווח הקצר.....20

המגמות בעולם לאבטחת אספקת המזון בעשורים הקרובים מתמקדות בהגדלת הייצור החקלאי המקומי באופן בר-קיימא, כך ששינוי שיטות העיבוד יביא להפחתת ההשפעות על החקלאות עקב שינוי האקלים ולהפחתת הפליטות מהחקלאות וההשפעה על משאבי הטבע.

האתגרים בהגדלת התוצרת החקלאית נוגעים בעיקר לזמינות ואיכות המשאבים הנדרשים לשם כך, ובפרט – המחסור בקרקע חקלאית פורייה, איכות וזמינות המים בתלות בשינוי אקלים, השימוש באנרגיה נקיה בתהליכי העיבוד, ואיכותן של המערכות האקולוגיות ביבשה ובים, שמאפשרות את זמינות המשאבים לחקלאות גם בעתיד (FAO, 2024).

בישראל, האסטרטגיה לביטחון המזון בשנת 2050 כוללת לצד היעדים לאספקת-מזון באופן בר-קיימא גם יעדים בתחום התזונה, במטרה להפחית את ההשפעות על הסביבה לאורך כל מחזור החיים של ייצור המזון (המשרד להגנת הסביבה, 2023).

הדו"ח נוגע בשלושה מנועים מרכזיים שיעצבו את הדרך למימוש בטחון המזון בישראל – (1) השינוי בשיטות העיבוד החקלאי, (2) אופן ניהול משאבי-הטבע, ובפרט הזמינות והאיכות של קרקע ומים, ו- (3) השינוי בתזונה.

1. שיטות עיבוד – עלות ותועלת

העיבוד החקלאי דורש משאבים והשקעה שחשוב לקחת בחשבון בתכנון של משק המזון בשנת 2050. השינויים באוכלוסייה, באקלים ובציפייה להפחתת פליטות מניעים שינויים בשיטות העיבוד ובהתאם לכך גם לשינוי בעלות ובתועלת של כל שיטה.

שני גורמים מרכזיים משפיעים על שיטות העיבוד - העלות והתועלת.

העלויות בעיבוד החקלאי כוללות עלות ישירה ועלות עקיפה -

- עלות ישירה - שכוללת הון, חומרים והוצאות תפעול. עלויות ההון כוללות את ההשקעה במיכון, בבתי הצמיחה (בתי רשת או חממות), בתי האריזה והקירור. עלות התפעול כוללת את השימוש בקרקע ומים, עלות האנרגיה והניטור, כוח האדם והחומרים הנדרשים בתהליכי הייצור, כולל האבסה ומספוא לבעלי החיים.
 - עלות עקיפה – סביבתית, שכוללת את השימוש בקרקע ומים ואת ההשפעות של ייצור המזון על הסביבה, ובפרט על הקרקע והמים שנדרשים להמשך העיבוד החקלאי. העלות העקיפה תפורט בתת-הפרק שנוגע ל**אתגר המשאבים**.
- בהתאם להשקעה (העלות) קיימות תועלות, שכוללות תועלת ישירה – הודות למוצרי המזון, ותועלת סביבתית – הודות לתרומה של המערכות האקולוגיות החקלאיות לרווחת האדם.

1.1 עלות ישירה

שיטות העיבוד החקלאי מגוונות מאוד גם בין סוגי הגידולים וגם בגידול של אותו מוצר בשיטות שונות. הן נבדלות בעיקר באמצעים ובעלויות לספק לצומח ולחי את התנאים הנדרשים במטרה להגדיל את איכות וכמות היבול, וכן בשיטות להגנה על היבול מהשפעות חיצוניות. כך לדוגמה בהגנה מפני השינוי בכמות המשקעים - באמצעות השקיה, הגנה משינויי הטמפרטורה ואירועי קיצון - באמצעות בתי צמיחה למיניהם או ניטור הטמפרטורה בשורשים, וכן בהגדלת מחזורי הגידול והיבול - באמצעות דשן, חדשנות ושיטות-עיבוד מתקדמות.

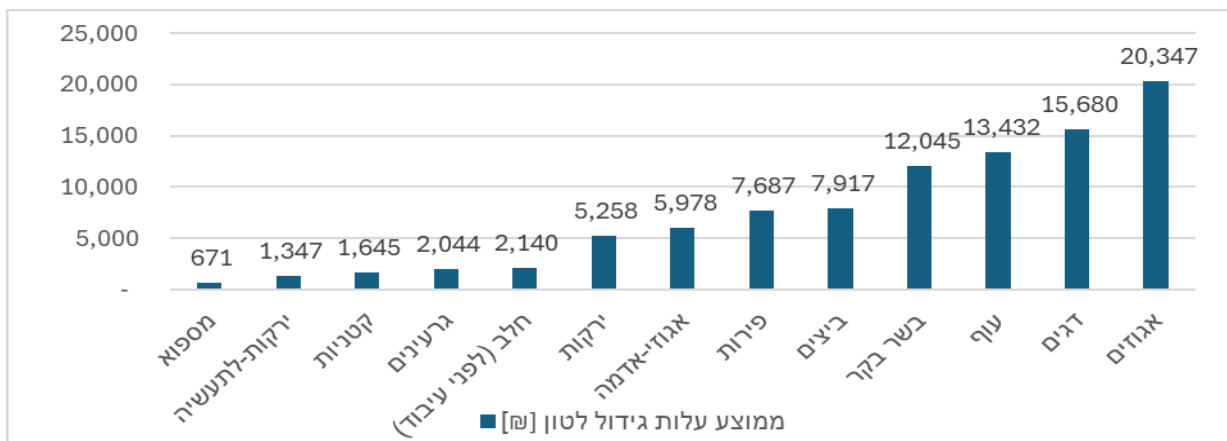
העלויות משתנות מאוד על הסקלה בין גידול בעל בשדה עם יכול פעם בשנה ליבול במספר מחזורים בשנה בחממה או בחווה-הידרופונית מנוטרת ומדייקת. דוגמאות לשינוי בעלויות בהתאם לשיטות העיבוד מפורטות בנספח.

לפיכך, העלות הממוצעת לייצור מקומי של טון מוצר משתנה מקבוצת מוצרי-מזון אחת לשנייה, מגידול לגידול ומשיטת גידול אחת לשנייה.

העלות הממוצעת לייצור מקומי של יבול בגידול צמחי נמוכה בהשוואה לגידול בעלי-חיים
ומוצריהם, ברוב קבוצות המזון, מלבד האגוזים (איור 1).

כמו כן, בתחום החלבון מהחי, ממוצע העלות-הישירה להפקה מקומית של ק"ג בשר-בקר בשיטות הקיימות נמוך מהעלות להפקת ק"ג דגים ועוף, אך גבוה בהשוואה לייצור ביצים וחלב¹. עם זאת, הממוצע באיור-1 לא כולל עלויות עקיפות שנוגעות להשפעות החיצוניות עקב התהליכים החקלאיים והצורך ביבוא מספוא להזנת בעלי-החיים, שפוגם ביעד המרכזי לבסס ייצור מקומי כחלק מהאסטרטגיה של ביטחון המזון (הלמ"ס, 2023; משרד החקלאות, 2025). העלות העקיפה תידון בפרק המשאבים.

איור 1: ממוצע העלות לייצור טון (או אלפי-ליטרים) של מוצרי-מזון



עיבוד מוסד שמואל נאמן לעלות גידול על פי נתוני משרד החקלאות והלמ"ס (משרד החקלאות ובטחון המזון, 2023; מכון מחקר הכנסת, 2022). הנתונים כוללים התייחסות רק לתוצר מקומי (גם זה המבוסס על מספוא מיובא).

¹¹ חלבון מהחי מצוי גם בביצים וחלב, שעלותם באיור נמוכה מבשר. עם זאת, קשה יותר להשוות את מחיר הביצים והחלב לזה של בשר מאחר וביצים מוערכות על פי מספרן וחלב על פי נפחו (ליטר), ולא על פי משקלם. לכן הערך הממוצע הוא הערכה קרובה ככל האפשר ליחידת השוואה.

1.2 תועלת כלכלית-סביבתית

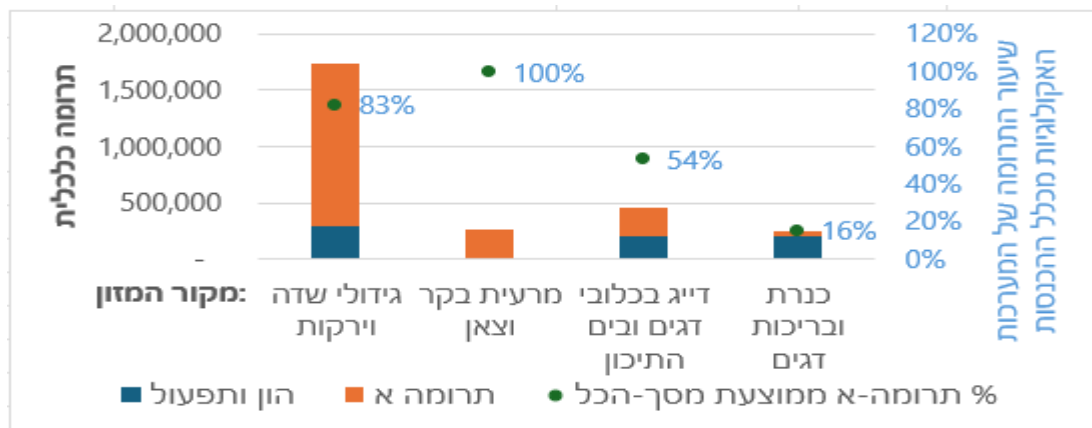
התועלת עקב ההשקעה בגידול חקלאי היא מגוונת ומשתנה בתלות בשיטות הגידול ובמשאבי הטבע והמערכות האקולוגיות. המערכות האקולוגיות בחקלאות הן מערכות תרבותיות, שנוצרו על ידי האדם בהסתמך על משאבי הטבע (שיפורטו בפרק הבא), ויש להן תרומה משמעותית לרווחת האדם.

התרומה של החקלאות ביבשה ובים ניתנת לכימות כתועלת כלכלית-סביבתית הודות לשלוש קבוצות של "שרותי המערכת האקולוגית" – שירותי האספקה, הוויסות והתרבות, שניתן להתייחס אליהן בהתאמה כתרומה כלכלית, בריאותית וחברתית.

• התרומה הכלכלית

מתקבלת הודות לאספקה של ירקות ופירות טריים, דגים, יין ושמן זית, והיא תלויה במערכת האקולוגית (חי וצומח) באופן ישיר. התרומה הגבוהה ביותר בישראל היא בגידולים הצמחיים ובמרעה. בשר וביצים מבעלי חיים שאינם במרעה נחשבים כעיבוד מזון, מאחר ותזונתם מבוססת על תוצרי החקלאות הצמחית (איור 2).

איור 2: הערכת התרומה של המערכות האקולוגיות לאספקת המזון בשנת 2015



עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני המארי"ג (פליישר & בקר, 2018). תרומה-א מבטאת את ערך התרומה של המערכות האקולוגיות מתוך סך ההכנסות ומחושבת כהכנסות-פחות-הוצאות.

מתוך כך, מערכות המזון היבשתיות, שמספקות את מירב המזון בישראל, הן אלה שהכי חשופות לסיכון עקב פגיעה אפשרית במערכות האקולוגיות עליהן הן נשענות. ככל שגדלה התלות של אספקת המזון במערכות האקולוגיות כך גם גדל הסיכון להמשך האספקה במידה ותהיה פגיעה במערכות אלה עקב שינוי האקלים, צמצום במשאבים וצפיפות בשימושי הקרקע (טופורוב, פרל, גרינהוט, & לוינגרט, 2019).

• התרומה הבריאותית

מתקבלת הודות ליכולת של מערכות אקולוגיות לווסת, לסנן ולטהר את האוויר, המים והקרקע, שנדרשים בתהליכי הייצור. לדוגמא – הודות ליכולת של מערכות אקולוגיות לספוח אליהן פחמן ומזהמים מהאוויר ולסנן מים שזורמים דרכם; השפעה עקיפה אחרת היא על בריאות האדם.

התרומה הבריאותית והחברתית מבוססות על תועלת שקצת קשה יותר לכמת, ולכן בדרך כלל האומדן שלהן מבטא ערכי מינימום, ונחשב כהערכת-חסר. הערכת התרומה של המערכות החקלאיות בישראל לרווחת האדם החל לפני כעשור וסיפק ערכים ראשוניים ושיטות אומדן שניתן להסתמך עליהן. כך לדוגמא, בחוף הכרמל קיימים כ-24,660 דונם של מטעים שכוללים בעיקר עצי אבוקדו, זית ובננה. התרומה השנתית של המטעים בחוף הכרמל בתחום וויסות איכות האוויר, האדמה והמים –הוערכה בלפחות 9 מיליון ₪² הודות לספיחת פד"ח ובכ-3.5 מיליון ₪ הודות לספיחת חומצה גפרתית (Lotan, 2021 & Raviv, Zemah Shamir, Izhaki).

• התרומה החברתית

מתקבלת הודות לערך של עושר המינים בים וביבשה, נופ השדות וההנאה מהשטחים החקלאיים הפתוחים בפעילויות תרבות, פנאי ונופש (שאלתיאל-הרפז, שגיא, צבן, & חוב', 2022).

כך לדוגמא, התרומה החברתית של השדות החקלאיים בתחום הפנאי והנופש הוערכה בישראל בכ-2.5 מיליון שקלים בשנת 2015. החישוב מבוסס על מדגם מייצג שלפיו כל בית אב בישראל מוכן לשלם בין 660-130 ₪ בשנה בעבור המשך קיומם של השדות החקלאיים. ערכם של המטעים הוא הגבוה מבין כל הגידולים (660 ₪ לשנה לבית אב) בהשוואה לגידולי שדה וירקות בשדה פתוח (400-465 ₪ בשנה) ובהשוואה לגידולים בחממה ולמתקני בעלי-חיים (130 ₪ לבית אב בשנה), שערכם הוא הנמוך ביותר (פליישר & בקר, 2018).

במחקר עדכני בכרמל הוערכה התרומה של הנוף החקלאי בגבה של 60 שקלים בשנה לבית אב, בהסתמך על הנכונות של התושבים לשלם עבור הקיום וההנאה מהנוף החקלאי, באמצעות תוספת מיסים. לפיכך, התרומה הכוללת עבור התושבים המקומיים וכלל תושבי המדינה המבקרים, הודות לחשיבות הנוף החקלאי באזור הכרמל, מסתכמת במיליוני שקלים בשנה (Raviv, Tchetichik, Lotan, Izhaki, & Zemah-Shamir, 2021).

עם כל הנאמר, העיבוד החקלאי, על כל שיטותיו, תלוי תלות קריטית בקיום משאבי טבע מספיקים ואיכותיים שיאפשרו את קיום החקלאות. במדינה צפופה כמו ישראל – האתגר הוא איך לנהל את משאבי הטבע בצורה שתאפשר חקלאות בת קיימא לאורך זמן לצד בטחון מזון.

2. אתגר משאבי-הטבע – העלות העקיפה

התועלות מהגידול החקלאי תלויות במשאבים בהם נעשה שימוש - קרקע פורייה, מים, אנרגיה ומערכות אקולוגיות שלא נפגעות לאורך זמן.

כמו כן, קיימת תלות הדדית וקריטית בין המשאבים הנדרשים לבין עצמם, ובעולם סימנו את הקשר בשם WEFE Nexus (Water-Energy-Food-Ecosystem). כך לדוגמא, ייצור המזון תלוי במערכות האקולוגיות ובמים; זמינות ואיכות המים תלויה באספקת האנרגיה הנדרשת למפעלי השאיבה,

² ההערכה הכלכלית של שירותי הבריאות תמיד מהווה הערכת חסר מאחר וקשה לכמת את כל התועלות באופן מדויק.

ההתפלה, טיוב המים והשפכים; שיטות עיבוד-חקלאי מתקדמות תלויות באנרגיה; ולכולם ביחד קיימת השפעה על המערכות האקולוגיות ביבשה ובים, באופן שעלול להפחית את היכולת שלהן לספק את אותם שירותים שנדרשים לייצור מזון גם בעתיד (UN, 2023).

בנוסף, השפעות שינוי האקלים באגן הים התיכון עד שנת 2050 צפויות לגרום לירידה בתוצרת, עקב ירידה בזמינות המים, הקרקע החקלאית ושטחי המרעה. הקרקע והמים מתדלדלים עקב ירידה בכמות ואיכות המשקעים, עלייה בסחף הקרקע ובאירועים של טמפרטורות-קיצון שפוגעים בתהליכי ההבשלה של הפירות והירקות (FAO, 2022).

לכן, ניהול המשאבים כולל את אופן הניהול היעיל של כל משאב לצד הניהול של התלות ביניהם, כך שישמשו ביחד מנוע לביסוס בטחון מזון בישראל.

2.1 קרקע לחקלאות

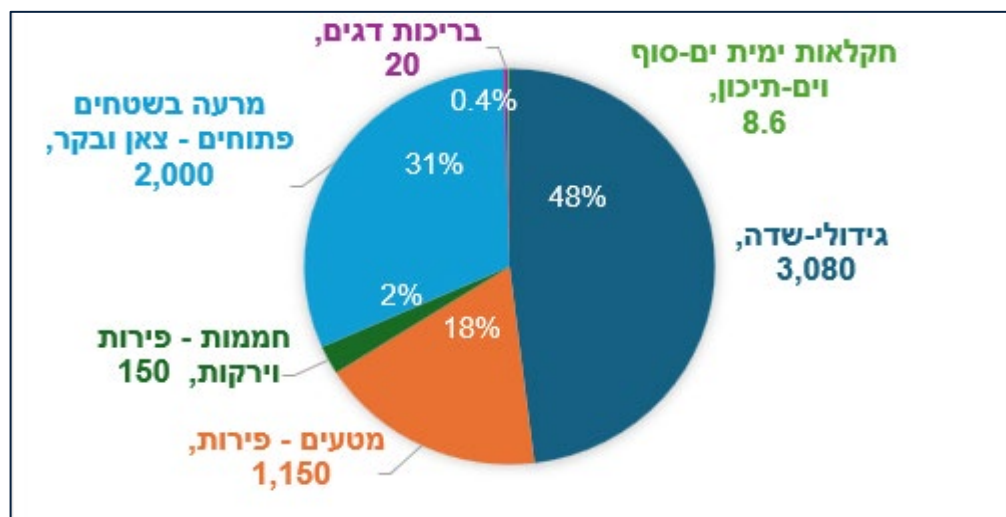
בישראל קיים מגוון רחב של "קרקעות", שמשמשות משאב בתהליכי ייצור המזון – חלקן בשדות ובמטעים, חלקן בחממות על מצע חלופי שאינו אדמה, חלקן באזורי מרעה ביערות ובשטחים פתוחים, וחלקן חקלאות ימית בימים ובאגמים (איור 3).

אומדנים קיימים לגבי שימוש בקרקע בחקלאות מתארים רק את השדות החקלאיים כקרקע לחקלאות, שמשתרעת על כ-4.2 מיליון דונם. עם זאת, חקלאות קיימת גם בשטחים פתוחים (מרעה) ובים (חקלאות ימית)³.

כמו כן, כאשר מדובר ביבוא, לא נדרשות תשומות קרקע בישראל.

האתגרים המרכזיים בניהול הקרקע הם צפיפות שימושי-הקרקע, עיבוד אינטנסיבי ושינוי האקלים.

איור 3: שטחי החקלאות בישראל – בשדות ובחממות, במרעה ובים [באלפי דונם = קמ"ר]



עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני משרד החקלאות (הדס, הלר, דותן, & אחרים, 2021; שאלתיאל-הרפז, שגיא, צבן, & חובי, 2022)

³ בעולם קיימת גם חקלאות מנותקת קרקע בחוות-בקומות בעיר, כפי שיפורט בפרק 3.

• צפיפות וגידול אוכלוסין

על פי הערכות של משרד החקלאות – על בסיס הצפי לגידול באוכלוסייה ובהינתן ייצור חקלאי בשיטות דומות לקיים, הדרישה לקרקע לייצור חקלאי צמחי תסתכם בשנת 2030 בכ-4,580 אלף דונם (קמ"ר) – תוספת של 180 אלף דונם מעבר לקיים, ולקראת 2050 בכ-6,480 אלף דונם – תוספת של 2,080 אלף דונם מעבר לקיים.

במקביל תהליכי העיור והצפיפות בשימושי-הקרקע מצמצמים את ההיקף של שטחי החקלאות. לפיכך, בשנת 2030 ובמיוחד בשנת 2050 לא תהיה בישראל קרקע חקלאית שתיתן מענה לצורכי האספקה (הדס, הלר, זותן, & אחרים, 2021).

• שינוי האקלים

השינוי בכמות ומשרעת המשקעים, גלי חום וגלי קור, התגברות אירועי קיצון (לרבות שיטפונות) צפוי לגרום לירידה בזמינות קרקע נאותה לחקלאות בעשורים הקרובים. זאת, בפרט עקב המלחה של קרקעות, מחסור במשקעים באזורים שחונים שאין בהם קווי השקיה, המלחת אקוויפר באזורים חופיים, עליית פני הים והצפות בשפכי נחלים ומקומות נמוכים (המשרד להגנת הסביבה, 2024; טופורוב, פרל, גרינהוט, & לוינגרט, 2019).

שטחי הבעל והמרעה חשופים יותר להשפעות של צפיפות בשימושי הקרקע ושינוי האקלים. זאת, עקב התלות האבסולוטית של שיטת הגידול במשקעים ובתנאי מזג האויר, ועקב יכולת מועטה למזער את השפעת השינוי ואת ההתדלדלות לאורך הזמן (הנקין, שטרנברג, פרבולוצקי, & גורליק, 2020).

גם משק החי צפוי להיות מושפע משינוי האקלים במגוון דרכים – פחיתה ביצרנות של חלב, בשר וביצים, השלכות על הבריאות והפוריות של חיות המשק, ירידה בזמינות מזון לבעלי חיים וחוסר יציבות במחירי יבוא, עלייה בתצרוכת המים והאנרגיה לצינון, וכן החמרה של אתגרים וטרינריים בגלל גורמי מחלה המתואמים טוב יותר לתנאי האקלים (המשרד להגנת הסביבה, 2023).

ככלל, ענפי החקלאות חשופים לשכיחות מוגברת של אירועי אקלים קיצוני שיפגעו בתוצרת ובתשתיות, ולעליית מחירי הביטוח.

• עיבוד אינטנסיבי

עיבוד אינטנסיבי הביא לכך שכ-70% מכלל השטח המעובד בישראל מצוי בסכנת הגרעה (degradation) וסחיפה (erosion) בינונית עד חמורה. הגרעת קרקע ופגיעה בפוריותה נובעות מפגיעה בשלוש מערכות בקרקע – הביולוגית, הכימית והפיזיקלית, המעלה את כמות הנגר והסחיפה. תהליכים אלה מובילים לירידה ביכולת היצרנות של הקרקע ולפגיעה במערכת האקולוגית ובסביבה על-ידי זיהום מקורות מים ואוויר ופליטת גזי חממה לאטמוספירה.

תופעת המדבור מוגדרת כמצב מתמיד של יצרנות ביולוגית נמוכה בהתייחס לפוטנציאל התמיכה של הקרקע ביצרנות, בעיקר זו בעלת הערך הכלכלי. כמו כן, יש היזון חוזר שמאיץ את התופעה - אזורים שהתרחש בהם תהליך מדבור וגריעת קרקעות הם חשופים יותר לנזקי האקלים, ואזורים החשופים יותר לשינויי אקלים חשופים יותר למדבור (מנהל התכנון, 2024).

כדי להתמודד עם בעיית הגרעת הקרקע והפגיעה בפוריותה מתבצעת הטמעה של ממשקי עיבוד מחדש או משמר (קרקע ומים), הכוללים ממשק אי-פליחה או מינימום-עיבוד, תוספת זבל אורגני לקרקע, הקמת מתקנים הנדסיים בשדות ועוד. מבחינת התועלת לחברה, ממשקים משמרי קרקע

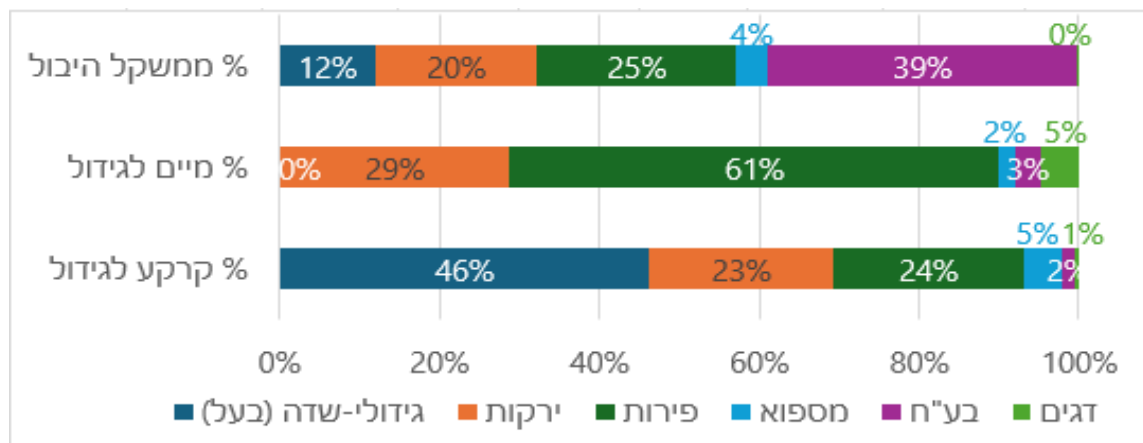
כדאיים כלכלית-סביבתית כבר בטווח זמן של חמש שנים, ומבחינת החקלאי וההשקעה הנדרשת – הכדאיות היא בעיקר לטווח של 10-25 שנים (פרחה, הדס, ניומן, & אחרים, 2020).

2.2 מים

צרכי הקרקע והמים משתנים מגידול לגידול ובהתאם לשיטת העיבוד. כך לדוגמא, פירות דורשים פי-שניים יותר מים מירקות וגידולי בעל מסתמכים על משקעים-בלבד ולכן מאפשרים גידול רק פעם בשנה. בהתאם לכך, דרישות הקרקע של גידולי הבעל הן גבוהות מאוד ביחס לכל שאר הגידולים וביחס להיקף היבול (איור 4).

האתגרים המרכזיים באספקת מים לחקלאות הם התלות בכמות המשקעים ובאנרגיה.

איור 4: השימוש היחסי בקרקע ומים על פי סוג הגידול ושיטת העיבוד



עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני שנת 2018 ממשרד החקלאות (הדס, היר, זותן, & אחרים, 2021)

המחסור במשקעים הביא לפיתוח פתרונות טכנולוגיים כגון טכניקות השקיה מתקדמות בחקלאות מדייקת ומיחזור-מים. מפעל השפד"ן מטפל במי השופכין של מטרופולין גוש דן, ומעביר אותם לנגב המערבי להשקיית השדות. פתרונות מקומיים ואזוריים מצמצמים את היקף ההשקעה בתשתית צינורות ארוכה וקיימים, לדוגמא, בהפניית מים מושבים מהמכון לטיהור שפכים של חיפה לשימוש חקלאי בעמק יזרעאל וחבל התענך (בן אשר, 2022).

התוכנית לניצול מי השפכים בחקלאות מוערכת בכ-5 מיליארד ₪ ותאפשר ניצול מלא של מצאי הקולחים עד לשנת 2050, עם תוספת של 1,400 מלמ"ק (רשות המים, 2023). מבחינת העלות והתועלת לציבור, הטיפול במים הכרחי טרם השבתם לטבע, ולכן, בכל מקרה, עלות הטיפול במים היא חלק מכלל העלות לאורך מחזור החיים של אספקת המים.

גורם שישפיע על מחיר המים הוא התלות באנרגיה – החל בשאיבת מי-התהום או ההתפלה של רוב המים בישראל, לטיפול במי השופכין והחזרתם לשימוש בחקלאות והמשך בהובלתם לשדות. לכן, עלות אנרגיה גבוהה ושימוש באנרגיה ממקור מחצבי - תשפיע על העלות הישירה והעקיפה של המים.

עם זאת, הערכות משרד החקלאות הן כי עם אוכלוסייה של 15 מיליון נפש, צריכת המים לחקלאות בשיטות הקיימות תסתכם בכ- 2,609 מלמ"ק ותהיה גבוהה ממצאי המים האפשרי מכל המקורות הקיימים.

לפיכך, על פי הערכות משרד החקלאות, לקראת שנת 2050 ישראל תאלץ לבחור בדרכים חלופיות – לפתח שיטות גידול חדשניות לגידול פירות וירקות באופן שמייעל את השימוש במים, להגדיל זמינות מים מושבים ולשקול להתפיל מים עבור השימוש בחקלאות, או לייבא פירות וירקות מהעולם בהיקף נרחב (הדס, הלר, דותן, & אחרים, 2021).

2.3 אנרגיה

אנרגיה היא בסיס הכרחי לחקלאות ממוכנת. החל מפעולות בסיסיות של חריש וקציר והמשך לעבר חקלאות מתקדמת ומדייקת, להשקיה, ניטור והגנה מפני מפגעי שינוי האקלים.

העלות הישירה והעקיפה של האנרגיה תלויה בעיקר במקור האנרגיה. בנוסף, העלות החיצונית (עקיפה, סביבתית) של מקור אנרגיה מתבטאת בפליטות לאורך כל מחזור החיים של האנרגיה – מהייצור ועד השימוש. כלי-עבודה ותחבורה מבוססת חשמל תיחשב לנקייה בתלות במקור הדלק להפקת החשמל (Yang, 2021 & Sovacool, Kim).

השימוש באנרגיה נקיה בשדה החקלאי תהווה אמצעי להפחתת הפליטות ולמעבר לחקלאות מדייקת.

האתגרים המרכזיים בתחום האנרגיה הם בכיזור הייצור והמעבר לאנרגיה ממקור מתחדש ונקי.

מקור אנרגיה מתחדש כדוגמת השמש והשימוש בפאנלים סולאריים הוא בר קיימא ונפוץ כיום על גגות מבני משק בישובים כפריים. חשמל ממקור מתחדש הוא זול בהשוואה למקור אנרגיה מחצבי כי מקור האנרגיה הוא זמין ואינו כולל עלות נוספת של דלק ותנודות במחיר עקב שינויים במחירי השוק. לאחרונה מקדם משרד החקלאות את ההתקנה של פאנלים סולאריים בשדות חקלאיים כדו-שימוש להפקת מזון וחשמל ביחד. כך, החשמל הנקי יהיה זמין לצרכי זריעה, ניטור וקטיף ויהיה זמין לשימוש בשעות היום ובעלות נמוכה. כמו כן – חשמל ממקור מתחדש תורם להפחתת מחיר החשמל. מצד שני, יש חשיבות לסוג הפאנלים ומיקומם כך שלא ייפגעו ביכול החקלאי, שדורש קיום פוטוסינתזה עם קרני השמש, ולא ייפגעו בנוף השדות, למתבונן על השדה מן החוץ.

התועלת הגבוהה לחברה משילוב חשמל סולארי בשדות תתקבל בפרט עם השימוש בפאנלים שקופים שמאפשרים פוטוסינתזה ומפחיתים את ההשפעה על הנוף. לשם כך נדרשת רגולציה שתעודד את ביזור ייצור החשמל הנקי ממקור מתחדש אך תגביל פגיעה ביכול או בנוף (זווית, 2024). מתקנים פוטו-וולטאיים ואגרו-סולאריים דורשים מימון וידע שמושג בדרך-כלל באמצעות חברות אנרגיה אך דורש ניהול חכם של משאבים.

2.4 מערכות אקולוגיות

השפעות סביבתיות של כלכלה אינטנסיבית עלולות למוטט בתי גידול ומערכות אקולוגיות (חי וצומח) שעצם קיומן קריטי להמשך הפקת המזון ולרווחת האדם בטווח הקצר והארוך. גם בתהליכים

בחקלאות קיימת עלות סביבתית שיש לה תג מחיר, ולכן בניו-זילנד ובדנמרק קיימת גולציה להפחתת הפליטות בחקלאות (POLITICO, 2024).

ההשפעה של הפליטות על משאבי הטבע תלויה בכל שלבי מחזור-החיים של המוצר – החל מייצור התשומות הנדרשות לייצור או לגידול החקלאי, דרך העיבוד והשינוע ועד השימוש במוצר והטיפול בפסולת. כך לדוגמא, בתחום גידול בעלי-החיים – החל בשלב ייצור התזונה לבע"ח ותפעול הרפת והלול, דרך אחסון המזון והזבל, טחינת המזון ופיזור הזבל על קרקע חקלאית, ועד שלבי הטיפול בפסולת ובשפכים ושריפת הפגרים (המשרד להגנת הסביבה, 2016; חיים וסביבה, 2023).

שני גורמים מרכזיים מכומתים כעלות סביבתית – גזי חממה ומזהמים.

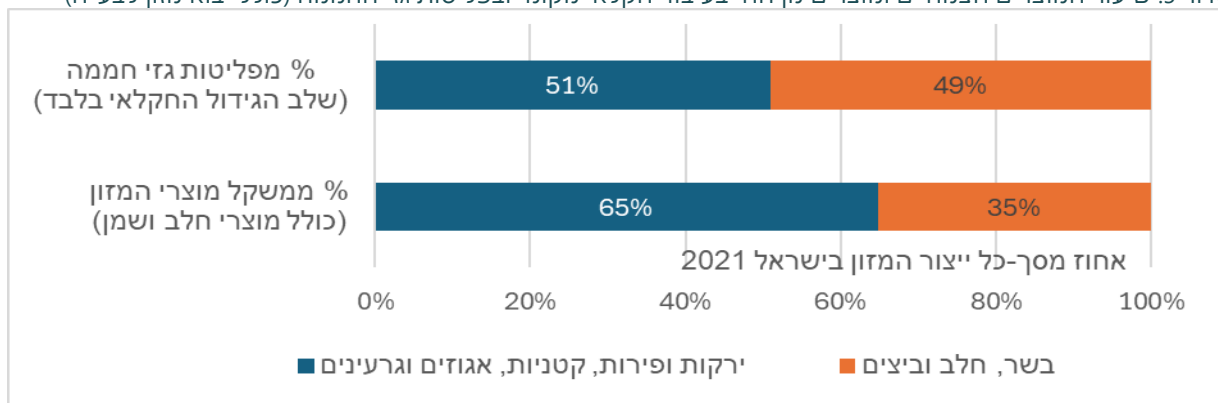
• פליטות גזי חממה

כך לדוגמא, בייצור המזון המקומי בחקלאות נפלטים כ- 51% מגזי החממה בתהליכי העיבוד בקרקע חקלאית, 37% עקב תסיסה במערכות העיכול של בע"ח, ו-12% בתהליכי הטיפול בזבל בע"ח. הפליטות הן ברובן (65%) של חנקן תת-חמצני – שמקורו לדוגמא בעיבוד של זבל לקומפוסט ובתהליכי פילוח הקרקע, ובחלקן (35%) פליטות מתאן - שמקורן בעיקר בגידול בקר, אך גם בגידול עופות וצאן וגם עקב שימוש באנרגיה (המשרד להגנת הסביבה, 2023).

לאורך העשור של 2011-2020, חלקם של הגידולים הצמחיים וגידול בע"ח מכלל היכול נשאר זהה, אבל חלקם היחסי של גידולי בע"ח בפליטות עלה לצד ירידה בפליטות בתחום הגידול הצמחי (המשרד להגנת הסביבה, 2021).

הפליטה של גזי חממה לטון מוצר מהחקלאות הצמחית קטנה בהשוואה לפליטה לטון מוצר בגידול בעלי חיים (איור 5). כך לדוגמא, ההשפעה הסביבתית עקב ייצור חלבון בגידול אפונה תהיה כרבע בהשוואה להשפעה בייצור חלבון מבשר-בקר, ובפרט אם הבקר הוזן בחיטה שהגיעה מיבוא והבשר מובל ונשמר בקירור עד השימוש בו.

איור 5: שיעור המוצרים הצמחיים ומוצרים מן החי בעיבוד-חקלאי מקומי ובפליטות גזי החממה (כולל יבוא מזון לבע"ח)



עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני הלמ"ס והמשרד להגנת הסביבה לשנת 2021 (המשרד להגנת הסביבה, 2023; הלמ"ס, 2023)

• פליטות מזהמים לקרקע, לאוויר ולמים
ריסוס ודישון פוגעים באיכות הקרקע, ממליחים ומדלדלים אותה כך שלא תוכל להתאים לעיבוד חקלאי לאורך זמן. רעיה לא מתואמת ושימוש בחומרים כימיים בשיטות הגידול, פיזור בוצה לא מטופלת על קרקע חקלאית והשקיה בקולחין לא מטוהר - כולם מזהמים קרקעות, נחלים ומקורות מים. התוצאה היא שקרקעות רבות לא ראויות לעיבוד ו- 50% מקידוחי המים נפסלים עקב זיהום הבוצה בחנקה ודשן חנקתי (רשות המים, 2024).
בנוסף לקרקע ולמים, קיימת גם פגיעה במגוון המינים של החי והצומח שמערערת את האיזון במערכות אקולוגיות. כך במקרה של שטחי חקלאות ענקיים בעלי גידול אחד שולט (ולא מגוון), ריסוס ודישון אינטנסיבי שקוטל מיני צומח וחי, דייג לא מורשה וצייד של זנים בסכנת הכחדה (בן אשר, 2022; פליישר & בקר, 2018).

לדוגמא, בגידול פרות לחלב השימוש במשאבי הקרקע והמים ובאנרגיה הוא בעיקר בשלב גידול המספוא להאבסת בעלי החיים. לעומת זאת, שלב הגידול של בעה"ח וייצור החלב הוא התורם העיקרי לזיהום המים. שלב זה מהווה כ-80% מסך פליטות גזי החממה לאורך שרשרת אספקת החלב (טריקי & קסינגר, 2019).

לסיכום, קיימים אתגרים בשיטות הייצור הקיימות שמסכנים את המשכיות ייצור המזון עקב התלות הקריטית באיכות משאבי הטבע. האתגרים המרכזיים בשמירה על איכות משאבי הטבע הם -

- זמינות ואיכות הקרקע - מצומצמת עקב גידול האוכלוסייה, שינוי האקלים ועיבוד אינטנסיבי
- אספקת מים - תלויה בכמות משקעים משתנה ובזמינות של אנרגיה להתפלה וטיהור
- שימוש באנרגיה נקיה - דורשת את ביזור הייצור והתייעלות עם המעבר לאנרגיה מתחדשת
- איכות המערכות האקולוגיות (הצומח והחי) - נפגעת עקב פליטת גזי חממה ומזהמים.

העלות העקיפה תפחת ככל שתהליכי הפקת המזון יהפכו לבני-קיימא וישלבו שיטות חקלאות שמיעלות את השימוש במשאבים ומחדשות את האיכות של המערכות האקולוגיות לאורך זמן.

3. המנועים - תלות הדדית

התובנות העולות מהפרקים הקודמים בדוח זה מבהירים ש-

1. קיימת השפעה של **שיטות הגידול** על העלות והתועלת ועל המוכנות לאתגרים של שינוי האקלים
2. **ניהול המשאבים** הוא קריטי לתהליך התוויית האפשרויות להגדלת היכול בשיטות השונות
3. קיימת השפעה של הצפיפות בישראל ו**הרגלי התזונה** של הצרכנים על שימושי הקרקע

הקיימים וקבלת ההחלטות מה לגדל ואיפה

בנוסף לכך, מהנתונים עולים גורמים נוספים שיש לקחת בחשבון בתכנון האסטרטגיה והשינוי -

- העלות הממוצעת בשיטות הקיימות להפקת ק"ג מזון מהחי גבוהה מהעלות להפקת ק"ג מזון מגידול צמחי (איור 1)
 - קיימת תלות קריטית של הגידול הצמחי במשאבי הטבע ואיכותם (איור 2)
 - היקף הקרקע לחקלאות הוא סופי והגדלת היכול אפשרית הודות לאמצעים חדשניים של גידול בבריכות, בים, בשיטות מנותקות-קרקע ואחרות (איור 3)
 - גידולי הבעל פחות יעילים באופן השימוש בקרקע ביחס לתרומתם לכמות היבול, וכן גידול הפירות פחות יעיל באופן ניצול המים בהשוואה לירקות (איור 4)
 - הפליטות והזיהום בגידול בעלי-החיים גבוה בהשוואה לגידול הצמחי, בשיטות הקיימות ובהתחשב בכך שגידול בעלי החיים כולל את שלב גידול המספוא להזנתם (איור 5)
- לכן, הרחבת ייצור המזון המקומי תחייב התחשבות בגורמי ההשפעה ובניהול התלות ההדדית בין המנועים השונים.

כך לדוגמה, התייעלות בשיטות-העיבוד כדוגמת המעבר לחקלאות מדייקת יאפשרו גידול ביבול הצמחי, הנדרש לתזונה ים-תיכונית; וחקלאות מקומית מנותקת קרקע תפחית את התלות במשאבי הטבע, תהיה מותאמת לשינוי אקלים ותחזק לאורך זמן את משאבי הטבע.

בנוסף להתייעלות בשיטות העיבוד, חשובה גם ההתייעלות בתחום צמצום אובדן ובזבז המזון החל משלב העיבוד החקלאי ועד לשלב הצריכה. ממצאי דו"ח אובדן מזון והצלת מזון 2022 מצביעים על אובדן מזון בהיקף של 2.6 מיליון טונות, עלייה של כ-1.5% באבדן מזון בהשוואה לשנת 2021, שמסתכמת בעלות של כ-23 מיליארד שקל (לקט ישראל, 2022). המשמעות של בזבז המזון היא, בין היתר, שקיים צורך לנהל נכון את השימוש במשאבי הטבע בתחום ייצור המזון.

התלות בין המנועים ואופן היישום האפשרי שלהם במרחב השינוי מפורטים בסעיפים הבאים.

3.1 התייעלות בשיטות העיבוד וניהול המשאבים

העלייה הנדרשת בתוצרת וההתמודדות עם האתגרים מחייבת מעבר מוגבר לשיטות עיבוד יעילות יותר כדוגמת חקלאות מדייקת ומשמרת שמצמצמות את השימוש במים וקרקע, מפחיתות פגיעה באיכות משאבי-הטבע, ומעודדות התאמה לשינוי אקלים באמצעות השקיה בשדות בעל, שימוש במצע-חלופי לקרקע, וכן קירוי בחממות, בתי-רשת ומנהרות.

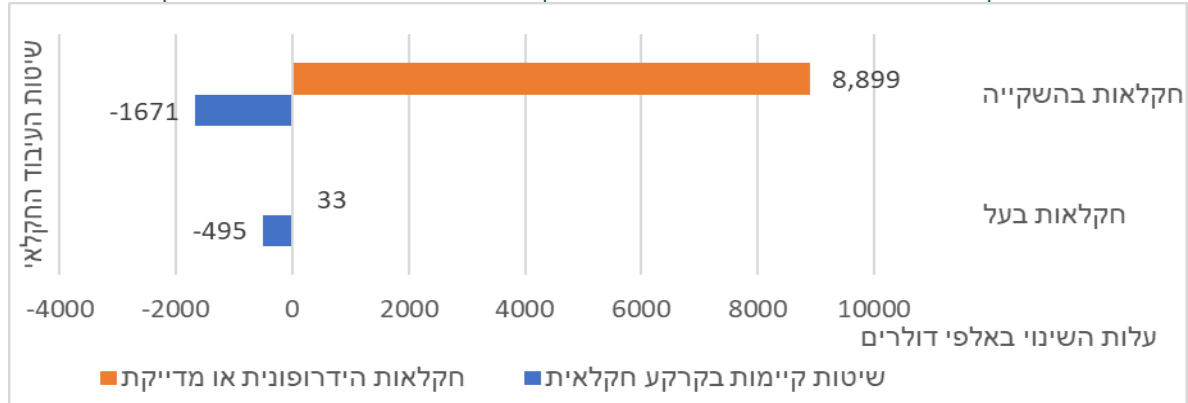
הצפי הוא שעקב שינוי האקלים חלק גדול מהקרקעות ישודרגו לעיבוד בהשקיה ואחרות יוסבו לחקלאות מדייקת בבתי צמיחה, כפי שנראה במגמות באזור חוף הכרמל (Raviv, Zemah Shamir, Izhaki, & Lotan, 2021).

העלות והתועלת (פדיון) הודות לייצור המזון בישראל תשתנה מהותית בתלות בשיטות העיבוד ובסיכונים כדוגמת שינוי האקלים. תוצאות מודל כלכלי (Raviv, ואחרים, 2024) שבחן את נושא התלות בין המשאבים וההשפעות לקראת שנת 2050 (איור 6) מחדד את התובנות ש –

- בחקלאות בעל - צפויה ירידה ביבול בחקלאות שדות ללא השקיה עקב שינוי האקלים ותתכן עליה קלה ביבול לאחר הטמעה של שיטות עיבוד חדשניות כגון פיתוח זנים עמידים לתנאים המשתנים והשקיה בטפטוף כדוגמה לשיטות החקלאות המחודשת.

- בחקלאות מושקית - ובפרט בשיטות של חקלאות מדייקת (פירוט בהמשך), צפויה להיות עליה משמעותית ביכול משמעותית לקראת 2050, בהסתמך על התייעלות בשימוש בקרקע ומים, באנרגיה ובכוח-אדם, לצד הפחתת ההשפעות של שינוי האקלים והפחתת הפליטות.

איור 6: השינוי בפדיון בשנת 2050 בהתחשב בהשפעות שינוי האקלים וההתייעלות בשיטות העיבוד החקלאי



עיבוד לנתוני המחקר במיקוד חקלאות בעל ושלחין (השקיה) בישראל בשיטות עיבוד שונות (Raviv, et al., 2024). המחקר לוקח בחשבון את השפעות שינוי האקלים על הפדיון בחקלאות ובהסתמך על זמינות מי גשם, מים מושבים ומים מותפלים. הניתוח נעשה באמצעות מודל כלכלי GTAP ובהתבסס על נתוני שינוי אקלים של IIASA.

המעבר לשיטות עיבוד חדשניות ובנות-קיימא מיושם בעיקר באמצעות -

1) חקלאות מדייקת ומחדשת -

חקלאות מדייקת היא גישה חדשנית לניהול חקלאי המשלבת טכנולוגיות מתקדמות, נתונים ותהליכים כדי ליעל את ייצור המזון ולשפר את איכותו. הדיוק בחקלאות הוא באספקה יעילה ומנוטרת של התנאים הנדרשים לצמח או לבעל-החי באופן שיגדיל את היכול ולא יפגע באיכות משאבי הטבע או בכושר הייצור בעתיד (אילון, פרוינד-קורן, ליבס, & זרביב-ציון, 2016). כך לדוגמא, בגידול הפירות והירקות בחממות, בהן מנוטרות הטמפרטורה ואספקת המים והדשן באופן שמטייב את התוצר ומפחית עלויות ישירות וסביבתיות לאורך זמן. ניתן ליישם חקלאות מדייקת גם בשדות פתוחים באמצעות ניטור ומיפוי מהאוויר על ידי רחפן, בהטמנת אמצעי ניטור בקרקע ועוד.

שילוב החקלאות המדייקת והמחדשת מתבסס, בין השאר, על -

- חדשנות מקומית ועולמית בפיתוח זנים עמידים ומתאימים לישראל, פיתוח חלבון ממקור צמחי, גידול פטריות ואצות (סיקורה, 2024).
- טכנולוגיה לניטור מצב הצמח ואספקה מבוקרת של מים וחומרי הזנה, וכן מיפוי ושימוש ברחפנים לאיתור מחלות (הלר & ברזון, 2021). תוצאות הניטור מנותחות ונעשה בהם שימוש לשיפור תהליכי העיבוד לאורך כל מחזורי הגידול.
- העשרת הקרקע ואיכות המשאבים - כדוגמת התהליכים להעשרת הקרקע בחנקן באמצעות גיוון הגידולים ושילוב גידולי קטניות במחזורי הגידול, בעיקר בחוות קטנות וכן הפחתת הפילוח של הקרקע למניעת פגיעה בחומר האורגני שמזין אותה.
- הפחתת פליטות ואצירת פחמן - כדוגמת השימוש בפטריות ושיטות עיבוד שמפחיתות פליטות, כדוגמת צמצום פילוח קרקע (Groundwork BioAg, 2024), ניטור של הפליטות מהתהליך במטרה להפחית פליטה של גזי חממה ומזהמים שיפגעו במשאבי הטבע.

2) חוות-חקלאות-בקומות בעיר –

ההתמודדות עם שינויי האקלים וחשיבות ההתייעלות באספקת מזון ומים לאוכלוסייה הגדלה, למרות השינוי הצפוי בשימושי הקרקע והיבול, הביא לפיתוח של חוות חקלאות בקומות (חח"ק, vertical farming) בעיר. הגידול החקלאי מתקיים במבנים מקורים בהם מנוטרים תנאי הגידול ובשיטות כדוגמת ההידרופוניקה⁴, או גידול על מצע חלופי כדוגמת קומפוסט, שאינן תלויות בקרקע חקלאית (FAO, 2020).

היתרונות בשיטות גידול אלה רבים וכוללים (הלר & ברזון, 2021; זקס, ואחרים, 2021) –

- הפחתת הדרישה לקרקע, מים ודשן בכל מחזור גידול – ללא שימוש בקרקע חקלאית, בירקות עלים השימוש הוא ב- 15% מצריכת המים ו-25%-50% מהשימוש בדשן וחומרי הדברה בהשוואה לגידול מסורתי. מפעל הידרופוני עירוני מקטין את עלות השימוש בקרקע ובמים לק"ג מוצר בהשוואה לחקלאות מסורתית (Chen, Zhu, Kim, Brown, & Huang, 2020).
- הגדלת היבול - מאפשרות מספר מחזורי גידול לאורך השנה. בירקות עלים ניתן לגדל פי עשרה יותר בשנה (ליחידת שטח וליחידת זמן) בהשוואה לחקלאות מסורתית
- הגדלת שטח הגידול הודות לגידול בקומות ועל קירות ועמודים
- הפחתת ההשפעה של האקלים ואירועי הקיצון על היבול הודות לגידול במבנה מקורה ומנוטר
- הפחתת הפליטות לאדמה ולאוויר הודות להתייעלות בשימוש במים, באנרגיה, בדשן והדברה
- אבטחת אספקת מזון טרי הודות לגידול ירקות ופירות קרוב לאזורי-הביקוש בעיר
- זמינות של כוח האדם הנדרש לחקלאות – התפעול בחוות מבוסס מיכון ונדרש לכך כוח אדם מיומן ומשכיל, הנמצא בעיר הקרובה
- פינוי קרקע חקלאית לגידולים שלא ניתן לגדל בחח"ק כדוגמת חיטה (גרינהוט & לוינגרט, 2019).

החסרונות האפשריים, יחסית לגידולים בשדות, הם –

- השקעת הון ראשוני שנדרש להקמה וכן הצורך באספקה של אנרגיה נקיה וזולה. עם זאת, השימוש באנרגיה לק"ג תוצר יורד הודות לעליה ביבול וההשקעה לאורך זמן לא צפויה לשנות את המחיר לצרכן. העלויות פוחתות בפרט עם המעבר להפקת אנרגיה מתחדשת והיכולת לייצר יותר זנים בשיטות חדשניות (NatureTech, 2024).
- המיקוד הנוכחי בירקות-חח"ק מיושמות כבר באירופה, בארה"ב ובמזרח ומגדלים בהם בעיקר ירקות עלים לצד עגבניות וירקות-שדה אחרים וכן חלק מהפירות כדוגמת אוכמניות ותותי-שדה (Minner, 2019 & Goodman). עם זאת, לאחרונה הוחל גם בגידול מספוא לבעלי-חיים בשיטות הידרופוניות (FAO, 2021) ונעשו ניסיונות לגדל הידרופונית גם סורגום, אורז, סויה, תבואה ותירס (Cole, et al., 2021) (Thomas & (Malhi, Kaur, Sharma, & Gupta, 2020) (Thomas, 2021).

בישראל שיטות הידרופוניות מיושמות כיום בעיקר על קרקע חקלאית וטרם יושמו במפעל בעיר. עם זאת, גידול עגבניות וחסה בשדה מושקה פעם בשנה שונה בעלות ובתועלת מגידול בחממה או

⁴ חקלאות הידרופונית מסתמכת על המים כגורם ההזנה המרכזי בתהליכי העיבוד ולכן אין צורך בקרקע חקלאית וניתן לגדל בקומות במפעל בעיר או בכל מקום קרוב לצרכנים.

במפעל-ירקות הידרופוני על קרקע עירונית שמספק יכול במספר מחזורי-גידול בשנה, כפי שנעשה במקומות רבים בעולם (Freight Farms, 2024).

3.2 המעבר לתזונה ים-תיכונית מבוססת ייצור מקומי

המשמעות של תזונה ים-תיכונית היא צריכה גבוהה של פירות, ירקות, דגנים מלאים, אגוזים, קטניות, שמן זית, ודגים; צריכה מתונה של עוף, ביצים ומוצרי חלב (בעיקר יוגורט וגבינות); וצריכה מועטה של בשר אדום (משרד הבריאות, 2021).

משרד החקלאות בדק היתכנות לייצור מקומי מלא של המזון בישראל ומצא כי **לאחר שינויים קלים בתמהיל הגידולים ניתן כיום לספק מייצור צמחי בלבד את רוב המרכיבים התזונתיים** המומלצים עבור האוכלוסייה, פרט לשומן ולסידן. עם זאת, בשנת 2035 צפוי מחסור בקלוריות, בחלבון ובחלק מהוויטמינים והמינרלים. המחסור הצפוי בשומן נוגע לכך שחלק גדול מצריכת השומן מגיע משמנים מיובאים ומצריכת בשר ומוצרי חלב (טופורוב, גרינהוט, לוינגרט, & אחרים, 2018).

עם זאת, המחקר של משרד החקלאות התבסס על גידול צמחי בקרקע חקלאית בלבד, בעוד שכיום ניתן להקים חוות חקלאות עירוניות מנותקות-קרקע וקיימת התייעלות בשיטות העיבוד, כדוגמת החקלאות המדייקת, שמאפשרות יותר יכול, גם של דגים ואצות בים ובבריכות, ובאופן שמפחית את התלות במשאבים של מים וקרקע.

כמו כן, התזונה המומלצת כיום אינה מתבססת על יכול צמחי בלבד.

היתרונות במעבר לתזונה ים-תיכונית בתחום ניהול משאבי הטבע כוללות -

- הפחתת גידול הבקר והצאן תפחית גם את הצורך בגידול תבואה למספוא ותפנה שטחים לגידולי חלבון אחרים, כדוגמת הקטניות והגרעינים
- מירב הבשר והמספוא לבקר מגיעים כיום ביבוא - הפחתת היבוא תפחית עלויות הייצור של זיהום עקב הצורך בתעבורה אווירית, קירור ואחסון ארוך-טווח
- הפחתת הייצור המקומי של בשר בקר וצאן והחלפתו בדגים ועוף תפחית את הפליטות לאוויר הנגרמות בעיקר בגידול הבקר
- המעבר לחלבון חלופי בייצור מקומי תגדיל את ההשקעה בתחום בישראל, ותניע את החדשנות וההתייעלות בייצור החלבון החלופי בישראל.

החסרונות האפשריים הם -

- קצב השינוי בתזונה באוכלוסייה - ובפרט השינוי בביקוש לתזונה ים-תיכונית בהתאם לשינוי בהיצע בחקלאות המקומית בגידול הצמחי והחלופי לבשר בקר ועוף. במידה והשינוי בתזונה יהיה איטי מהצפוי - ההשקעה בחקלאות צמחית ייתכן ותואט ותהווה חסם למנוע המרכזי לשינוי
- הגדלת התלות בייצור מקומי מהצומח - בבחינת ההנחה של כל הביצים בסל אחד, תפחית את הגיוון ותגדיל את הסיכון במקרה של מפגע מקומי שיפחית ייצור מזון באופן פתאומי. לדוגמה, במקרה של מגפה (שפעת העופות או מחלה שקוטלת גידולים צמחיים).

לכן, **השפעת השינוי בשיטות הגידול תתעצם ככל שהתזונה תשתנה לתזונה מבוססת חלבון חלופי ממקור מגוון** - צמחי, דגים, ביצים וכדומה, בדומה לעקרונות התזונה הים-תיכונית.

טבלה 1 מפרטת את האסטרטגיה האפשרית ליישום של יצור מקומי של מזון במסגרת האתגרים והמגבלות הקיימות מבחינת משאבי הטבע.

על פי הטבלה, נדרש יישום מאסיבי של חקלאות מנותקת-קרקע בערים, השקיה בחקלאות בעל משמרת ופיתוח חקלאות ימית (כדוגמת אצות) כדי לקדם תזונה מבוססת חלבון חלופי מגוון שמפחית את התלות בבשר בקר אך לא יוצר תלות חדשה בחלבון שמקורו בצומח בלבד.

טבלה 1: אסטרטגיה ליישום המעבר לתזונה ים-תיכונית והאמצעים הנדרשים בטווח הקצר

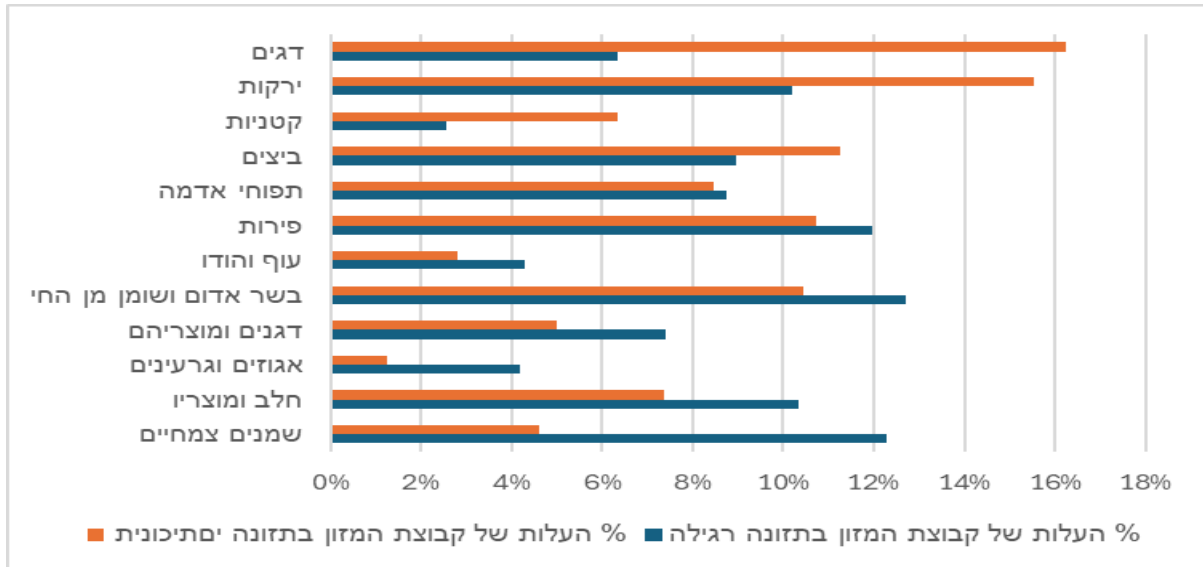
שיוני בשיטות העיבוד		עקרונות תזונה ים-תיכונית:		תוואי אפשרי ליישום	
#	ממצאי עלות ותועלת בפרקים הקודמים	יותר פירות וירקות	יותר קטניות, אגוזים ושמן זית	יותר דגים	פחות עוף, ביצים חלב ובשר בקר
1	חקלאות מדייקת משפרת את הכמות והאיכות של היבול	עליה ביבול הודות לחקלאות מדייקת אפשרית בירקות ופירות, גם בעיר	הוספת יבול תתאפשר עם ההשקיה של גידולי בעל	הוספת יבול אפשרית כחלק מחקלאות ימית	הפחתת ייצור המספוא תפנה משאבים לגידול חלופי מועדף
2	עלות ישירה וסביבתית בייצור בשר ועוף היא גבוהה בהשוואה לפירות וירקות	גידול בביקוש לווטמינים מפירות וירקות, פחות עלות ישירה וסביבתית	גידול בביקוש לחלבון מהצומח ושמן איכותי	פיתוח חדשנות לייצור מקומי של חלבון חלופי מהחי	הפחתת עלות ישירה וסביבתית, הן ביצור מקומי והן עקב היבוא
3	מערכות אקולוגיות הן קריטיות עבור גידול צמחי ולכן הסיכון עקב פגיעה בהן גבוה	מעבר לחקלאות מנותקת קרקע בקומות תפחית זיהום והשפעה	שילוב קטניות במחזורי גידול של חקלאות מחדשת תעשיר קרקע בחנקן	הגדלת תוצר מהים תחזק את התוצר ביבשה ותבזר סיכון	הסיכון לאספקת מזון יפחת עם הפחתת התלות בבשר בע"ח
4	יעילות השימוש בקרקע בגידולי הבעל נמוכה ביחס לכמות היבול שלהם	חקלאות מדייקת, בקומות ומנותקת מצע תפחית ביקוש לקרקע	חקלאות משמרת בהשקיה תגדיל יבול בהשוואה לבעל	יבול מהים יעשיר את מגוון היבול ויהיה בנוסף לגידול יבשתי	הפחתת ייצור המספוא תפנה קרקע לגידול מועדף

לכן, במידה והמשאבים לעיבוד חקלאי יהיו זמינים, תהיה לכך השפעה על העלות והתועלת.

עם זאת, **סיכום העלות לייצור המזון הנדרש בשנת 2050 בשני סוגי התזונה - רגילה וים-תיכונית, יהיה דומה** ועלותו הממוצעת תהיה כ-42 מיליארד שקל בשנה (על פי ערך נוכחי). העלות לייצור של שתי אפשרויות התזונה תהיה זהה למרות שבתזונה ים-תיכונית נדרש ייצור של כ-14 מיליון טונות מזון בשנה בהשוואה לתזונה רגילה שבה נדרש לכאורה פחות יבול – כ-12 מיליון טון בשנה (איור 7).

הדבר מתאפשר הודות לחלוקה שונה של המשאבים בין קבוצות המזון השונות, כך שהחלק היחסי של העלות המושקעת בייצור של כל אחת מקבוצות המזון ישתנה. המיקוד בתזונה הים-תיכונית יהיה בקבוצות הדגים, הירקות, הקטניות והביצים, בעוד התזונה הרגילה תתמקד בשר, שמן מן החי ודגנים.

איור 7: שיעור ההשקעה בכל קבוצת מזון על פי ערך נוכחי ממוצע לייצור מזון בתזונה קיימת ובתזונה ים-תיכונית



עיבוד מוסד שמואל נאמן על פי נתוני הצריכה השנתיים הצפויים בשנת 2050 (איור 8 בפרק התרחישים) והעלות הנוכחית הממוצעת לייצור קבוצות המזון השונות (איור 3 בפרק זה). העלויות בפרק זה הן רק שלב הגידול החקלאי, ולא כוללים את עלות העיבוד התעשייתי.

התועלת מהתזונה הים-תיכונית צפויה לגדול ככל ששיטות גידול המזון יתייעלו והעלות לגידול טון מוצר תקטן, בפרט במזונות המרכזיים בתזונה ים-תיכונית, שהם ירקות, גרעינים וקטניות – שאת כולם ניתן לייעל בשיטות החקלאות המדייקת.

3.3 ניהול המשאבים ואיכותם תלוי בביקוש

השילוב של חקלאות מדייקת, מחדשת ומשמרת והמעבר לתזונה מבוססת חלבון חלופי תקדם גם את הפחתת העלות העקיפה ואת הפחתת ההשפעות על הסביבה והבריאות ותחזק את הביסוס של חקלאות בת-קיימא.

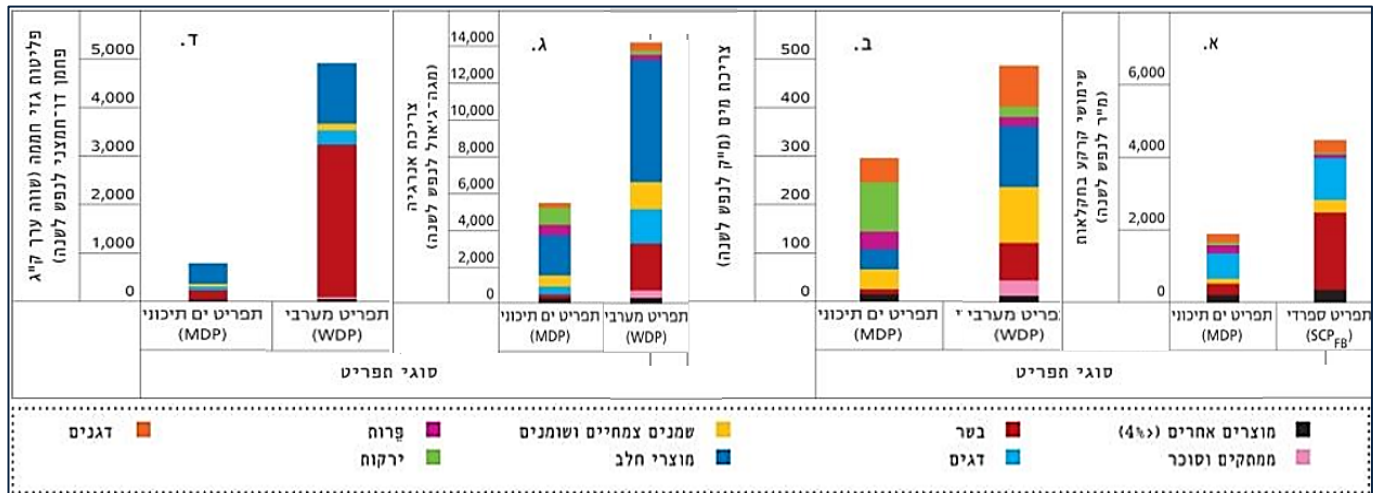
עם זאת, השינוי בהיצע תלוי בשינוי בביקוש בהתאם לתזונה.

כבר בשנת 2016 נחקר ההבדל בין תזונה מערבית לים-תיכונית והממצאים היו ברורים לגבי ההשפעה הנמוכה על משאבי טבע בתזונה הים-תיכונית בהשוואה למערבית, בכל קטגוריה (איור 8) –

- בשימושי הקרקע
- בצריכת המים
- בצריכת האנרגיה
- בפליטות גזי החממה

בכול הקטגוריות הגורם המרכזי לעלות הסביבתית הגבוהה בתזונה המערבית הם מוצרי החלב ובשר
הבקר (Saez-Almendros, Obrador, Bach-Feig, & Serra-Majem, 2016).
העלות הסביבתית פוגעת באיכות משאבי הטבע ומהווה סיכון להמשך השימוש בהם בעתיד.

איור 8: ההשפעה על משאבי הטבע בתזונה ים-תיכונית בהשוואה לקיימת



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לתוצאות המאמר שתורגם לעברית (Saez-Almendros, Obrador, Bach-Feig, & Serra-Majem, 2016). המחקר נערך בספרד ומתייחס לנתונים שנאספו בספרד ולא בישראל.

בנוסף, קיימות תועלות רבות למעבר לתזונה ים-תיכונית בתחום הבריאות, שמפחיתות את העלות הנדרשת בתחום הבריאות לטיפול בנזקים.

כך למשל, התפריט הים תיכוני עשיר ומסייע לגוף בהגנה מפני רעלים, חיזוק מערכת החיסון והלב, הפחתת הסיכון לסוכרת מסוג 2, הורדת רמת הכולסטרול הרע בדם, ועזרה בשמירה על משקל תקין. בנוסף, צריכה של שמן זית ודגים המכילים אומגה 3, מסייעת להגנה על בריאות העין והראיה ואף מפחיתה את הסיכון לשבץ, בעיקר בקרב גילאים מבוגרים (משרד הבריאות, 2021).

מבחינת הפחתת סיכונים בריאות - אכילה של פירות וירקות, במקום בשר מהחי, צפיה להביא לירידה של 33% בסיכון היחסי לתמותה בעת צריכה של 800 גרם ליום של פירות וירקות, ולירידה של 28% בסיכון היחסי בצריכת 500 גרם ליום של ירקות (אמיר & אלקבץ, 2022; Aune, ואחרים, 2017).

ההפחתה המשמעותית ביותר בסיכון בריאותי הייתה הודות לגידולים שמהווים חלבון חלופי לבקר כדוגמת טמפה וסויה, אפונה ושעועית (Springmann, 2024).

כל אלה מפחיתים את עלויות טיפולי הבריאות וההשקעה במערכת הבריאות שנדרשת כדי לטפל בהם.

ככל שהשינוי בביקוש יגדל והתזונה הים-תיכונית תאומץ, כך יופחת הלחץ על משאבי הטבע ויבסס המשכיות של ייצור מקומי לאורך זמן.

4. מסקנות והמלצות

הסיכון לביטחון המזון בישראל תלוי באופן ישיר בהיקף הגידול החקלאי המקומי, מצד אחד, ובקיום משאבי הקרקע והמים הנדרשים כדי לספק מזון לאוכלוסייה גם בשנת 2050.

הרחבת היקף הייצור של מזון מקומי תהיה ברת השגה בפרט עם ההתייעלות בשיטות הייצור - המעבר לחקלאות מדייקת, חקלאות בקומות וחקלאות ימית, שמצמצמות את הביקוש למשאבי טבע, וכן עם המעבר לתזונה מבוססת חלבון מן הצומח - כדוגמת התזונה הים-תיכונית, שמפחיתה את יבוא הבשר והמספוא ומעודדת התייעלות וחדשנות בשיטות העיבוד החקלאי המקומי.

כדי לבסס בטחון מזון בישראל נדרשת התייעלות ועידוד של המנועים הבאים:

- הגדלת היבול באמצעות חקלאות מדייקת ומחדשת והעברה של הירקות וחלק מהפירות לגידול בחוות עירוניות בגידול מנותק קרקע ובקומות. הדבר יפנה שטח חקלאי לגידולים אחרים שנדרשים בעתיד.
- שינוי תמהיל הגידולים על קרקע חקלאית והתאמה לשינוי אקלים - כך שרובם יהפכו לגידולים בהשקיה חכמה (פחות גידולי בעל) וחלקם יועברו במידת הצורך לגידול בבתי צמיחה כדוגמת חממות, לרבות גידולים מנותקי קרקע, מנהרות ובתי-רשת.
- עידוד המעבר לתזונה ים-תיכונית והגדלת השימוש בחלבון מהצומח שתפחית עלויות בריאות ותעודד חדשנות מקומית לייצור של חלבון חלופי ממקור מגוון.

חיזוק הייצור המקומי בעיקר בגידולים המרכזיים הנדרשים לתזונה מבוססת חלבון צמחי ובהסתמך על שיטות עיבוד המושפעות פחות משינוי האקלים, תבסס כלכלת מזון בת-קיימא שתוודא קיום של משאבים איכותיים לייצור מזון לאורך זמן ולביטחון מזון בישראל.

* * *

- Aune, D', Giovannucci, E', Boffetta, P', Fadnes, L', Keum, N', Norat, T . . . , 'Tonstad, S. (2017). 'Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality—a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies . International Journal of Epidemiology .1056–1029 , (3)46 , doi:https://doi.org/10.1093/ije/dyw319
- Chen, P', Zhu, G', Kim, H', Brown, P & , 'Huang, J .(2020) . 'Comparative life cycle assessment of aquaponics and hydroponics in the Midwestern United States . Journal of Cleaner Production.275:122888 ,
- Cole, D', Kobza, S', Fahning, S', Stapley, S', Bonsrah, D', Buck, R & , 'Hopkins, B .(2021) . 'Soybean Nutrition in a Novel Single-Nutrient Source Hydroponic Solution . Agronomy.523:(3)11 ,
- FAO .(2020) . Simple non-circulating hydroponic method for vegetables מתוך FAO: <https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/climatechange0/methyl-bromide/alt/hydro/en/>
- FAO .(2021) . Hydroponic fodder production: an innovative solution in times of drought . אוחזר FAO: <https://www.fao.org/newsroom/story/Hydroponic-fodder-production-an-innovative-solution-in-times-of-drought/en>
- FAO .(2022) . The State of Land and Water Resources for Food and Agriculture in the Near East and North Africa region – Summary report מתוך FAO: <https://doi.org/10.4060/cc1137en>
- FAO .(2024) . Land & Water מתוך FAO: <https://www.fao.org/land-water/water/watergovernance/waterfoodenergynexus/en/>
- Freight Farms .(2024) . Urban farming 101 מתוך freightfarms.com: <https://www.freightfarms.com/urban-farming>
- Goodman, W & , 'Minner, J .(2019) . 'Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City . Land Use Policy , .173–83:160
- Groundwork BioAg (2024) . אנו רוצים להחזיר את הפחמן למקום הראוי שלו בקרקע באמצעות BioAg Groundwork : <https://groundworkbioag.com/> מתוך כלכליסט:
- Malhi, G', Kaur, M', Sharma, K & , 'Gupta, G .(2020) . 'Hydroponics technology for green fodder production under resource deficit condition . Vigyan Varta.65-68 : (5)1 ,
- NatureTech .(2024) . דור חדש של חקלאים: הידרופוניקה בחקלאות העירונית כרעיון עסקי. אוחזר NatureTech: <https://naturetech.co.il/hydroponics/%D7%93%D7%95%D7%A8-%D7%97%D7%93%D7%A9-%D7%A9%D7%9C-%D7%97%D7%A7%D7%9C%D7%90%D7%99%D7%9D->

- %D7%94%D7%99%D7%93%D7%A8%D7%95%D7%A4%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%A7%D7%94-%D7%91%D7%97%D7%A7%D7%9C%D7%90%D7%95%D7%AA/
POLITICO .(2024) .Denmark sets first carbon tax on agriculture אוחזר מתוך POLITICO:
<https://www.politico.eu/article/denmark-sets-first-carbon-tax-on-agriculture/>
- Raviv, O', Palatnik, R', Castellini, M', Sirota, J', Gusperti, C', Vergalli, S & 'Shechter, M .(2024) .' Synergies of CGE and IAM modelling for climate change implications on WEFE nexus in the Mediterranean .Climate Risk Management Journal.(100608)44 ,
- Raviv, O', Tchetchik, A', Lotan, A', Itzhaki, I & 'Zemah-Shamir, S .(2021) .'Direct and indirect valuation of air-quality regulation service as reflected in the preferences towards distinct types of landscape in a biosphere reserve .Ecological Economics.106835 :180 ,
- Raviv, O', Zemah Shamir, S', Izhaki, I & 'Lotan, A .(2021) .'The effect of wildfire and land-cover changes on the economic value of ecosystem services in Mount Carmel Biosphere Reserve, Israel .Ecosystem Services.101291 :49 ,
- Saez-Almendros, S', Obrador, B', Bach-Feig, A & 'Serra-Majem, L של (2016) .' המדרך הסביבתי דפוסי תזונה שונים, תפריט ים תיכוני מול תפריט מערבי: לא רק יתרונות בריאותיים לתפריט אוחזר מתוך <https://magazine.isees.org.il/?p=16139> הים תיכוני. אקולוגיה וסביבה, 7(2).
- Sovacool, B', Kim, J & 'Yang, M .(2021) .'The hidden costs of energy and mobility: A global meta-analysis and research synthesis of electricity and transport externalities .Energy Research & Social Science אוחזר מתוך (101885)72 ,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620304606>
- Springmann, M .(2024) .'A multicriteria analysis of meat and milk alternatives from nutritional, health, environmental, and cost perspectives .PNAS (50) 121 ,e2319010121 .
doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.2319010121>
- Thomas, S & 'Thomas, U .(2021) .'Standardisation of seed rate and harvest schedules for fodder crops grown under hydroponic system .College of Agriculture; Vellayani-695522; India.
- UN .(2023) .Water-food-energy-ecosystem nexus אוחזר מתוך UNECE - sustainable development:
<https://unece.org/environment-policy/water/areas-work-convention/water-food-energy-ecosystem-nexus>
- אילון, א', פרוינד-קורן, ש', ליבס, ע', & זרביב-ציון, מ'. (2016) .סדרי עדיפות לאומית בתחום איכות הסביבה - מסמך עמדה עשירי - תעשיית הטכנולוגיות החקלאיות החדשניות בישראל. מוסד שמואל נאמן. אוחזר מתוך מוסד שמואל נאמן: <https://www.neaman.org.il/Innovative-agricultural-tech-industry-Israel-2016-HEB>
- אמיר, ר', & אלקבץ, ע'. (2022) .השפעת ביטול מכסים ומגבלות יבוא של ירקות ופירות על שכיחות מחלות בקרב אזרחי ישראל. אוניברסיטת רייכמן. אוחזר מתוך <https://www.runi.ac.il/media/lkrj4hay/sickness-and-taxes-policy-paper.pdf>
- בן אשר, ע'. (2022) .מיפוי החקלאות בישראל. אוחזר מתוך משרד החקלאות ובטחון המזון: <https://storymaps.arcgis.com/stories/715ac1ce1f344837974c47c1a29a9d63>

בנימין, ע'. (2024). מתקן ההתפלה שורק 2 זכה בפרס על כך שהוא הירוק בעולם – חבל שהוא לא פעיל. אוחרזר מתוך דה-מרקר:

https://eur03.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.themarker.com%2Fdynamo%2F2024-12-15%2Fty-article%2F.premium%2F00000193-ca41-d63a-abf3-dadb361f0000%3Futm_source%3DApp_Share%26utm_medium%3DAndroid_Native%2data=05%26utm_campaign%3DShare

גרינהוט, צ', & לוינגרט, ע'. (2019). היערכות חקלאות ישראל לשינוי האקלים. אקולוגיה וסביבה, 10(4): 39–45. אוחרזר מתוך <https://magazine.isees.org.il/?p=16720>

הדס, א', הלה, א', דותן, ש', & אחרים. (2021). היבטים כלכליים של חקלאות עירונית לעומת החקלאות הכפרית בישראל. אוחרזר מתוך GOV.IL: https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/economic_aspects_of_urban_agriculture/ar/botanical_gardens_gardening_and_ornamental_gardens_economic_aspects_of_urban_agriculture_compared_to_rural_agriculture_in_israel.pdf

הטכניון. (2024). חוקרים בפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון גילו כי לשילוב עמילואידיים במזון מעובד יש יתרונות תזונתיים ובריאותיים משמעותיים. אוחרזר מתוך הטכניון: <https://www.technion.ac.il/blog/%d7%9e%d7%96%d7%95%d7%9f-%d7%9e%d7%a2%d7%95%d7%91%d7%93-%d7%90%d7%99%d7%9f-%d7%9e%d7%94-%d7%9c%d7%94%d7%99%d7%91%d7%94%d7%9c>

הלמ"ס. (2023). מאזן אספקת מזון 2021. אוחרזר מתוך הלמ"ס: https://www.cbs.gov.il/he/publications/DocLib/2023/21.ShnatonAgriculture/st21_20x.pdf

הלה, א', & ברזון, ע'. (2021). חקלאות עירונית יצרנית. משרד החקלאות ופיתוח הכפר. אוחרזר מתוך GOV.IL:

https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/urban_agriculture_producer/he/botanical_gardens_gardening_and_ornamental_gardens_urban_agriculture_producer_12_2021.pdf

המשרד להגנת הסביבה. (2016). הוראות נוספות לקביעת שיטת חישוב מיטבית לפליטות והעברות לסביבה עבור סוג פעילות: גידול עופות אינטנסיבי. אוחרזר מתוך GOV.IL: https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/calculation_methodology/en/prtr_PRTR-Chicken.pdf

המשרד להגנת הסביבה. (2021). פליטות מהחקלאות. אוחרזר מתוך GOV.IL: https://www.cbs.gov.il/he/publications/DocLib/2023/1918_agri_environmental_2021/part3_h.pdf

המשרד להגנת הסביבה. (2023). דוח מסכם - ועדת יישום היערכות מערכות מזון לשינוי אקלים לקראת 2030. אוחרזר מתוך https://www.gov.il/BlobFolder/reports/food-systems-report/he/news_files_2023_food-systems.pdf

המשרד להגנת הסביבה. (2023). הספר הירוק: הערכה ומדידה של עלויות סביבתיות – עלויות חיצוניות של מזהמי אוויר וגזי חממה. אוחרזר מתוך GOV.IL:

https://www.gov.il/he/pages/green_book_external_costs_air_pollutants_greenhouse_gases

המשרד להגנת הסביבה. (2024). תוכניות היערכות של משרדי ממשלה ויחידות סמך לשינוי האקלים. אוחר מתוך GOV.IL: <https://www.gov.il/he/pages/national-preparedness>

הנקין, ז', שטרנברג, מ', פרבולוצקי, א', & גורליק, ח'. (2020). מגמות שינוי בהרכב הצומח העשבוני, ביצרנות המרעית ובאיכותה על בסיס ניסוי ארוך-טווח בגליל המזרחי. אקולוגיה וסביבה. אוחר מתוך <https://magazine.isees.org.il/?p=16857>

זווית. (2024). רפורמת החשמל - כמה נחסוך כשהנוף החקלאי יתחלף בחממות עם פאנלים סולאריים? אוחר מתוך <https://www.ynet.co.il/environment-> זווית: [utm_c&utm_medium=social&science/article/b1dshmltr?utm_source=ynet.app.android&utm_content=Header&utm_term=b1dshmltr&campaign=general_share](https://www.ynet.co.il/environment-utm_c&utm_medium=social&science/article/b1dshmltr?utm_source=ynet.app.android&utm_content=Header&utm_term=b1dshmltr&campaign=general_share)

זקס, מ', אדלר, א', עומרי, נ', גנץ, ש', אמיר, ר', אסקירה, א', & רחמים, א'. (2021). חוברת הדרכה - גידול ירקות בהידרופוניקה. אוחר מתוך GOV.IL: https://www.gov.il/BlobFolder/reports/growing-vegetables-in-hydroponics/he/Professional_information_growing_vegetables_in_hydroponics.pdf

חיים וסביבה. (2023). מפת דרכים מדיניות וחקיקה סביבתית 2023. אוחר מתוך חיים וסביבה - תזונה, חקלאות ומערכות מזון: https://www.sviva.net/wp-content/uploads/2023/09/roadmap-Environmental-policy-and-legislation_final_web_WB-2.pdf

טופורוב, ג', פרל, מ', גרינהוט, צ', & לוינגרט, ע'. (2019). היערכות חקלאות ישראל לשינוי האקלים. אקולוגיה וסביבה, 10(4): 39-45.

טריקי, ש', & קיסינגר, מ'. (2019). אימוץ גישה מערכתית לניתוח ממשקים סביבתיים של ייצור חלב בקר בישראל. אקולוגיה וסביבה, 10(2). אוחר מתוך <https://magazine.isees.org.il/?p=16618>

לקט ישראל. (2022). אובדן מזון: כמה מזון הולך לאיבוד בישראל? <https://foodwastereport.leket.org/how-much-food-is-wasted-in-israel>: לקט ישראל.

מכון מחקר הכנסת. (2022). תיאור וניתוח שוק הפטם והביצים. אוחר מתוך GOV.IL: https://fs.knesset.gov.il/globaldocs/MMM/a04e595b-122f-ec11-8140-00155d0401c3/2_a04e595b-122f-ec11-8140-00155d0401c3_11_19556.pdf

מנהל התכנון. (2024). תוכנית אסטרטגית מרחבית למדינת ישראל - יולי 2024. אוחר מתוך GOV.IL: https://www.gov.il/he/pages/spatial_strategic_plan

משרד הבריאות. (2021). תזונה ים-תיכונית. אוחר מתוך GOV.IL: <https://www.gov.il/he/pages/mediterranean-nutrition>

משרד החקלאות. (2025). גיבוש התוכנית הלאומית לביטחון המזון - הצגת תוצרי הביניים. אוחר מתוך GOV.IL:

https://eur03.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.gov.il%2FBIobFolder%2Fnews%2Fnational_food_security_program_primary_products%2Fhe%2Fnatdata=05%7C02%7Corna%40sni.te&ional_food_security_program_primary_products.pdf chnion.ac.il%7C5e010b

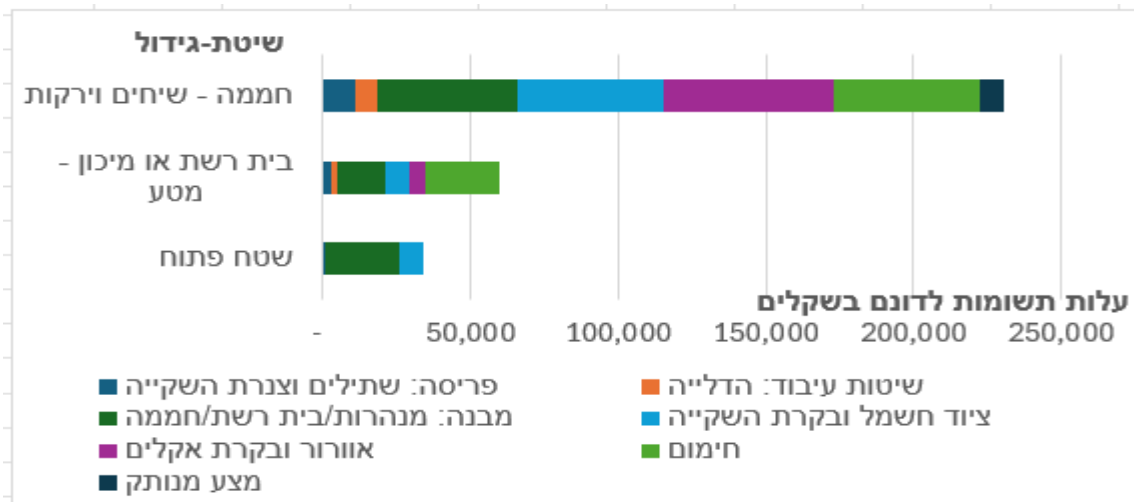
[\[חזרה לפרק העלות\]](#) ↑

פירוט מגוון העלויות על פי שיטות העיבוד

עלויות המינימום בכל שיטת עיבוד משתנות בשיטות העיבוד השונות.

כך לדוגמא במעבר מגידול בשטח פתוח של עצי פרי או קטניות לגידול נשירים בבית רשת ולגידול בחממות של ירקות ופירות. (איור 9).

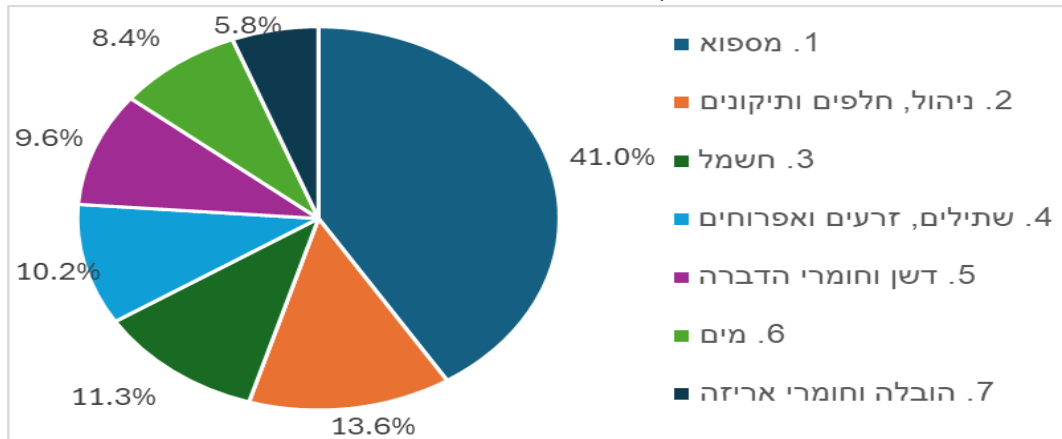
איור 9: עלויות מינימום כדוגמא בייצור מזון בחקלאות



עיבוד מוסד שמואל נאמן לערכי מינימום שמציע המשרד לתמיכה בחקלאים – על פי תכנית פיתוח לשנת 2024 (משרד החקלאות ובטחון המזון, 2024)

וכן בהבדל בעלות התפעול בין גידול צמחי לגידול בעלי-חיים (הלמ"ס, 2023). כך לדוגמא עלות רכש התשומות להפקת מזון בחקלאות בשנת 2023 מסתכמת בכ- 19.7 מליארד ₪, שרובם הוקצו לרכש מספוא – בגידול בעלי-החיים, וחלקם לחלפים ותיקונים, ולעלויות חשמל (איור 10).

איור 10: התפלגות הוצאות התפעול החקלאות



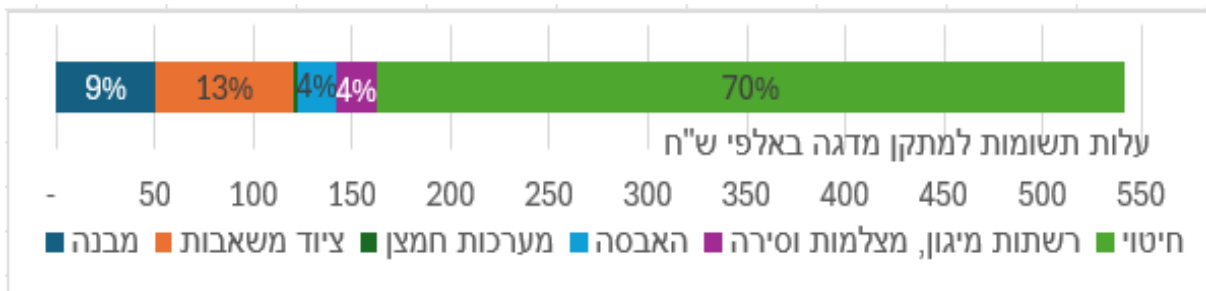
עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני הלמ"ס (הלמ"ס, 2023)

עלויות נוספות נדרשות בתחום תעשיית המזון, והן כוללות לדוגמא בתחום גידולי הצומח – כ-750,000 ₪ להקמת יקב (כולל מבנה) שמפיק מעל 30,000 בקבוקים, וכ- 560,000 ₪ להקמת בית בד להפקת שמן זית, שמשרת חקלאים רבים.

בתחום גידול בעלי-חיים – נדרשים כ- 750,000 ₪ למחלבה לבקר וכ- 250,000 ₪ למכון חליבה לעיזים. בהשוואה לכך, עדר במרעה בשטח הפתוח נזקק להשקעה נמוכה יותר, הן בעלות התשתית והן במזון שבחלקו מגיע ממרעה. התשתית כוללת – מדרך בטון, אבוס, חצר טיפולים, תפס בקר ומאזניים, ומערכת זיהוי וניהול עדר.

ענף המדגה הוא דוגמא הפוכה לגידולי שדה, וקיים בו שוני קטן בעלויות בין גידול בשטח פתוח לגידול במבנה מקורה (איור 11). רוב התשומות (70%) מיועדות לחיטוי והשוני בין מדגה פתוח למקורה הוא בעלות המבנה בלבד, שמהווה כ-10% מהעלות הכללית של המתקן.

איור 11: תשומות מינימום למתקן מדגה



עיבוד מוסד שמואל נאמן לערכי מינימום לתמיכה בחקלאים – על פי תכנית פיתוח לשנת 2024 (משרד החקלאות ובטחון המזון, 2024)

[חזרה לפרק העלות](#) ↑

* * *



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קרית הטכניון,
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

מזון ומים