

# מפת דרכים וצעדים מרכזיים לחלבון שאינו מן החי (מהצומח ואלטרנטיבי) לקראת ביטחון מזון בישראל 2050

פרופ' אייל שמעוני  
סימה ציפרפל  
רינת קליין

מוסד שמואל נאמן  
למחקר מדיניות לאומית



מזון ומים | 12/24





מפת דרכים וצעדים מרכזיים  
לחלבון שאינו מן החי  
(חלבון מהצומח וחלבון אלטרנטיבי)  
לקראת ביטחון מזון בישראל 2050

---

פרופ' אייל שמעוני

סימה ציפרפל

רינת קליין

---

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 המחברת ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן

---

# תוכן העניינים

6	1. תקציר
12	2. הקדמה
13	2.1 ההשפעה הסביבתית של חלבונים אלטרנטיביים לעומת חלבונים קונבנציונליים
14	2.1.1 מדדים להערכת ההשפעה הסביבתית:
16	2.2 מטרת המחקר
16	2.3 שיטת המחקר
17	2.3.1 תהליך העבודה
18	2.3.2 כלי המחקר
20	3. הגדרות לחלבון אלטרנטיבי
22	4. מדיניות בעולם
25	5. המלצות תזונתיות
30	6. צריכת החלבון הנדרשת בישראל
30	6.1 מקורות חלבון בישראל
31	6.2 שיקולים דמוגרפיים
32	6.3 צלחת תזונתית מומלצת
32	6.3.1 קשת המזון של משרד הבריאות
32	6.3.2 בחירת הרכב הצלחת התזונתית
33	6.3.3 Protein Sources in the Israeli Plate
34	6.3.4 ייצור ודרישה 2050 – הצלחת הישראלית
36	7. פתרונות אפשריים
39	8. ניתוח חלופות
39	8.1 כיצד כל מקור חלבון ישפיע על ההסתמכות העצמית של ישראל?
40	8.2 מהי מסגרת הזמן שבה הדבר יכול להיות מעשי
40	8.2.1 תחזיות גלובליות
42	8.2.2 לוחות זמנים לייצור המוני
45	8.3 חוזקות, אתגרים ומחסומים
49	9. מהי כמות החלבון שאינו מן החי שישראל זקוקה לה
53	10. צעדים מרכזיים להשגת אספקת החלבון הנדרש שאינו מן החי עד שנת 2050
56	11. ביבליוגרפיה

## רשימת טבלאות

טבלה 1: השוואת ההשפעה הסביבתית של מקורות חלבון מן החי, מן הצומח וחלבונים אלטרנטיביים (נתונים ממוצעים).....	14
טבלה 3: פעילות במדינות נבחרות הנוגעת לחלבונים שאינם מן החי.....	22
טבלה 4: הנחיות תזונתיות.....	25
טבלה 5: הערכת המשאבים הדרושים לייצור קילוגרם חלבון ממקורות חלבון שונים.....	40
טבלה 6: תרחישים אפשריים לחלבון חדש שאינו מן החי (צמחי ואלטרנטיבי).....	50
טבלה 6: דוגמה לתרחישים עבור חלבון חדש שאינו מן החי (צמחי ואלטרנטיבי) הנדרש לישראל בשנת 2050 לפי מקור ולפי שימוש.....	52

## רשימת איורים

איור 1: סטרטאפים בתחום החלבונים האלטרנטיביים בישראל.....	13
איור 2: יחס הייצור והייבוא מתוך קבוצות המזון הזמינות לאספקת חלבון (2022).....	30
איור 3: ייצור 2022 ואספקה זמינה 2050 (כלל אוכלוסיית ישראל, טונות לשנה).....	31
איור 4: ייצור 2022 ואספקה זמינה 2050 נדרשת לצלחת תזונתית (כלל אוכלוסיית ישראל, טונות לשנה).....	35
איור 5: אספקה נדרשת של חומרי גלם לחלבון בשנת 2050 לעומת האספקה הזמינה בשנת 2022 (טונות לשנה).....	37
איור 6: אספקה נטו של חלבון בשנת 2022 (למ"ס) ובשנת 2050 לפי התזונה הים-תיכונית (טונות לשנה).....	37
איור 7: התפלגות של מקורות חלבון על פי סוג מוצר, 2050.....	49

## רשימת מונחים וקיצורים

מוצרי מזון מן החי (חומרי גלם) <b>Animal-Based Protein Products (raw materials)</b>	בשר אדום ושומנים מן החי, עופות, ביצים, דגים, חלב ומוצרי חלב בצלחת התזונתית המומלצת (תזונה ים-תיכונית).
אספקה זמינה במאזן אספקת מזון	פרמטר במאזן אספקת מזון של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה; האספקה הזמינה כוללת ייצור מקומי בתוספת שינויים במלאים וייבוא, בניכוי ייצוא, של השנה הנסקרת.
First-of-a-kind (FOAK), ראשון מסוגו	מוצר, טכנולוגיה או פרויקט המפותחים או מיושמים לראשונה. מייצגים חדשנות ומערבים רמות גבוהות של אי-ודאות. פרויקטים מסוג FOAK (First-of-a-Kind) חיוניים להוכחת היתכנות ולהובלת פריצות דרך טכנולוגיות, אך לעיתים קרובות ניצבים בפני אתגרים בפיתוח, בגיוס השקעות ובחדירה לשוק.
מאזן אספקת מזון	רישום מקיף של פריטי המזון הזמינים לציבור במהלך שנת הסקר, תוך פירוט מקורותיהם וערכם התזונתי, כולל אנרגיה (קלוריות), חלבון, שומן, מינרלים וויטמינים, בממוצע לנפש ליום. המאזן מספק לקובעי המדיניות תובנות הנוגעות להסתמכות העצמית במזון של ישראל ולהיקף תלותה במוצרי מזון מיובאים <sup>1</sup> .
מוצרי מזון מהצומח (חומרי גלם) <b>Plant-Based Protein Products (raw materials)</b>	דגנים ומוצריהם, אגוזים וזרעים, קטניות בצלחת התזונתית המומלצת (תזונה ים-תיכונית).
חלבון נטו (חומרי גלם)	כמות החלבון נטו בחומרי הגלם.
חלבון שאינו מן החי (חלבון מהצומח וחלבונים אלטרנטיביים)	חלבונים שאינם מן החי, כגון בשר ודגים מתורבתים (cultivated), חקלאות מולקולרית (molecular farming), חלבונים צמחיים מעובדים (processed plant-based), חרקים (insects), תפטיר ופטריות (mycelium and fungi), תסיסה מדויקת (precision fermentation), ואצות (algae).
אספקה נדרשת	אספקה זמינה עתידית
Self Sufficiency Ratio (SSR)	שיעור הסתמכות עצמית = ייצור/אספקה זמינה

<sup>1</sup> לקריאה נוספת על מאזן אספקת מזון: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. [מאזן אספקת המזון](#)

# 1. תקציר

## סקירה כללית

זוהי בוחן את תפקידם הקריטי של חלבונים שאינם מן החי (צמחיים ואלטרנטיביים) בהשגת ביטחון מזון בישראל עד שנת 2050. הביקוש לחלבון צפוי לעלות באופן משמעותי, לצד גידול נרחב של האוכלוסייה ואתגרים סביבתיים. חלבונים שאינם מן החי מספקים פתרונות בני-קיימא להתמודדות עם אתגרים אלו. הדיון בצורך בחלבונים שאינם מן החי כולל בחינה של מספר היבטים מרכזיים:

- **ביטחון מזון באמצעות הגדלת הייצור המקומי:** שיעור ההסתמכות העצמית הנמוך של ישראל בקבוצות מזון מרכזיות כגון דגנים, קטניות ואגוזים, מגביר את תלותה בייבוא ואת פגיעותה לשיבושים בשרשרת האספקה העולמית. חיזוק הייצור המקומי של חלבון שאינו מהחי יצמצם את הסיכונים הללו, יגביר את העמידות בפני אי ודאויות גיאופוליטיות וכלכליות, ויתמוך ביעדי קיימות על ידי הפחתת ההשפעה הסביבתית של ייבוא וייצור חלבונים מהחי.
  - **השפעה סביבתית:** חלבונים שאינם מן החי מפחיתים משמעותית את פליטת גזי החממה, את השימוש בקרקע ואת צריכת המים בהשוואה לחלבונים מהחי.
  - **מאפיינים תזונתיים:** כאשר מעריכים את כמויות המזון הנדרשות לשנת 2050, התאמת התפריט הישראלי להמלצות התזונה הים-תיכונית מצמצמת באופן משמעותי את הפער בין כמות הייצור הנוכחית לבין הביקוש העתידי ברוב קבוצות המזון. אנו מציעים, כי ב-2050 50% מהאוכלוסייה צפויה לצרוך את הצלחת התזונתית המומלצת. התאמה זו כוללת ירידה בצריכת בשר אדום, עוף ומוצרי חלב, לצד עלייה בצריכת קטניות.
  - **אתגרים כלכליים ואתגרי מדיניות:** הרחבת ייצור חלבונים חדשים שאינם מן החי בקנה מידה תעשייתי דורשת השקעות משמעותיות בהקמת מתקני ייצור, מה שמדגיש את הצורך במדיניות תומכת הכוללת סבסוד, השקעה במו"פ וחינוך הצרכנים.
  - **הקשר הגלובלי ומעמדה של ישראל כמובילה עולמית:** ישראל ממוצבת כמובילה עולמית בחדשנות של חלבונים שאינם מן החי. אולם, נדרשת השקעה נוספת מצד הממשלה והמגזר הפרטי, לצד שיתופי פעולה, על מנת להתגבר על אתגרי הייצור, שהם ראשונים מסוגם (FOAK).
- פרקים 2-5** מציגים את החלבונים שאינם מן החי, הגדרות ומדיניות עולמית המקדמת את אימוצם. פרקים אלו מדגישים את היתרונות הסביבתיים, כגון הפחתת השימוש במשאבים, ובוחנים קווים מנחים תזונתיים התומכים בהכללת חלבונים מן הצומח וחלבונים אלטרנטיביים בתזונה. ההתמקדות בפרקים אלו נוגעת במגמות הגלובליות וברלוונטיות שלהן למערכת המזון בישראל.
- פרקים 6-10** מנתחים את צרכי החלבון הנוכחיים והעתידיים של ישראל, תוך דגש על הסתמכות עצמית ועל קיימות. הפרקים מפרטים פתרונות קיימים של חלבונים שאינם מן החי, מעריכים את ההשפעות הסביבתיות והכלכליות שלהם, ומציעים מפת דרכים הכוללת צעדים מרכזיים למעבר למערכת מזון חסינה, המבוססת בחלקה על חלבונים שאינם מן החי, עד שנת 2050.

## מטרת המחקר

ניתוח תפקידם של חלבונים שאינם מן החי בהקשר של ביטחון מזון בישראל בשנת 2050 והתוויית צעדים מרכזיים שעל המדינה והמגזר הפרטי לנקוט על מנת להשיג יעד זה.

## מתודולוגיה

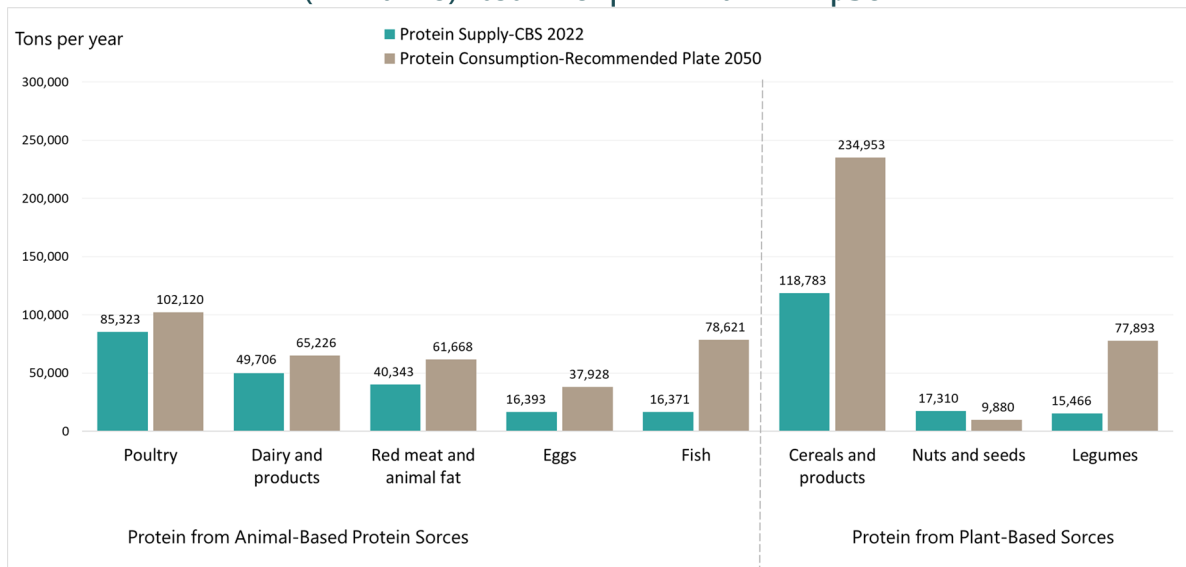
- הצגת תחזית מבוססת נתונים לביקוש של חלבון בישראל בשנת 2050.
- זיהוי מקורות חלבון פוטנציאליים, חלופות אפשריות ותפקידם של חלבונים שאינם מן החי.
- גיבוש מפת דרכים לשילוב חלבונים שאינם מן החי במסגרת ביטחון המזון של ישראל בשנת 2050.

## דרישות חלבון

כיום, שיעור הסתמכות העצמית של מקורות החלבון בישראל נמוך בקבוצות מזון מרכזיות כגון דגנים, קטניות, אגוזים וזרעים.

התרומה המשמעותית של חלבונים מן הצומח (במיוחד דגנים וקטניות) בתזונה הים-תיכונית, מדגישה את חשיבותם של מזונות מן הצומח כמענה לצרכי החלבון בתזונה. לנוכח גידול האוכלוסייה והאתגרים הסביבתיים, חלבונים מן הצומח עשויים למלא תפקיד משמעותי יותר ויותר במערכת המזון העתידית של ישראל.

אספקה נדרשת של חלבון נטו ב- 2050 (טונות לשנה)





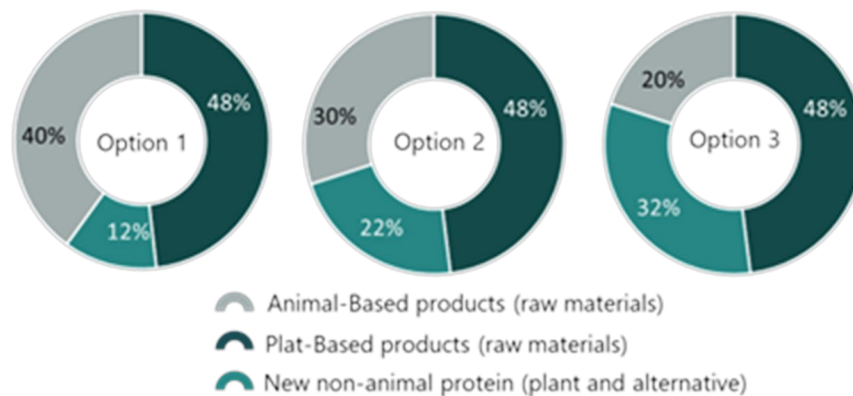
**צרכי חלבון**

מקורות חדשים של חלבונים שאינם מן החי, כולל בשר ודגים מתורבתים (cultivated), חקלאות מולקולרית (molecular farming), חלבונים צמחיים מעובדים (processed plant-based proteins), חרקים (insects), תפטיר ופטריות (mycelium and fungi), תסיסה מדייקת (precision fermentation) ואצות (algae), יהיו חיוניים כהשלמה לחלבונים המסורתיים ולחלבונים הצמחיים.

בהתבסס על תחזיות הביקוש העתידי לחלבון, מומלץ לעבור למוצרים מן הצומח ולחלבונים חדשים שאינם מן החי (צמחיים ואלטרנטיביים) על מנת לספק את הצרכים התזונתיים, תוך הפחתת הצריכה של חלבונים מן החי לרמה של 20-40% מסך החלבון.

הפחתת צריכת חלבון מן החי משקפת ירידה של 23-61% בחלבון שמקורו מן החי, אשר תדרוש גידול בביקוש של כ-79K עד 212K טון של מקורות חלבון חדשים שאינם מן החי, בהתאמה.

התפלגות עתידית של מקורות חלבון שאינם מן החי (צמחי ואלטרנטיבי) לפי סוג מוצר (2050)



תרחישים אפשריים לחלבונים חדשים שאינם מן החי (צמחיים ואלטרנטיביים) (אספקה זמינה 2050 של מוצרים מבוססי חלבון בתזונה הים-תיכונית, טון לשנה)

20%	30%	40%	52%	% של מוצרים מן החי (2050)
1,490 K	2,236 K	2,981 K	3,862 K	מוצרי חלבון מן החי (חומרי גלם)
3,589 K	3,589 K	3,589 K	3,589 K	מוצרי חלבון מן הצומח (חומרי גלם)
133 K	200 K	267 K	345 K	חלבון נטו מן החי (חומרי גלם)
212 K	146 K	79 K	0	חלבון חדש שאינם מן החי (צמחי ואלטרנטיבי)

לאור חוסר הוודאות בנוגע לתרומתה של כל טכנולוגיית חלבון שאינם מן החי (צמחי ואלטרנטיבי), החלוקה המוצעת של טכנולוגיות אלו היא כדלקמן: בשר ודגים מתורבתים (cultivated) צפויים להחליף 25% מבשר ודגים קונבנציונליים, חלבונים צמחיים מעובדים (processed plant-based proteins) צפויים לתפוס 30% מנתח השוק, תסיסה מדייקת (precision fermentation) צפויה לתרום 25%, חקלאות מולקולרית (molecular farming) 5%, תפטיר ופטריות (mycelium and fungi) 8%, חרקים (insects) 2%, ואצות (algae) 5%.

## צעדים מרכזיים והמלצות לאספקת חלבונים שאינם מן החי עד שנת 2050

### צמצום סיכונים בשרשרת האספקה של חלבון מן החי

שרשרת האספקה של חלבון מן החי בישראל מתמודדת עם נקודות פגיעות משמעותיות, הכוללות תלות בייבוא, חשיפה גיאוגרפית לאזורי סכסוך ושינויי אקלים. בשר בקר ודגים נמצאים בסיכון הגבוה ביותר, אחריהם ביצים, עופות ומוצרי החלב. גיוון מקורות חלבונים שאינם מן החי חיוני להפחתת הסיכונים. אספקת חלבונים שאינם מן החי היא קריטית להבטחת ביטחון המזון של ישראל 2050. אסטרטגיות מרכזיות להשגת יעד זה כוללות הפחתת צריכת החלבון מן החי ל-20%-40 מסך צריכת החלבון הכוללת וקידום ייצור מקומי של חלבון (קטניות וחלבון אלטרנטיבי).

### שימור מעמדה של ישראל כמעצמת חלבון שאינו מן החי

המובילות של ישראל בחדשנות של חלבונים שאינם מן החי חיונית לביטחון המזון ולקיימות ברמה המקומית והגלובלית. יש להבטיח את המשך ההובלה באמצעות השקעה מתמשכת במחקר, בתשתיות, ובשיתופי פעולה בין המגזר הציבורי והפרטי. חיזוק מעמדה של ישראל בשווקים הגלובליים עשוי למשוך השקעות ולמצב את המדינה כמרכז לטכנולוגיות מזון בנות-קיימא.

### התמודדות עם אתגר ה-FOAK (ראשון מסוגו)

תמיכת הממשלה והמגזר הפרטי חיונית עבור סטרטאפים המתמודדים עם אתגרים הקשורים להרחבת היקף הייצור והקמת מתקני ייצור ראשוניים מסוגם (FOAK). מתקני FOAK קריטיים לאימוץ רחב היקף של חלבונים חדשים שאינם מן החי. תהליך זה כרוך בהתמודדות עם חסמים כגון עלויות ייצור ראשוניות גבוהות, תשתיות מוגבלות ומכשולים רגולטוריים, אשר ניתן להקל עליהם באמצעות תמיכה ממשלתית ושיתופי פעולה עם התעשייה. התערבות ממשלתית יכולה לסייע לסטרטאפים לעבור משלב האב-טיפוס לפתרונות ברי-קיימא בקנה מידה תעשייתי.

### הגברת יכולות הייצור ההמוני

על מנת להשיג יכולות ייצור בקנה מידה רחב של חלבונים חדשים שאינם מן החי נדרשות השקעות של למעלה מ-2 מיליארד דולר בהקמת מתקני ייצור לתחליפי בשר אדום, עוף ודגים, וכן השקעות של למעלה מ-600 מיליון דולר בהקמת מתקני ייצור לתחליפי חלב. בנוסף, השקעות שנתיות של 100-200 מיליון דולר בתשתיות מחקר ופיתוח, מתקני ייצור אב-טיפוס, שותפויות ציבוריות-פרטיות ופיתוח שווקים הן קריטיות. מאמצים אלו מהווים מרכיב מרכזי בהפיכת החלבונים שאינם מן החי לנגישים ולברי השגה, כאשר הצלחתם תלויה במסגרת רגולטורית ופיננסית תומכת.

### קידום ההסתמכות העצמית של חלבון מן הצומח

הרחבת הגידול המקומי של חלבונים מן הצומח, ובפרט של קטניות, חיונית להפחתת התלות בייבוא ולקידום הקיימות באמצעות הפחתת ההישענות על חלבונים מן החי. תמיכה בטכניקות חקלאיות מתקדמות, עידוד המחקר והענקת תמריצים יכולים לשפר את הייצור ולחזק את ביטחון המזון. שילוב אסטרטגיות גידול וטיפוח זנים יכול להגדיל את ייצור הקטניות, ובכך לקדם את ההסתמכות העצמית של חלבון מן הצומח, ביטחון מזון, וחקלאות בת קיימא בישראל.

## מסקנות והמלצות

### מסקנות

על מנת להבטיח ביטחון מזון בישראל 2050, ישנה חשיבות עליונה להפחתת התלות בחלבונים מן חי. לשם כך, יש להרחיב את המגוון התזונתי באמצעות חלבונים מן הצומח וחלבונים אלטרנטיביים, במטרה לצמצם את צריכת הבשר בקרב צרכנים כבדים. התפתחויות טכנולוגיות והעלאת הנכונות והקבלה של הצרכנים מהווים הזדמנויות לשילוב חלבונים אלה באסטרטגיה הלאומית.

הצעדים המרכזיים הנדרשים כוללים השקעה בייצור חלבונים מן הצומח וחלבונים אלטרנטיביים, קידום גידול מקומי של קטניות, תמיכה בסטרטאפים חדשניים, ופיתוח מסגרת רגולטורית ופיננסית תומכת. מעמדה של ישראל כמובילה בטכנולוגיות של חלבון שאינו מן החי מהווה מרכיב מרכזי בהתמודדות עם אתגרי ביטחון המזון העולמי, שינויי האקלים ומחסור במשאבים, תוך ביסוסה של מדינת ישראל כמובילה גלובלית בפתרונות של חלבון בני-קיימא.

### המלצות

#### לפתח אסטרטגיה לאומית לגיוון מקורות החלבון

- להקצות תקציבים עבור תוכניות לשילוב חלבונים שאינם מן החי במערכת המזון של ישראל, תוך התמקדות בצמצום צריכת חלבון מן החי ל-20%-40% מסך צריכת החלבון עד שנת 2050.
- לקדם תזונה מבוססת חלבון מן הצומח, בהתאם לדיאטה הים-תיכונית וליעדי הקיימות, באמצעות קמפיינים להעלאת המודעות הציבורית.

#### לעודד גידול מקומי של קטניות

- לפתח תמריצים כלכליים, כגון סובסידיות ותוכניות רכש מובטחות, לעידוד החקלאים לגדל קטניות.
- להשקיע בתוכניות השבחה לשיפור היבול, עמידות לבצורת, ותכונות תזונתיות של גידולי הקטניות המתאימים לאקלים הצחיח-למחצה של ישראל.

#### לחזק את המחקר והפיתוח (מו"פ)

- מימון מו"פ של יבולים עמידים לאקלים ולמזיקים, ומו"פ של טכנולוגיות עיבוד מתקדמות לשיפור הייצור של חלבון מן הצומח.
- המשך פיתוח של טכנולוגיות חלבון שאינו מן החי, תוך התמקדות בשיפור המרקם, הטעם והערך התזונתי.

### תמיכה בסטרטאפים ובחדשנות

- הגדלת המימון לסטרטאפים חדשים העוסקים בחלבונים חדשים שאינם מן החי, תוך התמקדות בטכנולוגיות המציעות פתרונות לתחליפים כגון תסיסה מדויקת (precision fermentation), תפטיר ופטטריות (mycelium and fungi), אצות (algae), בשר ודגים מתורבתים (cultivated), חלבונים צמחיים מעובדים (processed plant-based proteins) וחרקים (insects).
- לאפשר גישה לתשתיות משותפות, מתקני בדיקה, ומרכזי מו"פ במטרה להוזיל את עלויות התפעול של הסטרטאפים.

### השקעה בהרחבת והגדלת מתקני הייצור ובמו"פ

- להקצות לפחות 2 מיליארד דולר לפיתוח מתקני ייצור עבור בשר מתורבת, תחליפי ביצים, עוף ודגים, וכן יותר מ-600 מיליון דולר לפיתוח תחליפי חלבון לחלב ומוצרים.
- לתעדף מימון למתקני ייצור חדשניים ראשונים מסוגם (FOAK) במטרה להתמודד עם אתגרי ההיקף התעשייתי, באמצעות מענקים, הלוואות בריבית נמוכה, תמריצי מס וסובסידיות.
- להקצות 100-200 מיליון דולר בשנה לתשתיות מו"פ, מתקני ייצור אב טיפוס, שותפויות ציבוריות-פרטיות ופיתוח שווקים.

### רגולציה ותמיכה בשוק

- להקצות משאבים לייעול תהליכי הרגולציה עבור מוצרים מבוססי חלבון שאינם מן החי, על מנת להקל על כניסתם לשוק.
- להשתמש ברכש ציבורי ובהסכמי רכישה מחייבים כדי לספק ודאות בהכנסות ליצרנים ולעודד אימוץ מוקדם של המוצרים.

### עידוד השקעות זרות ושיתופי פעולה בינלאומיים

- הקצאת תקציבים ליוזמות שמטרתן למשוך השקעות זרות על ידי הצגת מעמדה של ישראל כמובילה בתחום החלבון שאינם מן החי.
- חיזוק שותפויות עם ספקים גלובליים של חומרי גלם.

## 2. הקדמה

חלבונים אלטרנטיביים מתייחסים למקורות חלבון חדשניים שנועדו להחליף חלבונים מסורתיים מהחי, כגון חלבונים מיקרוביאליים (microbial), חלבונים מבוססי חרקים, חלבונים מבוססי תאים, חלבונים מבוססי צומח ופטרייתיים<sup>2</sup>. מדינות וארגונים שונים מגדירים ומסדירים אותם בהתאם לעדיפויותיהם בתחומי הסביבה, הבריאות וביטחון המזון.

ארגונים עולמיים תומכים בפיתוח ואימוץ של חלבונים אלטרנטיביים במטרה לחזק את ביטחון המזון, הקיימות והבריאות, תוך התייחסות להיבטים כלכליים ורגולטוריים. על פי ארגון המזון והחקלאות של האו"ם (FAO)<sup>3</sup>, קיים עניין גובר בפיתוח חלבונים אלטרנטיביים כדי לתת מענה לצרכים הגלובליים של ביטחון מזון. חלבונים אלה כוללים חלבונים שמקורם בחרקים, באצות, וחלבונים מן הצומח, כמו גם בשר הגדל במעבדה. חלופות אלו עשויות להפחית את התלות בגידול מסורתי של בעלי חיים, אשר כרוך בהשפעות סביבתיות משמעותיות. מקורות מזון חדשים ומערכות ייצור חדשניות נועדו לשפר את הקיימות, לצמצם את ההשפעה הסביבתית (כגון חקלאות ורטיקלית וחקלאות מדייקת), ולשפר את ביטחון המזון בעולם גדל ההולך ומשתנה. גם הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי (OECD) בוחן היבטים שונים של המעבר מצריכת בשר מסורתי למקורות חלבון אלטרנטיביים. במסמך מדיניות שפרסם הארגון<sup>4</sup>, אשר מספק סקירה מקיפה של היתרונות והאתגרים הפוטנציאליים הקשורים לחלופות לחלבון מבשר (כגון חלבונים מן הצומח, בשר מתורבת, וחלבוני חרקים), הוצעו המלצות מדיניות שיסייעו בקידום אימוצם של חלבונים אלה. בין המלצות ניתן למנות: תמיכה במחקר וחדשנות, השקעה במו"פ, קידום שיתופי פעולה בין מוסדות מחקר ציבוריים, חברות פרטיות ואקדמיה, קביעת מסגרות רגולטוריות ברורות ועקביות לייצור ולסימון של חלבונים אלטרנטיביים, הקלה על הגישה לשווקים, הגברת המודעות הצרכנית וקידום קבלתם של חלבונים אלה, וכן הענקת תמריצים כלכליים כגון סובסידיות, מענקים או הקלות מס לתמיכה בסטרטאפים ולייצר מעורבות של חברות העוסקות בייצור חלבונים אלטרנטיביים.

נכון לחודש ספטמבר 2024<sup>5</sup>, פעלו בישראל 72 חברות סטרטאפ העוסקות בפיתוח או בייצור חלבונים אלטרנטיביים, עם גיוס מימון מצטבר בסך של 1.35 מיליארד דולר. מרבית החברות (64%) הוקמו במהלך חמש השנים האחרונות ונמצאות בשלבים מוקדמים של גיוס הון (71%)<sup>6</sup> (איור 1).

<sup>2</sup> FAO (2024). [Alternative proteins top the bill for the latest FAO–International Sustainable Bioeconomy Working Group webinar](#).

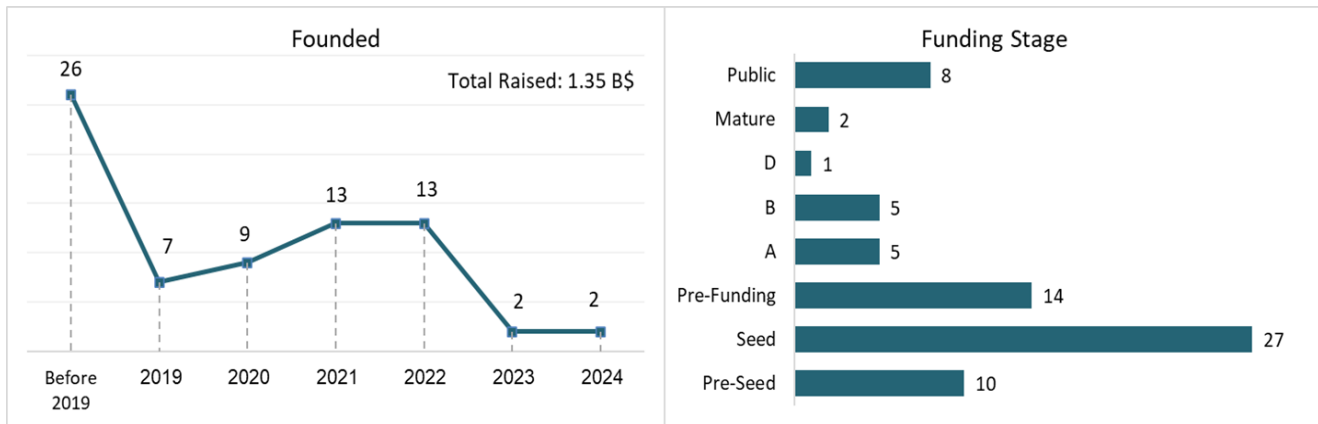
<sup>3</sup> FAO (2022). Preliminary Pages. Chapter 4: [New food sources and food production systems](#).

<sup>4</sup> OECD (2022). [Meat protein alternatives](#)- Policy paper.

<sup>5</sup> Startup Nation Finder. Accessed Sep. 2024.

<sup>6</sup> Early funding stages: pre-seed, seed, pre-funding

איור 1: סטרטאפים בתחום החלבונים האלטרנטיביים בישראל



מקור: עיבוד של מוסד שמואל נאמן לנתוני Startup Nation Finder (ספטמבר 2024).

## 2.1 ההשפעה הסביבתית של חלבונים אלטרנטיביים לעומת חלבונים קונבנציונליים

חלבונים אלטרנטיביים, כולל בשר מתורבת ותחליפי חלבון מן הצומח, נחשבים חדשניים ובעלי פוטנציאל להפחתת ההשפעה הסביבתית של ייצור המזון. מחקרים השוואתיים שונים בוחנים את ההשלכות הסביבתיות של ייצור חלבונים אלו בהשוואה לחלבונים מן החי, כגון בקר, עוף ודגים. ההערכות מתמקדות במספר פרמטרים מרכזיים כגון שימוש בקרקע, צריכת מים, פליטות גזי חממה וצריכת אנרגיה.

השוואת טביעת הרגל הסביבתית של חלבונים ממקורות שונים (קונבנציונליים ואלטרנטיביים), המוצגת בטבלה 1, חושפת הבדלים משמעותיים בין חלבונים מן החי, חלבונים מן הצומח וחלבונים אלטרנטיביים. מאחר שייצור בשר מתורבת בקנה מידה תעשייתי עדיין כמעט ואינו קיים, ניתוח מחזור החיים (LCA- Life Cycle Assessment) בספרות מבוסס במידה רבה על נתונים היפותטיים ותרחישים שונים, הנעים בין התחזיות הפסימיות ביותר לאופטימיות ביותר (Tuomisto and de Mattos, 2011).

מחקרים שבדקו את ההשפעה הסביבתית של מזון בסינגפור<sup>7</sup> הראו כי ייבוא מזון דרך הים ממדינות המשתמשות במקורות אנרגיה נקיים יותר עשוי להפחית את פליטת גזי החממה (GHG). בישראל, למעלה מ-90% מהדגים הנצרכים מיובאים, כאשר מרביתם מובלים בדרך הים. גורם זה ראוי לבחינה מעמיקה בעת הערכת ההשפעה הסביבתית של ייבוא המזון.

<sup>7</sup> Deloitte. (October 2019). [Environmental Impact Food in Singapore](#).

טבלה 1: השוואת ההשפעה הסביבתית של מקורות חלבון מן החי, מן הצומח וחלבונים אלטרנטיביים (נתונים ממוצעים)

Category	Energy (Non-renewable) MJ / kg product	Energy (renewable and non-renewable kWh per kg of food)	Water Use (m <sup>3</sup> / kg product)	Land Use (m <sup>2</sup> / 100 g protein)	Greenhouse Gas Emissions (kg CO <sub>2</sub> / 100 g protein)	Reference
Beef	57.5	42.6	387.5	204.75	53.17	Malilla et al. 2024, Tuomisto and de Mattos 2011, Santo PE. (2020)
Lamb		32.8	154	185	20	Malilla et al. 2024
Poultry	17.5	23.0	368	6.55	5.42	Malilla et al. 2024, Tuomisto and de Mattos 2011
Fish		30.3	267	2.18	5.82	Malilla et al. 2024, Santo PE. 2020
Plant Protein (Legumes, Grains, Nuts)			3.73	4	1.05	Heusala et al. a (2020), Heusala et al. b (2020), Fresán et al., 2019
Plant-based Protein Substitutes (Plant-based burgers, nuggets, tofu)			0.15	1.85	1.58	Santo PE. 2020, Goldstein et al., 2017, Seves et al. (2017), Santo PE. 2020
Insect-based Substitutes (Mealworm larvae, locusts, bee larvae)	17.57		2.89	1.4	0.32	Malilla et al. 2024, Ulmer et al., 2020, Smetana et al. 2023, Malilla et al. 2024
Fermentation (Microprotein, lignocellulosic-mycoprotein, Trichoderma reesei)	63.8		5.39	1.83	6.55	Santo PE. (2020), Upcraft et al., (2021), Järviö et al. 2021, Smetana et al. (2015, 2018)
Cultivated Meat (Cyanobacteria, Wheat, corn, soy, and glucose)	289.1-331.85		0.91	0.25-1.35	1.58-9.35	Smetana et al. (2015), Tuomisto et al. (2014) Tuomisto et al. (2014), Sinke et al., 2023, Mattick et al. (2015)

מקור החלבון הטוב ביותר מנקודת מבט סביבתית  
מקור החלבון הגרוע ביותר מנקודת מבט סביבתית

### 2.1.1 מדדים להערכת ההשפעה הסביבתית:

#### פליטת גזי חממה (Greenhouse Gas Emissions-GHG)

מקורות חלבון קונבנציונליים מן החי מציגים את פליטות גזי החממה הגבוהות ביותר. לדוגמה, בשר בקר פולט בין 17.3 ל-89.03 ק"ג של CO<sub>2</sub> לכל 100 גרם חלבון, ואילו בשר כבש פולט כ-20 ק"ג CO<sub>2</sub> לכל 100 גרם חלבון (Malilla et al., 2024). לעומת זאת, חלבונים מן הצומח, כולל קטניות, דגנים ואגוזים, מייצרים פליטות גזי חממה נמוכות בהרבה, בטווח של 0.2 עד 2.1 ק"ג CO<sub>2</sub> לכל 100 גרם חלבון (Heusala et al., 2020). תחליפים מבוססים חלבון מן הצומח, כגון המבורגר צמחי או טופו, מציגים

פליטות מעט גבוהות יותר, בין 0.25 ל-6.15 ק"ג CO<sub>2</sub> לכל 100 גרם חלבון (Santo PE., 2020). חלבונים שמקורם בחרקים, כגון ארבה וזחלים, מציגים את רמות הפליטה הנמוכות ביותר, כ-0.3 ק"ג CO<sub>2</sub> לכל 100 גרם חלבון (Malilla et al., 2024). פליטות גזי החממה מבשר מתורבת משתנות בהתאם למקור ההזנה. כאשר נעשה שימוש באצות כחוליות (cyanobacteria) לגידול תאים, פליטות גזי החממה הן הגבוהות ביותר, בטווח של 9.2-9.5 ק"ג CO<sub>2</sub> לכל 100 גרם חלבון (Smetana et al., 2015). לעומת זאת, מקורות הזנה מבוססי תירס, חיטה וסויה מראים פליטות נמוכות משמעותית, בטווח של בין 1.2 עד 2.47 ק"ג CO<sub>2</sub> לכל 100 גרם חלבון (Tuomisto et al., 2014).

## שימוש בקרקע

שימוש בקרקע הוא פרמטר נוסף שבו לחלבונים אלטרנטיביים יש יתרון על פני חלבונים מן החי. גידול בקר, למשל, מצריך שטחי מרעה נרחבים במיוחד – בין 41.5 ל-368 מטרים רבועים לכל 100 גרם חלבון, בעוד שגידול כבשים דורש כ-185 מטרים רבועים. לעומת זאת, גידול עופות מצריך שטחים קטנים יחסית, בטווח של בין 1.9 עד 9 מטרים רבועים לכל 100 גרם חלבון (Malilla et al., 2024). ייצור חלבון מן הצומח דורש בין 1.4 ל-7.9 מטרים רבועים של אדמה לכל 100 גרם חלבון (Heusala et al., 2020), בעוד שתעשיית תחליפי חלבון מן הצומח צריכים בין 1 ל-3 מטרים רבועים לכל 100 גרם חלבון (Santo PE., 2020). ייצור חלבון מחרקים מצריך רק כ-1.4 מטרים רבועים לכל 100 גרם חלבון (Malilla et al., 2024). לבשר המתורבת הדרישה הנמוכה ביותר לשטחי קרקע, בין 0.2 ל-1.5 מטרים רבועים לכל 100 גרם חלבון (Tuomisto et al., 2014), למעט מקרים בהם נעשה שימוש בסויה כמקור הזנה לתאים, ועלול לדרוש עד 11.5 מטרים רבועים בתרחישים קיצוניים (Mattick et al., 2015).

## שימוש במים

ביחס לצריכת מים כחולים (Blue Water), חלבון מן החי דורש את ההשקעה הגבוהה ביותר, כאשר גידול עופות מצריך כ-136 מטרים מעוקבים של מים לכל קילוגרם מוצר, בעוד שגידול בקר דורש כ-530 מטרים מעוקבים לכל קילוגרם. כבשים מצריכים כ-154 מטרים מעוקבים, ואילו חקלאות ימית (גידול דגים) דורשת בין 246 ל-288 מטרים מעוקבים לכל קילוגרם מוצר (Malilla et al., 2024). ייצור חלבון מן הצומח וחלבון מבוסס תסיסה מצריך בממוצע בין 3 ל-6 מטרים מעוקבים של מים לכל קילוגרם מוצר (Heusala et al., 2020), בעוד שבשר מתורבת דורש את כמות המים הנמוכה ביותר - פחות ממטר מעוקב אחד לכל קילוגרם מוצר (Tuomisto et al., 2014).

## צריכת אנרגיה

כאשר מחשבים את צריכת האנרגיה הקונבנציונלית הנדרשת לייצור בשר מתורבת, עולה כי שיטה זו דורשת יותר אנרגיה מכל מקור אחר - 290.7-373 MJ לכל קילוגרם מוצר, נתון גבוה משמעותית מהאנרגיה הנדרשת לגידול בקר, אשר נעה בין 50 ל-65 MJ לכל קילוגרם מוצר. תחליפי חלבון מן הצומח, עופות, חרקים וחלבון מבוסס תסיסה דורשים בין 70 ל-181 MJ לכל קילוגרם מוצר (Malilla et al., 2024). חלק משמעותי, עד 75%, מעלות האנרגיה בייצור בשר מתורבת מיוחס לקירור הנדרש במהלך התרבות התאים בביו-ריאקטורים, מאחר שתהליך הצמיחה התאית מייצר חום רב. ישנם מחקרים המציעים כי דגים מתורבתים עשויים להיות יותר בני-קיימא בהשוואה לצורות אחרות של בשר מתורבת (כגון בשר טחון או בקר), מאחר ששורות תאי דגים (cell lines) נוטות לגדול בקלות רבה יותר, בעלות זמני הכפלה מהירים יותר, יש יותר שורות תאים יציבות יותר, וצורכות פחות חמצן. בנוסף, שורות תאים של מינים ימיים דורשים לרוב פחות אנרגיה בהשוואה למינים יבשתיים, שכן הם יכולים לגדול



בטמפרטורות נמוכות יותר ( 15-30°C לעומת 37°C ) ( Vural Gursel, I., Sturme, M., Hugenholtz, J., & Bruins, M., 2022 ). עם זאת, יתרון זה מתמעט כאשר הקירור הופך לגורם העיקרי בצריכת האנרגיה.

## מסקנה

לחלבונים מן הצומח, וגם לתחליפים מבוססי צמחים וחלבונים ממקור חרקים, טביעת רגל סביבתית נמוכה משמעותית בהשוואה לחלבונים קונבנציונליים מן החי. למרות שלבשר מתורבת יש יתרונות מבחינת שימוש בקרקע ובמים, הדרישה הגבוהה לאנרגיה עשויה להוות אתגר ליישומי המסחרי הרחב. באופן כללי, חלבונים חדשים שאינם מן החי מציעים יתרונות סביבתיים משמעותיים, למרות הדרישות האנרגטיות הכרוכות בתהליכי תסיסה וגידול תאים. המחקר והפיתוח המתמשכים בתחום זה טומנים בחובם פוטנציאל לאופטימיזציה של התהליכים הן מבחינה כלכלית והן מבחינה סביבתית. עם השיפור הצפוי בעילות האנרגטית, כניסתם של מוצרים אלה לשוק צפויה לחזק עוד יותר את תרומתם החיובית לסביבה. חשוב מכך, מנקודת מבט של עצמאות תזונתית, טכנולוגיות חלבון מתורבת צפויות לתרום לצמצום ייבוא המזון לבעלי חיים לישראל.

## 2.2 מטרת המחקר

ניתוח תפקידו של חלבון שאינו מהחי בהקשר של ביטחון מזון בישראל 2050 ויצירת מפת דרכים וצעדים מרכזיים עבור המדינה והמגזר הפרטי שיפעלו כדי להשיג מטרה זו.

## 2.3 שיטת המחקר



שיטת המחקר תתבסס על איסוף וניתוח נתונים הנוגעים לצרכים התזונתיים ולמקורות המזון של אוכלוסיית ישראל, תוך התמקדות מיוחדת במקורות החלבון. הניתוח יכלול היבטים כגון ייצור, ייבוא, שרשראות אספקה, אקלים והשלכות בריאותיות. תהליך הניתוח ילווה בסדרת התייעצויות בפורומים אד-הוק של מומחי תוכן בנושאים ייחודיים כגון בריאות הציבור, חקלאות, שרשרת האספקה, תעשייה, חדשנות, חינוך, כלכלה התנהגותית, בזבז מזון ועוד.

תהליך זה ישמש לפיתוח העקרונות למדיניות ביטחון המזון של ישראל לשנת 2050 והנוגע החלבון בר-קיימא.

### 2.3.1 תהליך העבודה

#### הצגת תחזית מבוססת נתונים לביקוש לחלבון בישראל בשנת 2050

- הגדרת "הצלחת הישראלית הבריאה והמקיימת בשנת 2050". הגדרת צלחת ישראלית בת קיימא ומזינה לשנת 2050 מחייבת שימוש במערכת מקיפה של מדדים המבוססים על המלצות שניתנו על ידי גופים מכובדים, כגון משרד הבריאות של ישראל, ועדת EAT-Lancet, הספרייה הלאומית לרפואה - NIH, ומוסדות דומים. מאמץ זה יעוצב בקפידה כך שישקף את הנטיות התרבותיות והקולינריות של המדינה, תוך קידום פרקטיקות מקיימות בחקלאות המקומית. בנוסף, הוא שוקל באופן מושכל את החשיבות הנדרשת לעמידה בצרכים התזונתיים של חלבון. **מכיוון שמשרד הבריאות הישראלי התקדם באופן משמעותי, נסתמך על המלצותיו, שכן סביר להניח שיאומצו על ידי גופים מקומיים נוספים.**
- חישוב סך החלבון הנדרש עבור צלחת זו. סך החלבון הנדרש עבור הצלחת כולל הן את הדרישה הבסיסית לתזונה הישראלית והן את מקורות החלבון הספציפיים. חישוב זה כולל חלבון שמקורו בחקלאות 'מסורתית' מקומית וכן מוצרים מיובאים, כגון עוף, בקר, בשר הודו, דגים, מוצרי חלב וקטניות. במסגרת זו, נתמקד בתחומים שבהם חלבון שאינו מן החי עשוי להוות חלופה לחלבון שמקורו מן החי.

#### זיהוי מקורות חלבון פוטנציאליים, חלופות ותפקידים אפשריים לחלבון שאינו מן חי

- ניתוח מקורות אפשריים לחלבון כחלק מצלחת זו. מתבצע ניתוח להערכת תרומתם של מקורות חלבון הן מייצור מקומי והן מייבוא, תוך פירוט מקורותיהם השונים. במסגרת בחינה זו, נבדקת גם האפשרות לשלב מקורות חלבון שאינו מן חי כתחליף או כתוספת לחלבון המתקבל מייבוא או מפרקטיקות חקלאיות שאינן מקיימות, אשר אינן עולות בקנה אחד עם יעדי האקלים או עם ההמלצות התזונתיות.
- גיבוש חלופות לאספקה (גידול מקומי, ייבוא, חלופות ושיטות קונבנציונליות). הערכת חלופות לאספקת חלבון תתבסס על ניתוח מקיף בארבעה ממדים של מקורות חלבון: גידול מקומי לעומת ייבוא, ייצור קונבנציונלי לעומת שיטות אלטרנטיביות. בנוסף, נשתמש בתחזיות על אימוץ חלבון שאינו מן החי על ידי הצרכנים, על מנת להעריך את הפוטנציאל של מקורות אלו בהפחתת התלות של ישראל במקורות חלבון מן החי.

## קביעת מפת דרכים, אבני דרך ומדדי ביצוע עבור חלבון שאינו מן החי במסגרת ביטחון המזון של ישראל 2050

- קביעת מדדי ביצוע ואבני דרך למימוש החלופה. על מנת להעריך ביצועים ולהתקדם באופן מדויק, יוגדרו מדדי ביצוע מבוססי זמן וכן אבני דרך להשגת היעדים. זאת באמצעות הערכת אספקת החלבון (מסורתי ואלטרנטיבי). בנוסף, יילקחו בחשבון ציפיות האוכלוסייה והעדפות תרבותיות. אבני הדרך ומדדי הביצוע יגובשו עבור המגזר הציבורי, לצד הזדמנויות והמלצות עבור המגזר הפרטי.

### 2.3.2 כלי המחקר

#### סקירת ספרות:

- תיאור הרכב צלחת המזון הישראלית לשנת 2050 והמגוון הרחב של מקורות החלבון הכלולים בה.
- תוכניות קיימות הקשורות לביטחון מזון ולחלבון שאינו מן החי, הן בישראל והן בזירה הבינלאומית.
- סקירת הספרות ואיסוף הנתונים יתבצעו תוך שימוש במקורות גלויים (OSINT- Open-source Intelligence), בעיקר ממקורות פומביים וכן ממאגרי מידע ייחודיים הזמינים למוסד שמואל נאמן. מקורות מידע ברמה המדינתית יילקחו מאתרי ממשלה רלוונטיים, כגון משרדי הבריאות, הרווחה והגנת הסביבה, וכן ממרכזי מידע נוספים כגון הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ומרכז המחקר והמידע של הכנסת (ממ"מ). בנוסף, לאיתור מחקרים ודוחות בתחום, ייעשה שימוש במאגרי מידע של מוסדות וארגונים בינלאומיים, בהם מאגר דוחות של מוסד שמואל נאמן, OECD, AET, FAO, UNESCO ועוד.

#### ניתוח נתונים והערכה:

- ניתוח מקורות החלבון בצלחת המזון הישראלית.
- ביצוע הערכה כמותית של צרכי החלבון עבור צלחת המזון הישראלית, תוך התאמה לצפי גידול האוכלוסייה בישראל, בהתחשב בגורמים מספריים, סוציו-אקונומיים, תרבותיים, וגורמים רלוונטיים נוספים.
- הערכת המצב הנוכחי של מקורות החלבון בהשוואה לתרחיש היעד לשנת 2050.
- ניתוח היכולת להתמודד עם פערים בממדים שונים:
  - ייצור חומרי גלם מקומיים באמצעות שיטות מגוונות הכוללות חקלאות, תסיסה ותהליכים תאיים.
  - התאמת תחזיות להשפעת שינויי האקלים הצפויים באזורנו.
  - המשך תלות ביבוא של חומרים מוגמרים, חומרי גלם למוצרים, וחומרים לתעשיות חלופיות.

## פורום מומחים:

- יתקיים פורום מומחים לדיון בבעיות ובאסטרטגיות הפעולה הנדרשות להבטחת ביטחון מזון בהקשר של חלבון בר-קיימא.
- ייערכו סדרת התייעצויות במסגרת פורומים ייעודיים של מומחים בתחומים ספציפיים, כגון בריאות הציבור, חקלאות, שרשרת אספקה, תעשייה, חדשנות, חינוך, כלכלה התנהגותית, בזבז מזון ועוד.

## שאלון מומחים:

- שאלון אישי מובנה עם מומחים בתחום החלבונים החדשים שאינם מן החי. השאלון יכלול שאלות הנוגעות לשוק הישראלי בנושאים הבאים: טכנולוגיות ייצור, משך פיתוח, אתגרי שרשרת האספקה, אתגרי תשתית ייצור, חומרי גלם לייצור חלבון שאינם מן החי, חסמים ואתגרים רגולטוריים, תמיכה בסטארט-אפים, היתכנות כלכלית, תפיסת הצרכנים, סוגיות בריאותיות, מגמות גלובליות לעומת מקומיות, פוטנציאל שוק ושיקולים תרבותיים.

## הגדרה והמלצות:

- פיתוח תוכניות אסטרטגיות להכוונת ישראל לעבר השגת ביטחון מזון בתחום החלבון עד שנת 2050.
  - ניתוח השוואתי של תוכניות נוכחיות.
  - גיבוש המלצות ראשוניות לצמצום הפערים שזוהו.
- באמצעות מתודולוגיה זו, המחקר שואף לבסס את ההיגיון העומד בבסיסו, לפיו התמודדות עם סוגיית בטחון המזון וניתוח תפקידו של חלבון שאינם מן החי בהקשר זה מחייבים גישה רב-ממדית, תכנון אסטרטגי ארוך טווח והתחשבות מקיפה במגוון רחב של גורמים.

## 3. הגדרות לחלבון אלטרנטיבי

בפרק זה נבחן את ההגדרות השונות של חלבונים אלטרנטיביים כפי שהן מוצגות על ידי מדינות וארגונים שונים. הגדרות אלו מדגישות נקודות מבט מגוונות בנוגע לתרומתם האפשרית של חלבונים אלטרנטיביים להתמודדות עם אתגרי ביטחון מזון עתידיים ולהשגת יעדי הקיימות.

על פי מפת הדרכים לחדשנות של בריטניה<sup>8</sup>, חלבונים אלטרנטיביים הם חלבונים המופקים ממקורות בעלי השפעה סביבתית נמוכה, במטרה להשלים את מקורות החלבון מן החי או להציע להם חלופות, בהתאם ל-13 מתוך 17 היעדים לפיתוח בר-קיימא (SDGs) של האו"ם, ובכך ליצור הזדמנויות חדשניות מבטיחות.

עם זאת, בדוח שהוכן בשנת 2022 עבור הרשות לתקני המזון של בריטניה (UK Food Standards Agency)<sup>9</sup>, צוין כי היקף ההשפעה הסביבתית של רוב החלבונים האלטרנטיביים עדיין אינו מוגדר במלואו. הדוח מציע כי למרות שלחלבונים האלטרנטיביים יש יתרונות בהשוואה לייצור בקר ומוצרי חלב מבחינת פליטת מתאן, שימוש בקרקע ואיטרופיקציה (eutrophication), אין לראות בהם ברי-קיימא במונחים של היעדים לפיתוח בר-קיימא (SDGs).

על פי הרשות לבטיחות המזון של סינגפור (Singapore's Food Safety Authority<sup>10</sup>), חלבונים אלטרנטיביים מתייחסים לחלבונים שאינם מופקים מן החי. חלק מהחלבונים האלטרנטיביים המבוססים על סויה או חיטה הם חלק מתרבות המזון במדינה. צורות אחרות של חלבונים אלטרנטיביים, כגון בשר מתורבת, סוגים מסוימים של אצות, מיקרו-חלבון (mycoprotein) וחרקים, מייצגים מקורות חלבון חדשים במדינה ומפותחים באמצעות טכנולוגיות חדשניות. חלבונים אלו מסווגים כ"מזון חדשני" ונמצאים תחת תקנים רגולטוריים מחמירים יותר.

על פי ארגון המזון והתזונה השווייצרי (SFNV-Swiss Food & Nutrition Valley<sup>11</sup>), המונח "חלבונים בני-קיימא" מתייחס לייצור מקורות חדשים של חלבון. מקורות אלו עשויים לכלול מזון מבוסס תאים, צמחים עשירים בחלבון, וכן תפטיר (mycelium), אצות ומיקרואורגניזמים. בנוסף, גישות חדשות בתחום גידול הבקר והחלב המסורתי מציעות גם הן הזדמנויות משמעותיות להפחתת ההשפעה הסביבתית שלנו.

בעוד שחלבונים אלטרנטיביים, כגון בשר מתורבת, תחליפים מהצומח וחרקים, מוצגים לעיתים קרובות כפתרונות ברי-קיימא לאתגרים הסביבתיים הנובעים מצריכת בשר מסורתית, הקיימות שלהם אינה מובטחת. מחקרים מצביעים על כך שמקורות חלבון חדשניים אלו דורשים לעיתים קרובות עיבוד נרחב ושינויים משמעותיים, אשר עלולים לגרום לאי-יעילות בשימוש במשאבים ולצמצום היתרונות הסביבתיים הצפויים. לעומת זאת, מקורות חלבון קיימים, כגון קטניות, אשר דורשים עיבוד מזערי, מציגים את היתרונות הגבוהים ביותר מבחינת קיימות<sup>12</sup>. עם זאת, הקטניות סובלות לעיתים מתדמית שלילית ומהיעדר עניין ציבורי בהשוואה לחלופות עתירות-טכנולוגיה. מצב זה מדגיש את הצורך בשינוי תרבותי של העדפות הצרכן, תוך עידוד מודעות לחשיבותם האמיתית של שיקולי קיימות בבחירת המזון. בסופו של דבר, חיוני לבחון באופן ביקורתי את הנרטיבים השיווקיים סביב חלבונים אלטרנטיביים, על

<sup>8</sup> "Proteins: Identifying UK priorities - A roadmap for the future of the alternative protein sector in the UK", June 2022, Innovate UK

<sup>9</sup> [Alternative Proteins for Human Consumption](#). The Food Standard Agency June 8, 2022.

<sup>10</sup> [Factsheet on alternative proteins](#), 2024, Singapore Food Agency

<sup>11</sup> <https://swissfoodnutritionvalley.com/impact-platforms/sustainable-proteins/>

<sup>12</sup> Niraja Chopadem, [Alternative proteins: the future of sustainable consumption?](#) 2021. Yale Environment Review

מנת להימנע מהעדפת חלופות עתירות משאבים על חשבון מקורות חלבון שהם באמת ברי-קיימא, כדוגמת קטניות (Van der Weele et al., 2019).

על פי הסוכנות ההולנדית להשקעות זרות<sup>13</sup> (NFIA - Netherlands Foreign Investment Agency), יחידה תפעולית במשרד ההולנדי לעניינים כלכליים), חלבונים אלטרנטיביים מוגדרים כ"מקורות עשירים בחלבון, מרכיבים, תוצרי ביניים או מוצרים סופיים שיכולים לשמש כתחליפים לבשר, חלב, דגים וביצים". הם מגדירים שלוש קטגוריות עיקריות של חלבונים אלטרנטיביים לצריכת אדם: 1. חלבונים שמקורם ביבשה או בים, כולל חלבונים מהצומח (שעועית, קטניות, אגוזים, דגנים) ואצות; 2. חלבונים מיקרוביאליים (Microbials), לרבות פטריות (mycoprotein), אצות וחקלאות תאית (בשר וחלב מתורבתים); 3. חלבונים מבוססי חרקים.

**מאחר שלמונח "חלבון אלטרנטיבי" קיימות הגדרות שונות ומגוונות, אנו משתמשים בדוח זה במונח "חלבון חדש שאינו מן החי", על מנת לפשט את ההבחנה.**

---

<sup>13</sup> The Netherlands Foreign Investment Agency (NFIA). (2022). [Future Protein NL](#).

## 4. מדיניות בעולם

המגמה הגלובלית לעבר חלבונים שאינם מן החי זוכה לתשומת לב גוברת, כאשר מדינות מחפשות פתרונות ברי-קיימא להתמודדות עם ביטחון מזון, סוגיות סביבתיות ואתגרים הקשורים לבריאות הציבור. ממקורות חלבון מן הצומח ועד לבשר מתורבת ואלטרנטיבות נוספות, מדינות ברחבי העולם בוחנות אסטרטגיות שונות לצמצום התלות בחקלאות המסורתית מן החי. טבלה 2 מציגה דוגמאות לגישות שאומצו על ידי מדינות שונות, תוך הדגשת תוכניות פעולה, רגולציות והשקעות בחלבונים שאינם מן החי.

טבלה 2: פעילות במדינות נבחרות הנוגעת לחלבונים שאינם מן החי

Country	Action Plan and Regulation	Investments	Types of non-animal Protein (plant and alternative)
<b>Denmark</b> <sup>14, 15</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investment in Plant-based Production</li> <li>Incentives for Farmers to cultivate more plant-based proteins</li> <li>Dietary Guidelines- more plant-based foods</li> <li>Training and Education for Chefs for plant-based meals- integration into Danish cuisine and culture</li> <li>Lower greenhouse gas emissions</li> <li>70% carbon reduction by 2030</li> <li>Climate neutrality by 2045</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Public funding: 224M\$ (by 2023)</li> <li>Funds allocation: DKK16 675M (98M USD<sup>17</sup>) (2023-2030)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plant-based proteins</li> <li>Seaweed</li> <li>BioSolutions (enzymes, proteins, and bacteria development)</li> </ul>
<b>United Kingdom</b> <sup>18, 19</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Focusing on plant-based, fermentation, and novel proteins, such as plant extracts, lab-grown meat, and insect-based proteins</li> <li>Achieving net-zero emissions by 2050 through dietary shifts and sustainable protein sources</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investments: UKRI, BBSRC and Innovate UK<sup>20</sup> £15M (\$19M USD<sup>21</sup>) in new National Alternative Protein Innovation Centre (NAPIC)<sup>22</sup></li> <li>Public funding: 59M\$</li> <li>£12M for Cellular Agriculture Research Hub</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plant proteins (pulses, legumes)</li> <li>Fermentation-based proteins (fungi, algae, lab-cultivated meat)</li> <li>Insect and aquaculture proteins</li> </ul>

<sup>14</sup> Ministry of Food, Agriculture and Fisheries of Denmark. (October 2023). [Danish Action Plan for Plant-based Foods](#).

<sup>15</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)

<sup>16</sup> Exchange rate based on the current market rates for the Danish Krone (DKK) to the US Dollar (USD): approximately 1 DKK = 0.1466 USD

<sup>17</sup> based on an exchange rate: 1 DKK = 0.145 USD

<sup>18</sup> Innovate UK (June 2022). [Alternative Proteins: Identifying UK priorities. A roadmap for the future of the alternative protein sector in the UK](#).

<sup>19</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)

<sup>20</sup> UKRI -The UK Research and Innovation; BBSRC-Biotechnology and Biological Sciences Research Council

<sup>21</sup> Exchange rate based on the current market rates for 1 GBP = 1.30715 USD

<sup>22</sup> UK Research and Innovation (28 Aug. 2024). [National alternative protein innovation centre launches](#). Retrieved in Oct. 2024.

Country	Action Plan and Regulation	Investments	Types of non-animal Protein (plant and alternative)
<b>Canada</b> 23,24,25	<ul style="list-style-type: none"> <li>Market Potential Goals of approximately 10% of the global plant-based food market by 2035, equating to CAD 25B in annual sales</li> <li>A global leader in alternative proteins by 2035</li> <li>Food and Drug Regulations – sales regulatory recommendations</li> <li>2030 and 2050 net-zero targets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Public funding: 303M\$ (by 2023)</li> <li>Capital investments: Over \$260M</li> <li>The goal: generate \$25 billion annually by 2035</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plant-based proteins (a state-of-the art protein processing to produce novel canola and pea protein isolates).</li> <li>Fermentation-based proteins</li> </ul>
<b>Singapore</b> 26,27,28,29	<ul style="list-style-type: none"> <li>A global leader in alternative protein research and regulation with significant government support for both plant-based and cultivated meat industries</li> <li>In 2020 Singapore was the first country to allow the commercial sale of cultivated meat</li> <li>Reducing reliance on imported food and contributing to climate goals by promoting sustainable proteins</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SGD \$165 M (\$117 M) (by 2023)</li> <li>The government supports alternative proteins through R&amp;D initiatives and has made strategic investments in infrastructure such as food innovation facilities and alternative protein labs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plant-based proteins</li> <li>Fermentation-based proteins (fungi and microalgae)</li> <li>Cultivated meat (cell-based meat)</li> </ul>
<b>United States</b> 30,31,32,33	<ul style="list-style-type: none"> <li>FDA and USDA approved cultivated meat products allowing their sale in the U.S. (2023)</li> <li>Lower greenhouse gas emissions, reduced land and water use, biodiversity protection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Public funding: 129M\$ (by 2023)</li> <li>DARPA's \$40M investment in fermentation research and USDA support for precision fermentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cultivated (Cell-based) Meat</li> <li>Plant-based Proteins</li> <li>Fermentation-based Proteins</li> <li>Insect-based Proteins</li> </ul>

<sup>23</sup> Protein Industries Canada (2022). [Five-year strategy](#). 2023-2028.

Government of Canada. (Sep. 2024). [Sector Trend Analysis – Plant-based protein food and drink trends in Canada](#). Retrieved Oct. 2024.

Natural Products Canada (2022). [Game Changers: Canadian Opportunities in Alternative Protein](#).

<sup>24</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)

<sup>25</sup> Government of Canada. (Nov. 2020). [Government of Canada launches consultation on guidelines for simulated meat and poultry products](#). Retrieved Oct. 2024.

<sup>26</sup> The Singapore Economic Development Board (EDB). (Mar 2023). [Where can Singapore take the lead in alternative proteins?](#) Retrieved in Oct. 2024.

[Singapore Government Singapore Food Agency](#).

<sup>27</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)

<sup>28</sup> Pay, C., & Gianoli, A. (2024). Securing the future: Analyzing the protein transition in Singapore. *Cities*, 150, 105072.

<sup>29</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)

<sup>30</sup> Congressional Research Service (Sep. 2023). [Cell-Cultivated Meat: An Overview](#).

<sup>31</sup> Hunter College. (Julu 2023). [Lab-Grown Chicken Approved for Sale in U. S.](#) Accessed in Oct. 2024.

<sup>32</sup> Upside Foods (June 2023). [UPSIDE is approved for sale in the US! Here's what you need to know](#). Accessed in Oct. 2024.

<sup>33</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)



Country	Action Plan and Regulation	Investments	Types of non-animal Protein (plant and alternative)
<b>Netherlands</b> <small>34,35,36</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increasing domestic production of alternative proteins by 50% by 2025</li> <li>Policies to guide the population towards an increasingly plant-based diet (60% plant-based proteins and 40% animal-based).</li> <li>Encouraging Cellular Agriculture by awarding €1M for research</li> <li>July 2023- the first EU country to enable pre-market tastings of cultivated meat and seafood</li> <li>Regulatory frameworks developed for cultivated meat with the European Food Safety Authority (EFSA)</li> <li>Reducing greenhouse gas emissions from livestock production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Government investment in public-private partnerships to promote R&amp;D in alternative proteins: €60 M allocated to develop plant-based and cultivated meat sectors.</li> <li>Public funding: 79M\$</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plant-based proteins (soy, peas)</li> <li>Fermentation-based proteins</li> <li>Cultivated meat (pioneering lab-grown meat industry)</li> </ul>
<b>Australia</b> <small>37,38</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enhancing research, innovation, and industry collaboration</li> <li>Developing regulatory frameworks for cultivated meat to facilitate commercialization</li> <li>Reducing greenhouse gas emissions through the promotion of alternative proteins</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The Australian government, along with industry partners investing in R&amp;D initiatives to boost the alternative protein sector</li> <li>Public funding: 54M\$ (by 2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plant-based proteins (legumes, grains)</li> <li>Fermentation-based proteins (fungi, algae)</li> <li>Cultivated meat (developing regulatory frameworks for production)</li> </ul>

<sup>34</sup> Health Council of the Netherlands (dec. 2023). [A healthy protein transition.](#)

<sup>35</sup> The Netherlands Foreign Investment Agency (NFIA). (2022). [Future Protein NL.](#)

<sup>36</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)

<sup>37</sup> Australia's National science Agency. (2022). [Australia's Protein Roadmap.](#)

<sup>38</sup> GFI. [2023 State of Global Policy Report](#)

## 5. המלצות תזונתיות

הכללת סוגי חלבונים שאינם מן החי בהמלצות תזונתיות משתנה בין מדינות (ובין ארגונים), ומשקפת הרגלי תזונה אזוריים, העדפות תרבותיות, שיקולים סביבתיים והנחיות בריאותיות.

באופן כללי, ההנחיות התזונתיות מדגישות את הצורך בצריכת חלבון ממקורות מגוונים במסגרת תזונה מאוזנת הכוללת את כל אבות המזון (פחמימות, שומנים וחלבונים) כדי לעמוד בצרכים התזונתיים היומיים. מרבית ההנחיות התזונתיות מדגישות את חשיבות צריכת חלבון הן ממקורות מן החי (בשר, עוף, דגים, מוצרי חלב וביצים) והן ממקורות מן הצומח (קטניות, אגוזים, זרעים, דגנים מלאים ותוצריהם).

הדגש הוא על צריכת חלבונים רזים, כגון עוף ודגים, מוצרי חלב דלי שומן וחלבונים מן הצומח, תוך הגבלת צריכת שומנים רוויים. זאת, מתוך התחשבות הן בגורמים סביבתיים ובקיימות והן בהשלכות בריאותיות.

להלן מספר דוגמאות ספציפיות:

טבלה 3: הנחיות תזונתיות

	Source	Protein Recommendations	Emphasized Protein	Nutritional Plate Division	Environmental focus
Canada	Food Guide Plate <sup>39</sup>	Emphasizes plant-based proteins <sup>40</sup> . Specific amounts of plant-based protein are not explicitly outlined	Legumes, nuts, seeds, tofu (plant-based); also includes meat and dairy.	One-quarter whole grains, one-quarter protein foods, half vegetables and fruits.	Shift towards plant-based diets. In 2015, approval of whole algal protein for use <sup>41</sup> .
Germany	German Nutrition Society (DGE) <sup>42</sup>	Advocates for reducing meat consumption. Promotes plant-based proteins; more than ¾ plant-based, just under ¼ animal-based.	Legumes, nuts, seeds, whole grains (plant-based); fish, meat, sausages, eggs.	Graphic circle model divided into seven food groups	Advocates a more plant-based approach for health and sustainability.

<sup>39</sup> <https://food-guide.canada.ca/en/tips-for-healthy-eating/make-healthy-meals-with-the-eat-well-plate/>. released in January 2019. Updated in June 2023. Accessed: July 2024.

<sup>40</sup> <https://food-guide.canada.ca/en/healthy-eating-recommendations/make-it-a-habit-to-eat-vegetables-fruit-whole-grains-and-protein-foods/eat-protein-foods/>

<sup>41</sup> Government of Canada. [Whole Algal Protein to be used as alternative protein source in unstandardized foods](#). Accessed Sep. 2024.

Government of Canada. [Novel Food Information - Whole Algal Protein to be used as alternative protein source in unstandardized foods](#). Accessed Sep. 2024.

<sup>42</sup> [DGE Nutrition Circle](#)

	Source	Protein Recommendations	Emphasized Protein	Nutritional Plate Division	Environmental focus
<b>United States</b>	Dietary Guidelines for Americans (2020-2025) <sup>43</sup>	Encouraging more plant-based protein alongside meat and poultry, less red and processed meat. Plant-based (Nuts, Seeds, Soy Products) recommended: 5 ounces per week (~142 grams) out of 39 ounces protein per week (~1,107 grams)	Beans, peas, lentils, nuts, seeds (plant-based); lean meats, poultry, seafood.	MyPlate <sup>44</sup> : Half plate vegetables and fruits, half grains (whole grains); Dairy not included in the plate but recommended separately	Highlight the benefits of choosing foods that are both healthy and environmentally sustainable.
<b>United Kingdom</b>	The UK's Eatwell Guide <sup>45</sup>	Encourages reduction of red and processed meat; supports plant-based alternatives. Specific amounts of plant-based protein are not explicitly outlined	Beans, pulses, tofu, tempeh, mycoprotein; also includes fish, eggs, meat.	Graphic circle model is divided into five food groups: vegetables and fruits, whole grains, dairy, protein and fats.	Highlighting the importance of considering the environmental impact of food choices
<b>Netherlands</b>	The Netherlands Nutrition Centre's dietary- Wheel of Five <sup>46</sup>	Shifting towards more plant-based proteins encourages a reduction in meat consumption. (58% animal protein, 37% plant protein).	Legumes, nuts, seeds (plant-based); fish, eggs (minor contributions).	Graphic circle model divided into seven food groups	The Wheel takes environmental considerations into account.

<sup>43</sup>DGA. Dietary Guidelines for Americans, 2020-202. <https://www.dietaryguidelines.gov/resources/2020-2025-dietary-guidelines-online-materials>

<sup>44</sup>USDA. What is MyPlate.? <https://www.myplate.gov/eat-healthy/what-is-myplate>

<sup>45</sup> [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ba8a50540f0b605084c9501/Eatwell\\_Guide\\_booklet\\_2018v4.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ba8a50540f0b605084c9501/Eatwell_Guide_booklet_2018v4.pdf)

<sup>46</sup> <https://www.voedingscentrum.nl/nl/gezond-eten-met-de-schijf-van-vijf.aspx>

	Source	Protein Recommendations	Emphasized Protein	Nutritional Plate Division	Environmental focus
<b>Australia</b>	The Australian Dietary Guidelines <sup>47</sup>	Variety of protein sources recommended; emphasize plant-based options. The guidelines do not specify exact portions but recommends on standard serve size of ½ cup (75 grams) cooked dried or canned beans, peas or lentils (preferably with no added salt)	Legumes, nuts, seeds (plant-based); lean meats, poultry, fish, eggs.	A circle divided into five food groups: lean meats and poultry, fish and seafood, eggs, nuts and seeds, legumes and beans, dairy and alternatives.	Highlights environmental benefits of reducing meat; visualized as a circle divided into five food groups.
<b>Singapore</b>	My Healthy Plate <sup>48</sup>	Variety sources of protein. Specific amounts of plant-based protein are not explicitly outlined	Beans, lentils, nuts, seeds, lean meats, poultry, fish, shellfish, eggs, dairy, plant-based alternatives like tofu and tempeh.	A plate Quarter plate whole grains, quarter plate protein, half plate vegetables and fruits.	Promotes sustainability and alternative proteins; government invests in lab-grown meat and other innovative sources.
<b>India</b>	The dietary guidelines for Indians <sup>49</sup>	Emphasis on plant-based proteins due to vegetarian population; includes pulses, beans, nuts, dairy. Recommendations: Pulses and legumes 90 grams per day	Emphasis on plant-based proteins due to vegetarian population; includes pulses, beans, nuts, dairy.	divided into five food groups.	Guideline touch upon aspects of sustainability

<sup>47</sup> Department of Health and Age Care (Australian Government). The Australian Dietary Guidelines. <https://www.health.gov.au/resources/publications/the-australian-dietary-guidelines?language=en>

Department of Health and Age Care (Australian Government). Eating well. <https://www.health.gov.au/topics/food-and-nutrition/about/eating-well?language=en>

<sup>48</sup> HealthHub. Nutritious Foods for A Healthy Diet. <https://www.healthhub.sg/programmes/nutrition-hub/eat-more>

<sup>49</sup> [https://main.icmr.nic.in/sites/default/files/upload\\_documents/DGI\\_07th\\_May\\_2024\\_fin.pdf](https://main.icmr.nic.in/sites/default/files/upload_documents/DGI_07th_May_2024_fin.pdf)

	Source	Protein Recommendations	Emphasized Protein	Nutritional Plate Division	Environmental focus
<b>Denmark</b>	Denmark's dietary guidelines <sup>50</sup>	Encourage more fish and plant-based foods; reduce meat intake. Recommendations: Approximately 100 g per day of legumes	Legumes, nuts, seeds (plant-based); fish; insect-based and lab-grown meat under research.	A brochure of food groups: Protein, grains, vegetables and fruits, fats, encouraging a higher intake of plant-based foods and fish.	Active researching alternative proteins promotes sustainability in food production.
<b>Finland</b>	Finland's dietary guidelines <sup>51</sup>	Emphasizes a plant-based diet and reduces red meat.  Specific amounts of plant-based protein are not explicitly outlined	Legumes, nuts, seeds (plant-based); environmentally friendly fish; Exploring alternative proteins like mycoprotein and insects.	Focus on five food groups (Vegetables, fruit and berries; Whole grain products; Fish and fish products; Meat, meat products and eggs; Milk and dairy products)	Emphasizes sustainable food choices; supports reduction of red meat for health and environmental reasons.
<b>Nordic Countries</b>	The Nordic Diet Recommendations <sup>52</sup>	Variety of nutrient-rich foods; moderate amounts of animal proteins.  Recommendations: Pulses and legumes 100 grams per day	Fruits, vegetables, whole grains, beans, legumes, nuts, seeds (plant-based); fish, dairy, eggs, limited meat.	Focus on a variety of nutrient-rich foods; promotes a balanced diet.	Focus on environmentally sustainable diets; combines diverse protein sources including both animal and plant-based proteins.

<sup>50</sup> <https://en.fvm.dk/news-and-contact/focus-on/the-danish-official-dietary-guidelines>

<sup>51</sup> <https://www.ruokavirasto.fi/en/foodstuffs/healthy-diet/nutrition-and-food-recommendations/>

<https://www.ruokavirasto.fi/en/foodstuffs/healthy-diet/sustainable-food-choices-on-the-plate/>

<sup>52</sup> [The Nordic Nutrition Recommendations \(NNR\) 2023](#)

	Source	Protein Recommendations	Emphasized Protein	Nutritional Plate Division	Environmental focus
<b>EAT-Lancet</b>	Planetary Health Plate <sup>53</sup>	Variety of protein sources (red meat, poultry, eggs, fish, Legumes and nuts), Emphasizing moderation of animal protein, increasing the consumption of plant-based proteins. Recommendations: Pulses and legumes 75 grams per day	Red meat, poultry, eggs, fish, Legumes and nuts	A plate of half vegetables and fruits; half should contain whole grains, plant protein sources, unsaturated vegetable fats and modest amounts of animal protein sources.	The guidelines aim to balance nutritional needs with environmental sustainability.
<b>Israel</b>	The Ministry of Health's Food Rainbow <sup>54</sup>	Mediterranean diet which encourages less animal food (especially red meat) and more plant protein Recommendations: Pulses and legumes 74 grams per day	Red meat, poultry, eggs, fish, Legumes, nuts and seeds	graphic rainbow visualization of five groups: vegetables, fruits, and whole grains; olive/canola oil, tahini, nuts, legumes, milk, dairy products and alternatives; poultry, fish, and eggs; red meat	Food rainbow encourages to choose sustainable and environmentally friendly protein sources

<sup>53</sup> EAT. [Food Planet Health](#). Summary Report of the EAT-Lancet Commission.

<sup>54</sup> Ministry of Health, Nutrition Branch (2020). Healthy is Possible. [Israel's New Food Rainbow](#)

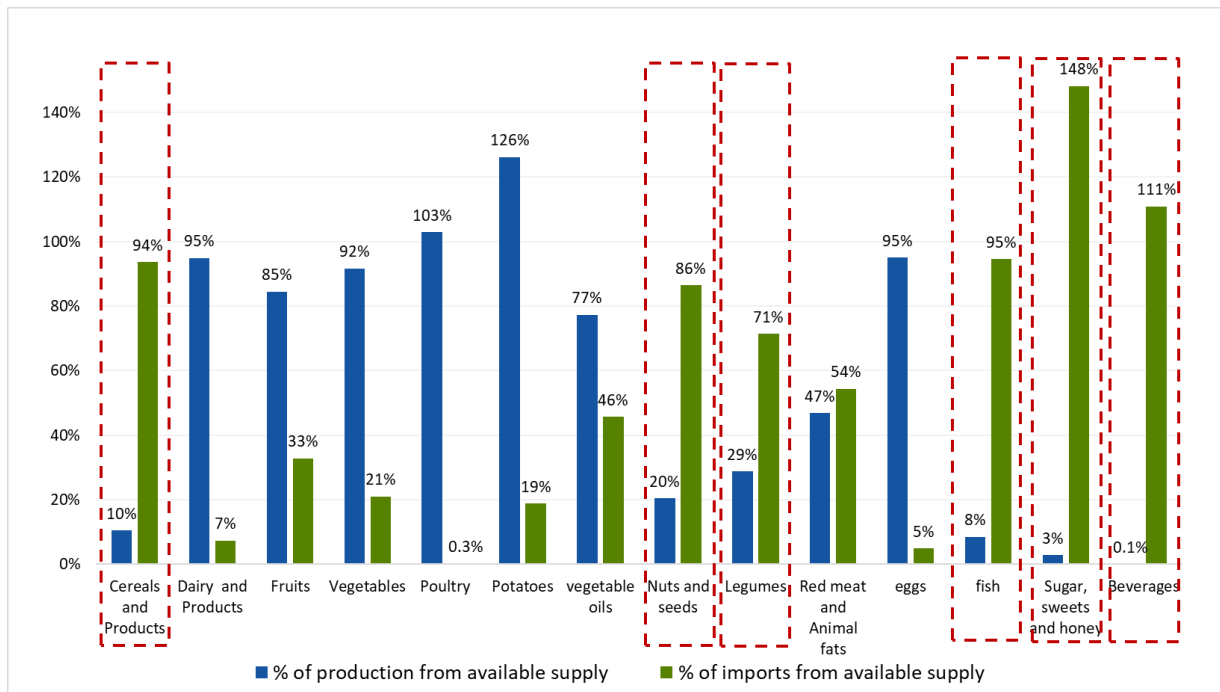
# 6. צריכת החלבון הנדרשת בישראל

הפרק מספק סקירה של קבוצות מזון שונות, תוך התמקדות בכמות החלבון שהן מספקות.

## 6.1 מקורות חלבון בישראל

נתוני שנת 2022 מצביעים על כך ששיעור ההסתמכות העצמית (SSR)<sup>55</sup> של ישראל נמוך בקבוצות מזון כגון דגים, דגנים, קטניות, אגוזים וזרעים (איור 2). לפיכך, קיימים סיכונים מיידים לאספקה העתידית<sup>56</sup> של קבוצות מזון אלו בישראל. מאידך, שיעור ההסתמכות העצמית של ישראל גבוה בייצור עופות, לרבות ביצים, וכן בייצור חלב ומוצרי חלב.

איור 2: יחס הייצור והייבוא מתוך קבוצות המזון הזמינות לאספקת חלבון (2022)



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני: לוח 4 מאזן אספקת מזון 2022, למ"ס, פורסם: 29 ספטמבר 2024.  
\* קבוצות המזון חושבו לפי קבוצות המזון בדוח "צלחת אוכל ישראלית 2050", ערכי מאזן אספקת מזון עדכניים למאזן לשנת 2022<sup>57</sup>.

\*\* שיעור ההסתמכות עצמית (SSR) = ייצור / אספקה זמינה

<sup>55</sup> Self Sufficiency Ratio (SSR) – pertains to the percentage of domestic production out of available supply. From: Israeli Ministry of Environmental Protection (2023). [Summary report: committee for implementing preparation of food systems to climate change for 2030](#). Publication date 09/21/2023; Updated on 09/24/2023. Retrieved 03/04/2024.

<sup>56</sup> Available Supply in Food Balance Sheet - Includes local production plus changes in stocks and imports, minus exports, of the surveyed year. Available supply includes other uses and depreciation, meaning use to produce another consumer good item that is included in the balance (animal feed, seeds for planting, and industry uses)

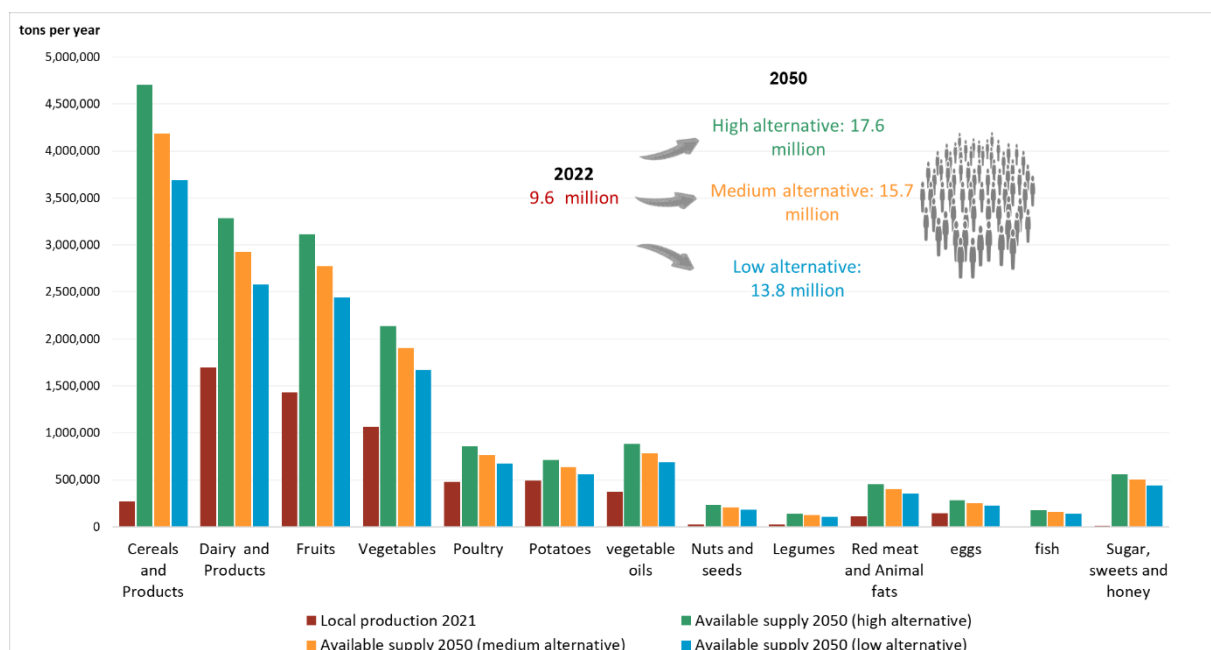
<sup>57</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', שפירא, נ', אילון, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', ושהם, א' (2024). "תרחישים ויעדים לאומיים לביטחון מזון ב-2050" דוח ביניים שני במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

## 6.2 שיקולים דמוגרפיים

בשנת 2022 נדרשה אספקת מזון זמינה בהיקף של כ-9.5 מיליון טון בשנה<sup>58</sup>, מתוכה כ-2.9 מיליון טון יועדו למקורות חלבון<sup>59</sup>. עם זאת, יש לקחת בחשבון כי כמות החלבון הזמינה הכוללת גבוהה בהרבה, אך היא כוללת גם מקורות כגון דגנים, שאינם נחשבים לחלבון איכותי.

בשנת 2050, בהתאם לצפי הגידול באוכלוסייה, היקף אספקת המזון צפוי לנוע בין כ-14 ל-18 מיליון טון בשנה, מתוכם ידרשו כ-4.2 עד 5.4 מיליון טון בשנה למקורות חלבון (מהחי, קטניות, אגוזים וזרעים)<sup>60</sup>. בהתחשב באפשרות של צמיחה דמוגרפית גבוהה, הצורך במקורות חלבון יגדל בין 2022 ל-2050 בכ-84%, מ-2.7 ל-5.05 מיליון טון בשנה עבור מוצרים מן החי בהתאמה, ומ-0.2 ל-0.37 מיליון טון בשנה עבור מוצרים מן הצומח (קטניות, אגוזים וזרעים) בהתאמה. בין אם תתממש התחזית לצמיחה נמוכה או גבוהה, ישראל חייבת להיערך לאספקת מזון גבוהה משמעותית מהנוכחית כדי לעמוד בדרישות אספקת החלבון הנדרשת.

איור 3: ייצור 2022 ואספקה זמינה 2050 (כלל אוכלוסיית ישראל, טונות לשנה)



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני: לוח 2.3. אוכלוסייה, לפי קבוצת אוכלוסייה, דת, מין וגיל, פורסם 12.9.2023; לוח 2.10 תחזית אוכלוסייה (1) בישראל לשנים 2025-2065, לפי קבוצת אוכלוסייה, מין וגיל, למ"ס, פורסם: 12.09.2023; לוח 4 מאזן אספקת מזון 2022, למ"ס, פורסם: 29 ספטמבר 2024.  
\* קבוצות המזון חושבו לפי קבוצות המזון בדוח "צלחת אוכל ישראלית 2050", ערכי מאזן אספקת מזון עדכניים למאזן לשנת 2022<sup>61</sup>.

<sup>58</sup> Available Supply in Food Balance Sheet - Includes local production plus changes in stocks and imports, minus exports, of the surveyed year. Available supply includes other uses and depreciation, meaning use to produce another consumer good item that is included in the balance (animal feed, seeds for planting, and industry uses).

<sup>59</sup> approximately 2.7 million tons for animal sources, including dairy and eggs, and the rest for plant protein sources, i.e. legumes, nuts and seeds

<sup>60</sup> Plat-Based Protein Products (raw materials): nuts and seeds, legumes; Animal-Based Protein Products (raw materials): red meat and animal fats, poultry, eggs, fish, dairy and dairy products

<sup>61</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', שפירא, נ', אילון, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', ושהם, א' (2024). "תרחישים ויעדים לאומיים לביטחון מזון ב-2050" דוח ביניים שני במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.



## 6.3 צלחת תזונתית מומלצת

### 6.3.1 קשת המזון של משרד הבריאות



מתוך אתר משרד הבריאות – אגף התזונה

ביוני 2020, משרד הבריאות פרסם את ההמלצות התזונתיות החדשות<sup>62</sup> לציבור הישראלי שעיקרן ההמלצה לתזונה ים תיכונית והגברת צריכת חלבון ממקורות צמחיים והפחתת צריכת של חלבון מבשר אדום. מעבר לממד הבריאותי, לתזונה הים תיכונית יתרונות גם בממדים הקשורים לסביבה, כלכלה וחברה-תרבות ולהתמודדות עם מגפות, ומשברי אקלים<sup>63</sup>. ההמלצות החדשות מתבססות על "קשת מזון". בניגוד לפירמידת המזון, קשת המזון החדשה מתייחסת למזונות לפי מידת העיבוד (ולא לפי רכיבים)<sup>64</sup> ובנויה כתצורה גרפית של ההמלצות התזונתיות. הקשתות השונות (בצבעים שונים) מבטאות את תדירות הצריכה המומלצת לפי העקרונות הבאים:

- קשת ירוקה - ירקות, פירות ודגנים מלאים: לגוון על בסיס יומי
- קשת צהובה - שמן זית / קנולה, טחינה, אגוזים, קטניות, חלב, מוצרי חלב ותחליפיהם: לפחות פעם ביום
- קשת כתומה - עוף, הודו, דגים וביצים: לגוון על בסיס שבועי
- קשת וורודה - בשר בקר: עד 300 גרם לשבוע
- קשת אדומה – מזונות שמומלץ להימנע מהם.

### 6.3.2 בחירת הרכב הצלחת התזונתית

כדי להציע את הצלחת התזונתית המומלצת השונו את ההרכב התזונתי היומי (כמות בגרמים ליום, קלוריות ליום בכל קבוצת מזון) של מספר מקורות (ישראל, EAT Lancet, גרמניה, תזונה נורדית וסינגפור). מקורות אלו נבחרו ממספר סיבות, ביניהן, מידע מספק ממנו ניתן להסיק על קבוצות המזון וגיוון בתרבות האוכל והתזונה.

קבוצות המזון גובשו לפי מספר מקורות: הלמ"ס<sup>65</sup>, קשת המזון של משרד הבריאות<sup>66</sup> והטבלה התזונתית של EAT Lancet<sup>67</sup>. מקורות אלו נבחרו מהסיבות הבאות:

<sup>62</sup> משרד הבריאות, אגף התזונה (2020). אפשרי בריא. קשת המזון החדשה של ישראל.

<sup>63</sup> FAO (2017). Mediterranean food consumption patterns. White Paper.

מרכז המידע והמחקר של הכנסת (2023), המלצות בריאותיות בנוגע לצריכת בשר בישראל ובמדינות שונות

אדלר דורית (2021), בטחון תזונתי ומשבר האקלים - השפעות הגומלין של המזון על הסביבה ומגיפות ההשמנה, אי בטחון תזונתי ועת החירום האקלימית. הפורום הישראלי לתזונה בת-קיימא, שינוי כיוון.

<sup>64</sup> משרד הבריאות. קשת המזון

<sup>65</sup> למ"ס. לוח 21.20 מאזן אספקת מזון 2021. פורסם: 29.08.2023.

<sup>66</sup> משרד הבריאות, אגף התזונה (2020). אפשרי בריא. קשת המזון החדשה של ישראל.

<sup>67</sup> Food Planet Health. Summary Report of the EAT-Lancet Commission.

- משרד הבריאות וארגון הבריאות העולמי<sup>68</sup> ממליצים על תזונה ים תיכונית כתזונה שמסייעת לאריכות ימים, כמו גם סיכון נמוך יותר להתפתחות של מחלות כרוניות כגון מחלות לב וכלי דם, סוכרת וסוגי סרטן מסוימים. תזונה ים תיכונית מסייעת גם בניהול ושימור של משקל תקין. תזונה כזו מבוססת על מזון מסורתי במדינות השוכנות לחופי הים התיכון שכולל צריכה גבוהה של פירות, ירקות, דגנים מלאים, אגוזים, קטניות, שמן זית, דגים; צריכה מתונה של עוף, ביצים ומוצרי חלב (בעיקר יוגורט וגבינות), וצריכה מועטה של בשר אדום.
- באגף התזונה במשרד הבריאות ניתנו המלצות מפורטות לגבי ההרכב בקבוצות המזון השונות.
- EAT Lancet מהווה פלטפורמה גלובלית מבוססת מדע לשינוי מערכות מזון. ההמלצות בדוח של EAT Lancet גובשו על ידי מדענים ומומחים מ-16 מדינות ומתחומי דעת שונים (בריאות האדם, חקלאות, תזונה, מדע המדינה וקיימות סביבתית) על מנת להגדיר יעדים מדעיים עולמיים לתזונה בריאה ולייצור בר-קיימא של מזון<sup>69</sup>.

כמו כן, ביקשנו להתאים את קבוצות המזון ככל האפשר לקבוצות המזון המפורטות במאזן אספקת מזון של הלמ"ס על מנת שניתן יהיה להסיק בהמשך על ייצור מקומי ויבוא נדרשים על סמך הצלחת התזונתית. בכל המקורות שנבחרו חושבו הכמויות בגרמים לנפש ליום בכל קבוצת מזון. החישוב הקלורי בכל קבוצת מזון בוצע על סמך הטבלה התזונתית של EAT Lancet.

כאשר בחנו את אופי הצלחת המומלצת, מצאנו כי גם ארגון הבריאות העולמי ממליץ על התזונה הים תיכונית<sup>70,71</sup>. תזונה ים תיכונית עומדת במרכז המלצות משרד הבריאות והיא יכולה להתאים לגיאוגרפיה והאופי הקולינארי הכללי של תזונת תושבי ישראל. לכן, **הצלחת התזונתית המבוססת על קשת המזון של משרד הבריאות היא הצלחת המומלצת על ידנו<sup>72</sup>**.

### Protein Sources in the Israeli Plate 6.3.3

מקורות החלבון המומלצים מצדיקים דיון ייעודי, שכן המלצות תזונה שונות מדגישות את הצורך בצמצום צריכת בשר אדום והחלפתו במקורות חלבון שאינם מן החי (כגון קטניות, אגוזים וזרעים), וכן בחלבונים שמקורם בטכנולוגיות מזון מתקדמות, כגון תסיסה מדייקת, בשר מתורבת, אצות ותפטיר. המלצה זו נתמכת מהסיבות הבאות:<sup>73</sup>

- בריאות: צריכת בשר אדום ובשר מעובד נקשרה למחלות כרוניות כגון מחלות לב וכלי דם, סרטן וסוכרת. הפחתת הצריכה עשויה לסייע בצמצום הסיכון למחלות אלו.

<sup>68</sup> WHO. (2023), [Director-General's remarks at Food Systems Summit – 24 July 2023](#).

<sup>69</sup> [The EAT-Lancet Commission on Food, Planet, Health](#)

<sup>70</sup> <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

<sup>71</sup> ארגון הבריאות העולמי ממליץ על הרכבי תזונה נוספים, כגון התזונה הנורדית והיפנית, אך מדגיש את החשיבות של התאמת התזונה לתרבות המקומית ולמערכות המזון המקומיות.

<sup>72</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', אילון, א', בלכמן, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', קליין, ר', שהם, א', ושפירא, נ' (2024). "צלחת המזון הישראלית ב-2050" דוח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

<sup>73</sup> מרכז המחקר והמידע של הכנסת (פברואר 2023). המלצות בריאותיות בנוגע לצריכת בשר בישראל ובמדינות שונות

- סביבה וקיימות: תעשיית הבשר תורמת לפליטות גזי חממה, זיהום מים וקרקע, ובזבז משאבים טבעיים (לרבות משאבים המשמשים להזנת בעלי חיים). הפחתת הצריכה יכולה לסייע בצמצום ההשפעות הסביבתיות השליליות.
- רווחת בעלי חיים: תעשיית הבשר כרוכה לעיתים קרובות בתנאים קשים עבור בעלי החיים. צמצום הצריכה עשוי לתרום לשיפור רווחת בעלי החיים.

#### 6.3.4 ייצור ודרישה 2050 – הצלחת הישראלית

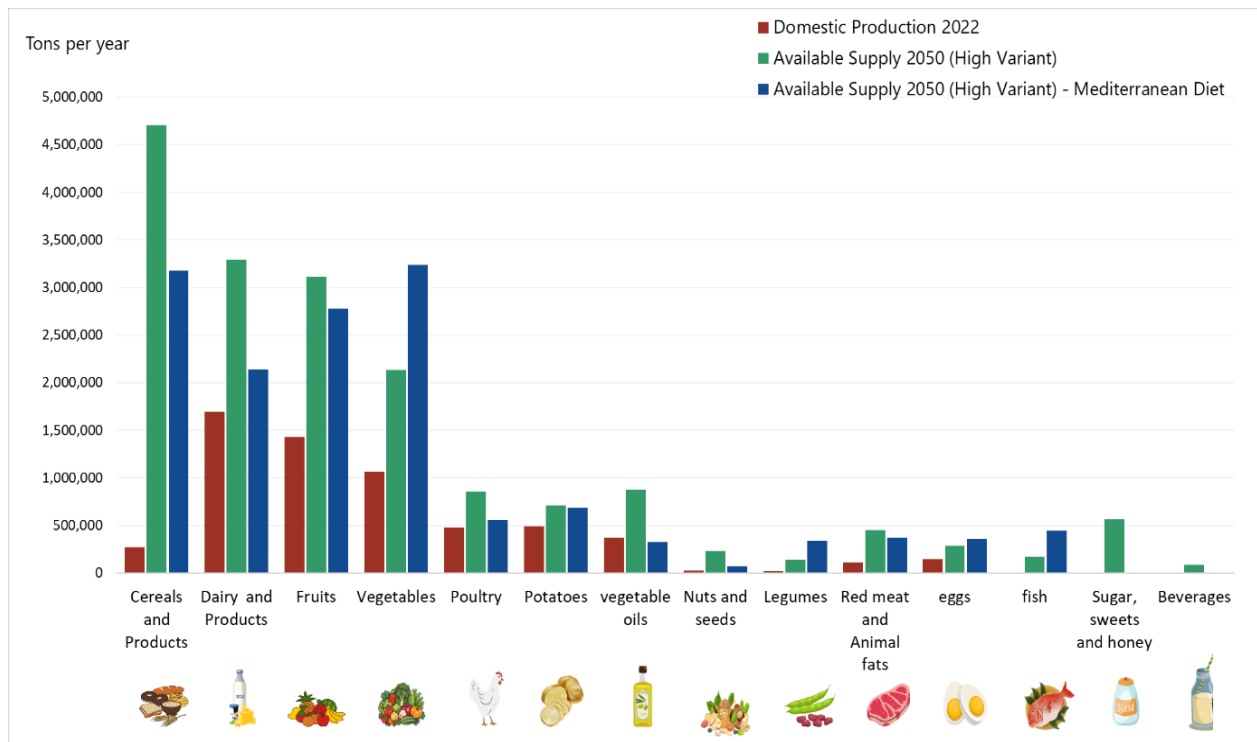
כאשר בוחנים את כמויות המזון הנדרשות לשנת 2050, יש להביא בחשבון גם את השפעת הרגלי התזונה של האוכלוסייה. כפי שנאמר קודם לכן (איור 3), בהתבסס על מאפייני הייצור והצריכה הנוכחיים, היקף האספקה הנדרשת<sup>74</sup> יהיה גבוה יותר (במיליוני טונות). עם זאת, אם נשנה את התזונה הישראלית בהתאם להמלצות הצלחת התזונתית, הפערים בין הייצור הנוכחי לביקוש העתידי יפחתו ברוב קבוצות המזון (איור 4).

חשוב לציין כי לצד הירידה ברוב הקטגוריות, צפויה עלייה בצריכת קטניות, הנחשבות לחלבון שאינו מן החי התורם לבריאות וחיוני לתזונה בת-קיימא. בנוסף, יעלה הצורך בביצים ובדגים, הן כדי לעמוד בהמלצות התזונתיות והן בהתאם להעדפות האוכלוסייה. מענה לעלייה זו ידרוש מאמצים ממוקדים להגברת הייצור של קבוצות מזון אלו. כמו כן, יש לשלב מקורות חלבון שאינם מן החי, כגון חלבונים מן הצומח, בשר מתורבת ומוצרים מבוססי חרקים, בתכנון ארוך הטווח, וזאת כדי להבטיח מערכת מזון עמידה ובת-קיימא שתוכל לעמוד בדרישות התזונתיות העתידיות.

---

Available Supply in Food Balance Sheet - Includes local production plus changes in stocks and imports, minus<sup>74</sup> exports, of the surveyed year. Available supply includes other uses and depreciation, meaning use to produce another consumer good item that is included in the balance (animal feed, seeds for planting, and industry uses)

איור 4: ייצור 2022 ואספקה זמינה 2050 נדרשת לצלחת תזונתית (כלל אוכלוסיית ישראל, טונות לשנה)



מקור: עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני: לוח 2.10 תחזית אוכלוסייה (1) בישראל לשנים 2025-2065, לפי קבוצת אוכלוסייה, מין וגיל, למ"ס, פורסם: 12.09.2023; לוח 4 מאזן אספקת מזון 2022, למ"ס, פורסם: 29 ספטמבר 2024. משרד הבריאות-קשת המזון הישראלית.

\* קבוצות המזון חושבו לפי קבוצות המזון בדוח "צלחת אוכל ישראלית 2050", ערכי מאזן אספקת מזון עדכניים למאזן לשנת 2022<sup>75</sup>.

\* קטגוריות: סוכר, ממתיקים ודבש; ומשקאות (כולל משקאות ממריצים), אינן נכללות בהמלצות התזונתיות.

הצריכה הכוללת המומלצת של חלבון, כולל חלבונים מפירות וירקות, כפי שמפורט בצלחת התזונתית המומלצת, היא כ-91 גרם לנפש ליום (מתוכם 13% מקטניות). נתון זה נמוך מהיצע החלבון בפועל כפי שדווח על ידי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס), אשר עומד על כ-110 גרם לנפש ליום (מתוכם 4% מקטניות), כפי שמתואר. הפערים נצפים במקורות חלבון שונים שמקורם מן החי (כולל עופות, חלב ומוצרי חלב, בשר אדום ושומנים מן החי) וכן בדגנים ונגזרותיהם. בהתאם להנחיות הצלחת התזונתית, יש להפחית את הצריכה של מקורות חלבון אלו, תוך הגדלת הצריכה של מקורות חלופיים כגון דגים וקטניות. ניתוח הפערים בין הצריכה הנוכחית לבין רמות הצריכה הראויות הצפויות לשנת 2050 חושף סדרת אתגרים. בראשם, קיים צורך משמעותי בהגדלת צריכת הקטניות לנפש, לצד ירידה ניכרת בצריכת עופות, בשר ומוצרי חלב. התאמות אלה ברמת הצרכן יתבססו על מגוון קטגוריות מוצרים, כגון קטניות יבשות גולמיות, תחליפי חלב מן הצומח, תחליפי בשר מן הצומח, תחליפי עוף ודגים, וכן מוצרים מתורבתים של בשר, דגים ועוף. מבחינת חומרי גלם, המיקוד יהיה בחלבונים מן הצומח, חלבונים שמקורם בתסיסה, חלבונים מאצות ומיקרו-אצות, חלבונים מתפטיר ופטירות, וכן חלבונים מחרקים ומוצרי מזון המבוססים עליהם. הפרק הבא יעסוק במקורות חלבון אלו ובהשפעתם הפוטנציאלית על שיעורי ההסתמכות העצמית.

<sup>75</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', שפירא, נ', אילון, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', ושהם, א' (2024). "תרחישים ויעדים לאומיים לביטחון מזון ב-2050" דוח ביניים שני במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

## 7. פתרונות אפשריים

### צריכת חלבון מסורתית

על פי דוח הביניים של מוסד שמואל נאמן "צלחת המזון הישראלית ב-2050"<sup>76</sup>, מוצרים מהחי צפויים להוות כ-52% מסך כלל המוצרים התורמים לצריכת החלבון בשנת 2050, בעוד שחלבון ממקורות צמחיים יהווה כ-48% (לפי משקל המוצרים). משמעות הדבר היא כי יידרשו כ-3.9 מיליון טון של מוצרים מן החי (בשר אדום ושומנים מן החי, עופות, ביצים ומוצרי חלב) וכ-3.6 מיליון טון של מוצרים מן הצומח (דגנים ומוצריהם, קטניות, אגוזים וזרעים), כמפורט באיור 5.

הפחתת צריכת חלבון מן החי תורמת לביטחון התזונתי של ישראל ולשיעור ההסתמכות העצמית (SSR) של המדינה. בנוסף, הפחתת צריכת חלבון מן החי חשובה לביטחון התזונתי של ישראל ולבריאות האוכלוסייה. מאחר שרוב הדגנים מיובאים (איור 2) ומשמשים גם להזנת בעלי חיים, צמצום צריכת חלבון מן החי יפחית את הצורך בייבוא דגנים ויתרום להגדלת שיעור ההסתמכות העצמית של ישראל. כמו כן, החלפת הצריכה של חלבון מהחי המסורתי תסייע בצמצום הייבוא ובהגברת שיעור ההסתמכות העצמית של המדינה.

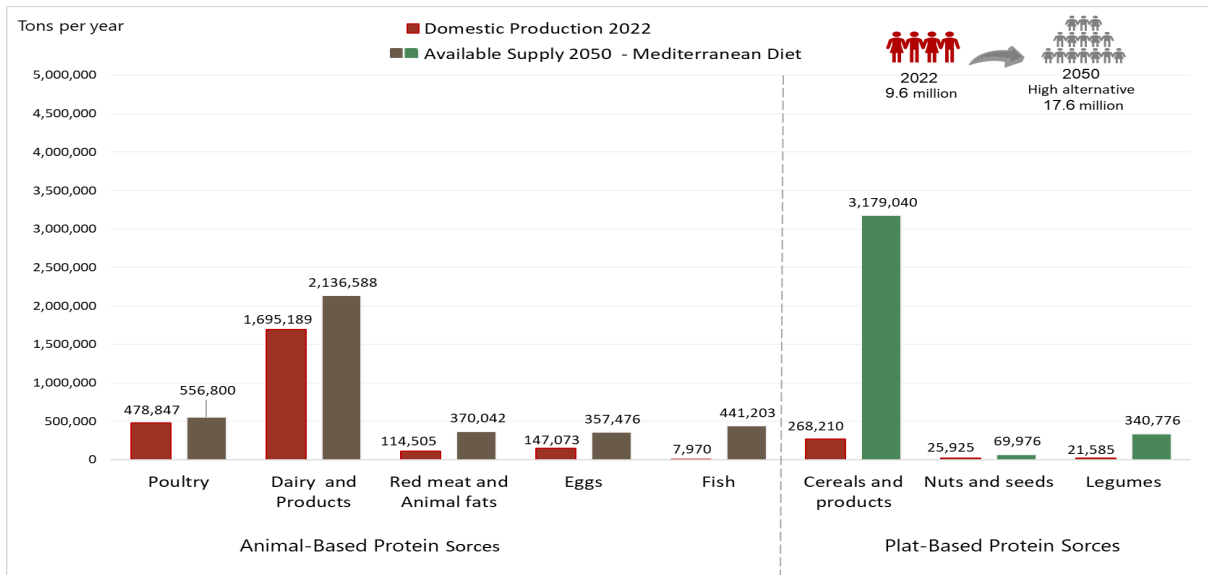
בדוח הביניים של מוסד שמואל נאמן, אשר עוסק בתרחישים וביעדים לאומיים לביטחון מזון בישראל בשנת 2050<sup>77</sup>, הוצע כי יעד של 60% חלבון שאינו מן החי מתוך סך צריכת החלבון הכוללת יסייע בהגדלת שיעור ההסתמכות העצמית של ישראל. אנו סבורים כי היעד הראוי למדינת ישראל לשנת 2050 הוא **שלא יותר** מ-40% מצריכת החלבון תגיע ממקורות מן החי.

בהתאם לאספקת החלבון הנקי הנדרשת בשנת 2050 (תרשים 6), מקור אספקת החלבון מן הצומח הגדול ביותר יהיה מדגנים ותוצריהם, עם נפח משמעותי של 230 אלף טון בשנה. מבין המקורות הצמחיים, קטניות (יותר מ-77 אלף טון, פי חמישה מהכמות בשנת 2022) מהוות גם הן תורם משמעותי. חלבון מן החי יתרום למאזן אספקת החלבון בהיקף של למעלה מ-340 אלף טון, כאשר עופות יספקו נפח משמעותי של יותר מ-102 אלף טון, ואחרים דגים (למעלה מ-78 אלף טון) ומוצרי חלב (למעלה מ-65 אלף טון). תרומתם המשמעותית של חלבונים מן הצומח (בפרט דגנים וקטניות) לתזונה הים-תיכונית מדגישה את חשיבותם של מזונות מן הצומח במענה לדרישות החלבון. חלבונים מן הצומח עשויים להפוך לקריטיים יותר ויותר עם גידול האוכלוסייה (תחזית של 17.6 מיליון נפש לשנת 2050) ועם הפיכתה של הקיימות הסביבתית לעדיפות מרכזית.

<sup>76</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', אילון, א', בלכמן, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', קליין, ר', שהם, א', ושפירא, נ' (2024). "צלחת המזון הישראלית ב-2050" דוח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

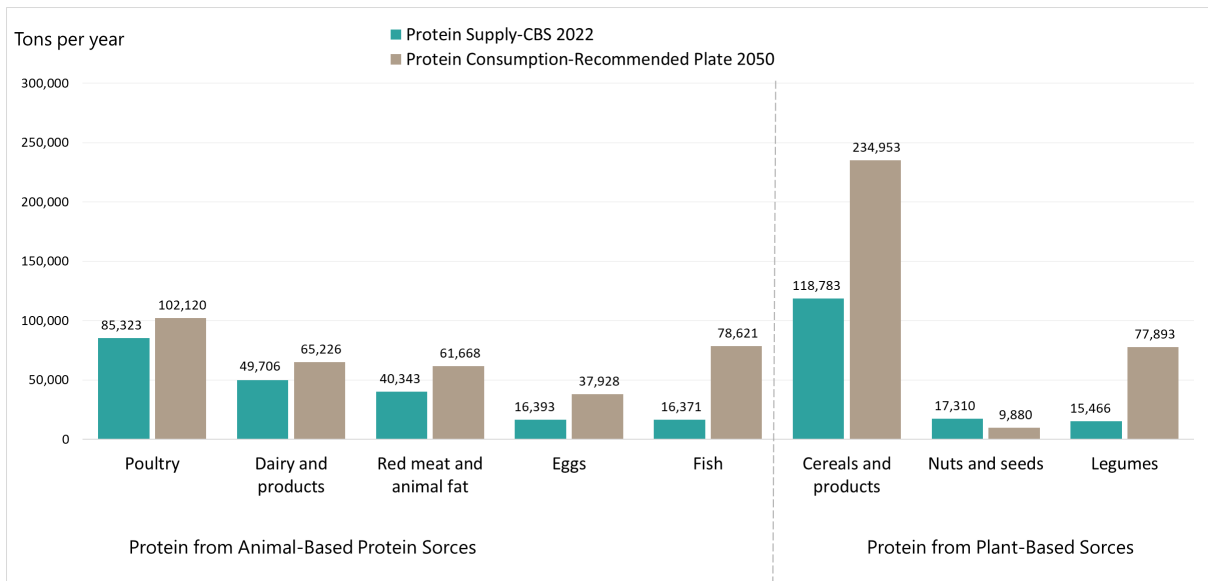
<sup>77</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', שפירא, נ', אילון, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', ושהם, א' (2024). "תרחישים ויעדים לאומיים לביטחון מזון ב-2050" דוח ביניים שני במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

איור 5: אספקה נדרשת של חומרי גלם לחלבון בשנת 2050 לעומת האספקה הזמינה בשנת 2022 (טונות לשנה)



\*אספקה נדרשת: עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני: לוח 4 מאזן אספקת מזון 2022, למ"ס, פורסם: 29 ספטמבר 2024. אוכלוסייה: לוח 2.10 תחזית אוכלוסייה (1) בישראל לשנים 2025-2065, לפי קבוצת אוכלוסייה, מין וגיל, למ"ס, פורסם: 12.09.2023; \*תזונה ים-תיכונית מבוססת על הצלחת התזונתית, פרסום מוסד שמואל נאמן (2024).<sup>78</sup>

איור 6: אספקה נטו של חלבון בשנת 2022 (למ"ס) ובשנת 2050 לפי התזונה הים-תיכונית (טונות לשנה)



\*אספקה נדרשת: עיבוד מוסד שמואל נאמן לנתוני: לוח 4 מאזן אספקת מזון 2022, למ"ס, פורסם: 29 ספטמבר 2024. אוכלוסייה: לוח 2.10 תחזית אוכלוסייה (1) בישראל לשנים 2025-2065, לפי קבוצת אוכלוסייה, מין וגיל, למ"ס, פורסם: 12.09.2023; \*תזונה ים-תיכונית מבוססת על הצלחת התזונתית, פרסום מוסד שמואל נאמן (2024).<sup>78</sup>

<sup>78</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', אילון, א', בלכמן, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', קליין, ר', שהם, א', ושפירא, נ' (2024). "צלחת המזון הישראלית ב-2050" דוח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

## מקורות חלבון שאינם מן החי (מן הצומח ואלטרנטיביים)

המונח "חלבון אלטרנטיבי" מפורש לעיתים קרובות באופן שגוי. מאחר שהמטרה העיקרית היא להפחית את צריכת החלבון מן החי בשל שיקולי הסתמכות עצמית, בריאות וקיימות, אנו משתמשים במונח חלופי "חלבון שאינו מן החי". כפי שצוין, חלבון שאינו מן החי יכול להגיע ממקורות אלטרנטיביים שונים, בהם חלבון מהצומח, חלבון מתסיסה מדייקת, חלבון מאצות ומיקרו-אצות, חלבון מתפטיר ופטירות, וכן חלבון מחרקים ומוצרי חלבון מבוססי חרקים<sup>79</sup>.

---

<sup>79</sup> תיאור מקורות החלבון העיקריים שאינם מן החי הצפויים, אשר יכולים לסייע בהפחתת התלות בחלבון מן החי, מובא בגרסתו באנגלית בנספח A: [Roadmap and Key Steps for Non-Animal Protein \(Plant and Alternative\) Towards Israel's Food Security 2050](#). Shimoni, E., Tzipperal, S., & Klein, R. (2024). Samuel Neaman Institute

## 8. ניתוח חלופות

בחתימה לשיפור ביטחון המזון של ישראל, חיוני לבצע ניתוח אסטרטגיות חלופיות. מטרת ניתוח זה היא להעריך כיצד כל פתרון מוצע משפיע על מדדי מפתח בביטחון המזון, ובפרט על שיעור ההסתמכות העצמית. הסתמכות עצמית יכולה להעצים קהילות ואזורים להשיג אוטונומיה רבה יותר בייצור והפצת מזון. בנוסף, ישנה חשיבות רבה לבחינת מסגרות הזמן שבהן ניתן ליישם אסטרטגיות אלו באופן אפקטיבי. הבנה מעמיקה של לוחות הזמנים תאפשר תעדוף נכון והקצאת משאבים יעילה. לבסוף, יש לבחון את הסיכונים וההזדמנויות הכרוכים ביישום משמעותי ומשפיע של כל פתרון. זיהוי מכשולים אפשריים לצד יתרונות פוטנציאליים יאפשר קבלת החלטות מושכלת יותר, ויבטיח כי החלופות הנבחרות לא רק ייתנו מענה לאתגרים הנוכחיים אלא גם יתרמו לחיזוק ביטחון המזון לאורך זמן.

### 8.1 כיצד כל מקור חלבון ישפיע על ההסתמכות העצמית של ישראל?

#### השפעות סביבתיות

במהלך הכנת ההשוואה בין מקורות חלבון שונים, נסקרו מקורות מידע מגוונים שסיפקו נתונים עדכניים ומבוססים מדעית בנוגע להשפעות הסביבתיות שלהם. מקורות אלה כוללים מחקרים העוסקים בפליטת גזי חממה, ניצול משאבים כגון קרקע ומים, וכן בצריכת האנרגיה הנדרשת לגידול ולייצור של מקורות חלבון שונים.

מחקרים אקלימיים ופליטת גזי חממה: המסמך "Climate Impacts of Alternative Proteins" (Collett et al., 2021) מהווה אחד המקורות המרכזיים בנושא זה, ומציג ניתוח מעמיק של פליטת גזי חממה ממקורות חלבון שונים, כגון בשר בקר, עופות ודגים, בהשוואה לחלבון מתורבת ותסיסה מדייקת. המחקר מדגיש את ההשפעה הסביבתית המשמעותית של גידול בקר בכל הנוגע לפליטת גזי חממה ולשימוש בקרקע, בעוד שמקורות חלבון כגון חלבון מהצומח, חלבון מתורבת ותסיסה מדייקת מציגים פוטנציאל להפחתת ההשפעה הסביבתית.

משאבי מים וקרקע: מחקרים נוספים מתמקדים בניצול מים וקרקע במקורות חלבון שונים. לדוגמה, חקלאות דגים במערכות בריכות מציגה יעילות יחסית בשימוש בקרקע, בעוד שמקורות חלבון מן הצומח דורשים פחות מים וקרקע בהשוואה לבשר בקר ועופות. אצות ומיקרו-אצות, על אף שהן מצריכות מערכות גידול ייחודיות, מאופיינות בשימוש מינימלי בקרקע.

אנרגיה וחומרי גלם: בבחינת צריכת האנרגיה, מחקרים מצביעים על כך שחלבון מתורבת ותסיסה מדויקת הם תהליכים עתירי אנרגיה, אך עדיין מציעים יתרונות מבחינת פליטות וזיהום. כפי שנציין לעיל, מנקודת מבט של ביטחון מזון - מקורות חלבון אלו חשובים בהפחתת היקפי יבוא מספוא מן החי. בנוסף, ניתן לצפות לשימוש מוגבר באנרגיה מתחדשת ולשיפור היעילות האנרגטית שלהם.

שילוב נתוני המחקר ממקורות אלו מאפשר השוואה מקיפה בין מקורות חלבון שונים, תוך התמקדות ביעילות ובקיימות של כל מקור מבחינת ניצול משאבים והשפעה סביבתית. אין ספק כי יחס ההמרה הנמוך של חומרי גלם לכל קילוגרם חלבון כאשר מקורו מן החי מגדיל את כמות חומרי הגלם הנדרשת לייצור (Herrero et al., 2013). לפיכך, השאלה המרכזית העומדת לפנינו היא כיצד ניתן להגדיל את חלקו של החלבון שאינו מן החי במסגרת הצריכה הכוללת של חלבון בישראל.



טבלה 4: הערכת המשאבים הדרושים לייצור קילוגרם חלבון ממקורות חלבון שונים<sup>80</sup>

Product	Land (m <sup>2</sup> /kg)	Water (liters/kg)	Energy (MJ/kg)	Raw Materials (kg)	Group
Cattle	18-37	5,000-20,000	40-50	25	Fodder and grains
Poultry	7-12	2,000-5,000	20-30	9	Food mixture
Fish	2-6	4,000-8,000	15-25	1.5-2	Fish food mix
Plant-based Protein	1-5	500-2,000	10-20	2-4	
Cultivated Meat	<1	1,000-3,000	60-70	1-2	Cell culture media and biological supplements
Precision Fermentation Protein	<0.5	500-1,500	30-40	1-1.5	Fermentation medium (such as sugars and minerals)
Algae	<1	1,000-4,000	20-30	0.5-1	Aquatic growing medium rich in nutrients
Mushrooms	1-2	1,500-2,500	20-30	0.5-1	A growth medium based on carbohydrates and sugars
Insects	<1	500-1,000	10-20	1-2	Organic waste or recycled food mixes

## 8.2 מהי מסגרת הזמן שבה הדבר יכול להיות מעשי

### 8.2.1 תחזיות גלובליות

על פי תשובות משתתפי שאלון המומחים שלנו, **פוטנציאל השוק** של חלבונים חדשים שאינם מן החי תלוי בקהל הלקוחות. קהלים שונים מציגים פוטנציאל גבוה לאימוץ חלבונים שאינם מן החי, וביניהם טבעונים, צמחונים וגמישים תזונתית (flexitarians), אך גם אנשים מסורתיים-דתיים וספורטאים. צרכני בשר עשויים למצוא ערך בחלבונים חדשים שאינם מן החי לשדרוג מנות מסורתיות, ובכך להציע גישה חדשה וחדשנית לשוק. מודעות סביבתית ובריאותית עשויה להעלות את הפוטנציאל לצריכת חלבונים שאינם מן החי, במיוחד בקרב צעירים.

**המגמה העולמית** תומכת בצריכת חלבונים שאינם מן החי, וישראל מתיישרת עם מגמה זו ואף מובילה בתחומים מסוימים, כגון טבעונות. עם זאת, העלויות הגבוהות של חלופות מבוססות צומח בישראל מהוות חסם. חלק מהחברות מצליחות באמצעות הצעת מוצרים ייחודיים במקום להתחרות ישירות בבשר. "בישראל יש דוגמא מצוינת שאפשר ללמוד ממנה – טבעול. שהציעו כבר

<sup>80</sup> Collett K, O'Callaghan B, Mason M, Godfray C, Hepburn C. 2021. The climate impact of alternative proteins Rep. Smith Sch. Enterp. Environ., Univ. Oxford Oxford, UK

לפני עשרות שנים חלופה מהצומח שדומה לחלופות בשר אבל אינה מתיימרת להתחרות בהן ישירות אלא להציע מוצר אחר". מוצרים היברידיים המשלבים חלבונים מן החי וחלבונים שאינם מן החי מציעים דרך מעשית להפחתת צריכת הבשר. תמיכה רגולטורית, מחויבות תעשיית ההסעדה והקצאת מקום למדף ייעודי לחלופות הן גורמים חיוניים לצמיחת השוק. למרות האתגרים, לישראל יש פוטנציאל לשגשג בתחום החלבונים שאינם מן החי באמצעות מינוף חדשנות והתפתחויות גלובליות.

תחזיות ריאליות לגבי היקף החלבון שאינו מן החי בהשוואה לחלבון מן החי בשנים 2030, 2040 ו-2050 משתנות בהתאם להתקדמות הטכנולוגית, אימוץ הצרכנים ותמיכה רגולטורית. להלן כמה הערכות מרכזיות המבוססות על ניתוחי תעשייה זמינים:

### 1. עד 2023:

- חלבונים שאינם מן החי צפויים להוות כ-20%-10 מסך צריכת החלבון העולמית, בהובלת עלייה בביקוש הצרכני, שיפורים בייצור ושיקולים סביבתיים. מוצרים כגון בשרים מן הצומח ובשרים מתורבתים יהפכו ככל הנראה לנגישים יותר ולתחרותיים יותר מבחינת עלות ([Future Insights](#)) ([BCG Global](#)).
- חלבונים מן הצומח (כגון אפונה וסויה) יובילו את השוק, כאשר בשר מתורבת יתחיל להשתלב בהדרגה במיינסטרים. חלבונים ממקור תסיסה מדייקת וחלבונים מיקרוביאליים ימלאו אף הם תפקיד משמעותי ([McKinsey & Company](#)).

### 2. עד 2040:

- חלבונים שאינם מן החי עשויים להוות עד 40%-30 מסך צריכת החלבון העולמית. צמיחה זו תיתמך במסגרות רגולטוריות, התקדמות טכנולוגית ומדיניות תומכת יותר, כגון מיסוי פחמן והקצאת מחדש של סובסידיות חקלאיות ([World Economic Forum](#)).
- בשר מתורבת וחלבונים מיקרוביאליים צפויים לזכות באימוץ רחב יותר בקרב הצרכנים עם ירידת העלויות והתרחבות היקפי הייצור ([McKinsey & Company](#)).

### 3. עד 2050:

- תחזיות מצביעות על כך שחלבונים שאינם מן החי עשויים להוות יותר מ-50% מסך צריכת החלבון העולמית. מעבר זה יהיה חיוני להבטחת אספקת מזון בת קיימא לנוכח הגידול באוכלוסייה, במיוחד בהתחשב במגבלות סביבתיות כגון שימוש במים ובקרקע ([World Economic Forum](#)) ([Future Insights](#)).
- פריצות דרך טכנולוגיות, כגון שיטות ייצור יעילות יותר לבשר מתורבת ולחלבונים מיקרוביאליים, יהיו גורמים מרכזיים בהובלת שינוי זה ([McKinsey & Company](#)).

תחזיות אלו משתנות בהתאם לאימוץ הצרכנים, לתמיכת המדיניות ולקצב השיפורים הטכנולוגיים, אך המגמה לכיוון חלבונים שאינם מן החי ברורה ומואצת לאורך מסגרות זמן אלו. עם זאת, בחינת תחזיות אלו מול המציאות מצביעה כבר על פערים משמעותיים. חלק מהדיווחים הציעו כי עד שנת 2025 יימכרו כמויות גדולות של בשר מתורבת במדינות שונות – אך המציאות שונה בתכלית. לכן, יש להתייחס לתחזיות אלו ברמת ספקנות מתאימה.

התחזיות תלויות גם בגורמים שונים כגון הסביבה הרגולטורית, ביקוש הצרכנים ופריצות דרך טכנולוגיות בייצור חלבונים שאינם מן החי. הסטטוס הרגולטורי של חלבונים אלו משתנה ברחבי העולם. בארצות הברית, בשר מתורבת אושר למכירה על ידי ה-FDA וה-USDA, מה שהציב תקדים רגולטורי. באיחוד האירופי, בשר מתורבת מוסדר תחת תקנות המזון החדש (Novel Foods Regulation) כאשר מדינות כמו הולנד מאפשרות טעימות לפני שיווק. סינגפור נותרה מובילה, בהיותה הראשונה שאישרה בשר מתורבת בשנת 2020. אזורים נוספים כמו ברזיל וסין מפתחים מסגרות רגולטוריות המתמקדות בהערכת בטיחות ובמסלולים רגולטוריים ([The State of Global Policy on Alternative Proteins](#)).

בעוד שצריכת חלופות מבוססות צומח רחבה, ישראל תלויה במגוון חומרי גלם ומושפעת בעיקר מהיבטי טעם ומחיר. נכונות הצרכנים לאמץ מוצרים המבוססים על תסיסה מדייקת או חלבונים מתורבתים עדיין אינה ברורה ולא עמדה במבחן המציאות. לכן, יש להתייחס בזהירות לתחזיות אלו. קביעת מדיניות התומכת במעבר לחלבונים שאינם מן החי חיונית, אך אין להתעלם מהאתגרים שעמם מתמודדים מוצרים אלו בכניסה משמעותית לשוק. מעל לכל, השאלה המרכזית היא מסגרת הזמן למימוש היתכנות טכנולוגית של ייצור המוני בעלות השוואתית למוצרים מן החי.

## 8.2.2 לוחות זמנים לייצור המוני

על מנת להפוך לחלק יעיל בארגז הכלים שלנו להפחתת צריכת חלבון מן החי, מקורות חלבון שאינם מן החי צריכים להיות מפותחים מספיק מבחינה מדעית, בטיחותית, כלכלית וחושית (טעם ומרקם). לאחר שהיבטים אלו יפתרו, השאלה המרכזית היא עד כמה מהר ניתן יהיה להרחיב את היקף הייצור כך שיוכלו להחליף חלק משמעותי מהחלבון מן החי הנצרך כיום. כדי להבין את גודל האתגר, יש לקחת בחשבון כמה נתונים מרכזיים: היקף ייצור הבשר העולמי עולה על 350 מיליון טון בשנה (140 מיליון טון עוף, 120 מיליון טון חזיר, 80 מיליון טון בקר, 15 מיליון טון צאן)<sup>81</sup>, ואילו ייצור חלבונים החלב עולה על 980 מיליון טון<sup>82</sup>. בישראל, הפחתת צריכת חלבון מהחי ב-23% (מ-52% ל-40%) עד 2050 משמעה הצורך ביותר מ-37,000 טון תחליפי "בשר אדום" וכ-210,000 טון תחליפי חלב ומוצרי חלב. נתונים אלו מייצגים אתגר לאומי משמעותי. בפסקה הבאה נסקור את האתגרים וההזדמנויות במסלול ההתרחבות.

**הרחבת מקורות חלבון מן הצומח** יכולה להתרחש יחסית במהירות בהשוואה לחלבונים חלופיים אחרים, אך היא תלויה בגורמים כמו השקעות, תשתיות וביקוש צרכני. מקורות חלבון מבוססי צומח, כמו אפונה וסויה, כבר פועלים ברשתות אספקה מבוססות, מה שמקל על הרחבת הייצור במהירות. חברות רבות משקיעות בפיתוח זנים חקלאיים יעילים יותר ובשיטות עיבוד מתקדמות כדי לעמוד בביקוש הגובר.

עם זאת, צווארי בקבוק בייצור כוללים את הצורך ביישום שיטות חקלאות בנות-קיימא שיבטיחו ייצור ארוך-טווח, פיתוח טכנולוגיות עיבוד מתקדמות, ופתרון אתגרים הקשורים לטעם ולמרקם על מנת להבטיח קבלת צרכנים את המוצאים החלופיים. לוח הזמנים להרחבת חלבונים מהצומח יכול להתקצר משמעותית עם השקעה ציבורית ופרטית מוגברת, לצד מדיניות ממשלתית תומכת ([BCG Global](#)) ([World Economic Forum](#)).

**התרחבות ייצור חלבונים מן החי** עשויה להתרחש בקצב בינוני ותלויה במספר גורמים מרכזיים, כגון טכנולוגיה, תשתיות, אישור רגולטורי וביקוש צרכני. תסיסה מדייקת התקדמה

<sup>81</sup> FAO. [Meat Market Review. Overview of market and policy developments in 2022.](#)

<sup>82</sup> FAO. [Dairy Market Review. Overview of global market developments in 2024.](#)

משמעותית, וחלק מהחברות כבר הפגינו יכולת לייצר חלבוני חלב בקנה מידה מסחרי. עם זאת, הרחבת הייצור תדרוש השקעה בביו-ריאקטורים גדולים, אופטימיזציה של זני מיקרואורגניזמים ושיפור תפוקות התסיסה. התקדמות זו עשויה לאפשר הרחבה משמעותית במהלך 5 עד 10 השנים הבאות ([BCG](#)) ([Future Insights](#)) (Global). חלבוני חלב המיוצרים בתסיסה מזויקת נתונים לביקורות רגולטוריות מחמירות באזורים שונים. חברות נדרשות להתמודד עם תהליכי אישור, שעשויים להאט את קצב ההתרחבות. לדוגמה, בארצות הברית ובישראל חלבונים מתסיסה מזויקת כמו מי גבינה קיבלו אישור, אך קבלה גלובלית תהיה תלויה בנוף הרגולטורי המשתנה ([Future Insights](#)). ברגע שיוסרו המכשולים הרגולטוריים והייצור יתייעל, הביקוש הצרכני יהיה הכוח המניע להתרחבות השוק. מוצרים המכילים חלבוני חלב מתסיסה מזויקת כבר הופיעו בשווקים כמו ארה"ב וסינגפור, אך קבלה רחבה יותר תידרש על מנת להגיע לייצור בקנה מידה מלא.

עם זאת, האתגר המרכזי ביותר הוא שהתשתית הנוכחית לתסיסה מזויקת זקוקה להתרחבות משמעותית כדי לענות על דרישות עתידיות. יידרשו מתקני ייצור חדשים, ותהליך הבנייה של מתקנים אלו עשוי להימשך מספר שנים. בנוסף, יש צורך בהרחבת שרשרת האספקה של חומרי גלם לתסיסה, כגון סוכרים ([World Economic Forum](#)). בסך הכול, הרחבת ייצור חלבוני חלב מתסיסה מזויקת יכולה להגיע לרמות משמעותיות בתוך 5 עד 10 שנים, במיוחד אם ההשקעה בתשתיות ואישורים רגולטוריים תתבצע במהירות.

**הרחבת ייצור בשר ודגים מתורבתים** בקנה מידה המוני צפויה להיות איטית יותר בהשוואה לחלבונים חלופיים אחרים בשל מספר אתגרים מרכזיים, אך חלה התקדמות בתחום. **אתגרים טכנולוגיים:** בשר ודגים מתורבתים דורשים טכנולוגיות מורכבות לשם שחזור מרקם, טעם ומבנה של בשר מסורתי. השגת ייצור רחב היקף במחיר תחרותי כרוכה בשיפור קיבולת הביו-ריאקטורים, אמצעי תרבות תאים (cell culture media) וטכנולוגיות scaffolding. נכון להיום, טכנולוגיות אלו עדיין בשלבי מוכנות מסחרית מוקדמים. מומחים מעריכים כי הרחבת הייצור בקנה מידה המוני יכולה להימשך 5 עד 10 שנים בתנאים אופטימיים ([Future Insights](#))([World Economic Forum](#)). **יעילות כלכלית:** כיום, עלות הייצור של בשר מתורבת גבוהה משמעותית מזו של בשר מסורתי. הפחתת עלויות תתאפשר הודות לחדשנות ב-cell culture media ואופטימיזציה של תהליכי הייצור. חברות רבות פועלות לצמצום העלות ממאות דולרים לקילוגרם למחיר תחרותי, שיאפשר את הרחבת השוק ([McKinsey & Company](#)). **תשתיות:** ייצור בהיקף גדול ידרוש הקמה של מתקני ייצור ביוטכנולוגיים מתקדמים, השקעה שדורשת משאבים הוניים גבוהים. תהליך הקמת התשתיות עשוי להימשך מספר שנים, בהתאם להיקף ההשקעות ולשיפורים הטכנולוגיים ([Future Insights](#)). **אישורים רגולטוריים:** מגבלות רגולטוריות משתנות בין אזורים שונים. בעוד שסינגפור, ישראל וארצות הברית אישרו מכירת בשר מתורבת, אימוץ רחב במדינות נוספות טרם הושלם. בהירות רגולטורית תהיה קריטית להתרחבות גלובלית ([McKinsey & Company](#)). **קבלת הצרכן:** גם אם הטכנולוגיה והרגולציה יבשילו, ההתרחבות תלויה גם בביקוש צרכני ובנכונות הציבור לקבל מוצרים מתורבתים, דבר שעדיין אינו ודאי בשלב זה.

בהתחשב בגורמים אלו, ייצור המוני של בשר ודגים מתורבתים בעלות תחרותית עשוי לקחת בין 5 ל-15 שנים, בהתאם לקצב ההתקדמות בטכנולוגיה, בעלויות הייצור ובאישורים הרגולטוריים ([McKinsey & Company](#)).

**הרחבת מקורות חלבון מאצות ומיקרו-אצות** יכולה להתרחש באופן יחסית מהיר, אם כי ישנם מספר חסמים שיש להתגבר עליהם. **טכנולוגיה וייצור:** אצות ומיקרו-אצות כבר מיוצרות בקנה מידה קטן עד בינוני למגוון יישומים, כולל מזון ותוספי תזונה. טכנולוגיות הגידול והקציר מבוססות יחסית, במיוחד עבור מינים כמו ספירולינה וכלורלה. עם זאת, הרחבת הייצור לקנה מידה תעשייתי לצורכי חלבון תדרוש

שיפורים בטכנולוגיית הביו-ריאקטורים, ניהול תאורה ואופטימיזציה של חומרי הזנה. תהליך זה עשוי להימשך 5 עד 10 שנים בהינתן השקעות מתאימות ([Future Insights](#)). **תשתיות**: גידול מיקרו-אצות דורש סביבות מבוקרות, בין אם במאגרים פתוחים או בביו-ריאקטורים סגורים, ששניהם דורשים השקעה משמעותית בתשתיות. ביו-ריאקטורים סגורים אמנם יעילים יותר, אך עלותם גבוהה ונדרש ידע מקצועי להפעלתם. הרחבת הייצור תתאפשר רק עם גידול במספר המתקנים מסוג זה ברחבי העולם ([BCG Global](#)). **תחרותיות בעלויות**: נכון להיום, חלבון מאצות יקר יותר בהשוואה לחלבונים מסורתיים מן הצומח, בעיקר בשל עלויות הייצור הגבוהות. שיפורים בשיטות הגידול, יחד עם יתרונות לגודל, עשויים להוריד מחירים בתוך 5-7 שנים, ובכך להפוך את החלבון מאצות לריאלי יותר לייצור תעשייתי בהיקפים גדולים ([McKinsey & Company](#)). **אישורים רגולטוריים וקבלת הצרכן**: בעוד שתוספי תזונה מבוססי אצות זוכים לאימוץ רחב, השימוש בחלבונים מאצות ומיקרו-אצות כמקור מזון מרכזי ידרוש אישורים רגולטוריים נוספים בשווקים מסוימים והגברת היכרות הצרכנים עם המוצרים. עם זאת, לאור היתרונות הסביבתיים של האצות, אימוץ הצרכנים עשוי להאיץ ברגע שהעלויות ירדו והמוצרים יהפכו לנגישים יותר.

לסיכום, עם גידול בהשקעות והתקדמות טכנולוגית, מקורות חלבון מאצות ומיקרו-אצות עשויים להתרחב באופן משמעותי במהלך 5-10 השנים הקרובות.

**הרחבת ייצור חלבון מחרקים** יכולה להתבצע באופן מהיר יחסית, שכן חקלאות חרקים יעילה במיוחד בהשוואה לגידול בעלי חיים מסורתיים. חרקים דורשים פחות מזון, מים ושטח, ומתאפיינים במחזורי רבייה מהירים, מה שהופך אותם לאידיאליים לייצור חלבון בקנה מידה רחב. חלבון מחרקים משמש כבר כיום כמזון לבעלי חיים, וצריכתו בקרב בני אדם נמצאת במגמת עלייה באזורים שונים בעולם.

**קבלת חלבון מחרקים בקרב הצרכנים**, במיוחד לצריכה אנושית, מציבה מספר אתגרים. **חסמים תרבותיים ופסיכולוגיים**: רבים מהצרכנים, במיוחד במדינות מערביות, חווים רתיעה טבעית מאכילת חרקים בשל טאבו תרבותי וגורם "תחושת הגועל". חרקים נתפסים לעיתים קרובות כמזיקים או כקשורים לחוסר ניקיון, מה שמקשה על נרמול צריכתם כמקור חלבון מקובל. שינוי תפיסה זה ידרוש חינוך ושיווק המדגישים את היתרונות הסביבתיים והתזונתיים של חלבון מחרקים ([World Economic Forum](#)). **Future Insights**. **גיבוש מוצרים וטעם**: למרות שחלבון מחרקים נחשב איכותי, אופן הצגתו משפיע על הקבלה של הצרכנים. הסבירות לאימוץ חלבון מחרקים עולה כאשר הוא מעובד לצורות מוכרות, כגון אבקות לשילוב בחטיפי חלבון או חטיפים מעובדים, במקום בצורת חרקים שלמים. בנוסף, יש להבטיח שהטעם והמרקם של המוצרים יהיו ניטרליים או מושכים, כדי להבטיח שביעות רצון של הצרכנים ([Future Insights](#)). **מסרים סביבתיים ובריאותיים**: אימוץ מוצלח של חלבון מחרקים תלוי במסגרת השיח הסביבתי, הממקם אותו כפתרון לבעיות כגון שינויי אקלים, שכן חקלאות חרקים דורשת פחות משאבים בהשוואה לגידול בעלי חיים מסורתיים. הדגשת היתרונות התזונתיים, כגון תכולת חלבון גבוהה ותכולה של רכיבי תזונה חיוניים, עשויה גם לסייע בהגברת קבלת המוצר על ידי הצרכנים ([BCG Global](#)). **שיקולי כשרות ושיקולים דתיים**: על פי כללי הכשרות, רק מינים מסוימים של חרקים, כגון סוגים מסוימים של ארבה, מותרים לאכילה, וגם אז, קביעת מעמדם הכשר עשויה להיות מורכבת. בהיעדר הנחיות ברורות מרשויות דתיות, ייתכן כי צרכנים שומרי כשרות יימנעו מאימוץ חלבון מחרקים, גם אם ייחשב בר-קיימא.

לסיכום, הרחבת הייצור וקבלת הצרכנים את החלבון מחרקים ידרשו התמודדות עם הטיית תרבותיות, הבהרת תקנות הכשרות, הצעת מוצרים בפורמטים מוכרים, וקידום היתרונות הסביבתיים והתזונתיים של מזונות מבוססי חרקים. לוח הזמנים להרחבת ייצור חלבון כשר מחרקים תלוי בפתרון סוגיות דתיות אלו ובקבלת אישור רגולטורי בשווקים מרכזיים. לאור היעילות של חקלאות חרקים, קיימת היתכנות לכך שחלבון מחרקים, לרבות אפשרויות בעלות אישור כשרות, יוכל להתרחב בטווח של 5-10 שנים,

אך ההתקדמות תושפע מהחלטת הרשויות הדתיות לגבי מעמד הכשרות של מינים מסוימים ואישור השימוש בהם בייצור מזון בהיקף רחב ([Future Insights](#))([McKinsey & Company](#)).

### 8.3 חוזקות, אתגרים ומחסומים

ייצור חלבון שאינו מן החי מציע מספר יתרונות משמעותיים לביטחון המזון של ישראל. עם זאת, הוא ניצב בפני אתגרים וחסימים משמעותיים המקשים על יישום רחב והשפעה מהותית של כל אחת מהפתרונות בישראל. הספרות המקצועית והשאלון שנערך בקרב מומחים מציגים מגוון סוגיות הקשורות לחלבונים שאינם מן החי.

לישראל **תלות גבוהה בחומרי גלם**, והסתמכותה המוגברת על רכיבים וחומרים מיובאים מציבה סיכונים ליציבות האספקה ולעלויות. כפי שצוין, מקורות חלבון שאינם מן החי, כגון חלבונים אלטרנטיביים, יכולים למלא תפקיד משמעותי בהתמודדות עם אתגר זה, באמצעות צמצום יבוא מספוא וחלבון מן החי והגברת שיעור ההסתמכות העצמית (SSR) של ישראל.

היתרונות בייצור חלבון אלטרנטיבי באים לידי ביטוי **בהשפעתו הסביבתית המופחתת**, שכן הוא דורש פחות משאבים, כגון קרקע ומים, בהשוואה לחקלאות בעלי חיים מסורתית<sup>83</sup>. בנוסף, ניתן להסב שטחים ששימשו בעבר לגידול מספוא לבעלי חיים לטובת גידול יכולים המיועדים ישירות לצריכה אנושית, דבר שעשוי לשפר את ביטחון המזון.<sup>84</sup>

עם זאת, גידול חקלאי בישראל נתקל באתגרים בשל תנאי האקלים וזמינות הקרקע, אשר מקשים על פיתוח גידולים עתירי מים ומחייבים פיתוח זנים עמידים. בנוסף, לחלק משיטות המיצוי, כגון מיצוי חלבון מן הצומח, יש השפעה סביבתית משמעותית, שכן הן דורשות כמויות גדולות של אנרגיה ומים ועלויות לכלול שימוש בכימיקלים המעלים חששות סביבתיים ובטיחותיים<sup>8586</sup>. לבסוף, אתגרי האקלים משפיעים על יכולת הקטניות וגידולים נוספים העשירים בחלבון מן הצומח ומדגישים את הצורך בפיתוח חדשני של זני גידול עמידים, על מנת להבטיח יציבות ועמידות של הייצור.

שיקולים נוספים כוללים את **היתרונות הבריאותיים** של תזונה מבוססת צומח<sup>87</sup>, לצד חששות בריאותיים הקשורים לצריכת חלבונים אלטרנטיביים. בניגוד לחקלאות בעלי חיים מסורתית, ייצור חלבון אלטרנטיבי אינו מסתמך על אנטיביוטיקה, ובכך מפחית את הסיכון להתפתחות חיידקים עמידים לאנטיביוטיקה, המהווים סוגיה משמעותית בבריאות הציבור.<sup>88</sup> חלק מהמשיבים בשאלון המומחים אינם מודאגים מסיכונים בריאותיים של הצרכנים, בעוד שאחרים ציינו סיכונים אפשריים הקשורים לצריכת מוצרים אולטרה-מעובדים. חגבים, לעומת זאת, נתפסים כאופציה בריאה יותר, שכן הם עוברים עיבוד מינימלי. עם זאת, העובדה שחלבונים אלטרנטיביים מסווגים כמזון מעובד אינה מעידה בהכרח על השפעתם הבריאותית, שכן בפרמטרים מסוימים הם עשויים אף לעלות על בשר, למשל בתכולת הסיבים, בהיעדר אנטיביוטיקה, ברמות שומן נמוכות יותר ועוד.

<sup>83</sup> [Bright Green Partners](#). Accessed December 2024.

<sup>84</sup> [BIS Research](#). Accessed December 2024.

<sup>85</sup> [Icos Capital](#). Accessed December 2024.

<sup>86</sup> [Earthshot Prize](#). Accessed December 2024.

<sup>87</sup> [VitalAbo](#). Accessed December 2024.

<sup>88</sup> [GFI](#). Alternative proteins can help prevent the next pandemic. Accessed December 2024.

קיימים גם **שיקולים אתיים ותרבותיים**, כגון רווחת בעלי החיים<sup>89</sup> ודיני הכשרות. גורמים אלה עשויים להשפיע באופן חיובי על אימוץ חלבונים אלטרנטיביים, במיוחד בקרב קהלים דתיים, כאשר חגבים נתפסים כהחייאת מסורת עתיקה. בנוסף, גורמים תרבותיים רחבים יותר, כגון חדשנות, קיימות, בריאות וטבעונות, יכולים לתרום לקבלת החלבונים האלטרנטיביים ולהרחבת השימוש בהם.

יש להביא בחשבון גם את **הצמיחה הכלכלית** ואת היתכנותה של תעשיית החלבון האלטרנטיבי. הצמיחה הכלכלית יכולה להתחזק באמצעות יצירת שווקים חדשים והרחבת אפשרויות תעסוקה<sup>90</sup>. בשנה האחרונה, משרד הבריאות הישראלי אישר שיווק **"בשר מתורבת"** מבוסס בקר<sup>91</sup>. עם זאת, עדיין קיימים אתגרים משמעותיים שיש להתמודד עמם. ייצור בשר מתורבת נותר מורכב מבחינת עלויות, כאשר העלות הנוכחית נעה בין \$37-\$50 לקילוגרם ומחירי הקמעונאות עומדים על כ-\$90 לקילוגרם, בהשוואה לכ-\$5 לקילוגרם עבור בשר טחון מסורתי. נוסף על כך, קיימים אתגרים הקשורים להרחבת הייצור. החלפת 1% בלבד משוק החלבון דורשת 220-440 מיליון ליטרים של קיבולת תסיסה (fermentation), כמות הגדולה משמעותית מהתפוקה הנוכחית של תעשיית הביו-פארמה. אחד המומחים שהשיבו לשאלון ציין כי השגת שוויון מחירים עבור בשר מתורבת תלויה בצמיחת התעשייה ובפיתוח טכנולוגיות המפחיתות עלויות ייצור, "הורדת עלויות הייצור לרמה תחרותית מול בשר מסורתי ... השקעות גבוהות בתשתיות ומחקר ופיתוח".

עם זאת, יש לציין כי הבשר המסורתי נהנה מסבסוד נרחב ברחבי העולם. העברת סובסידיות אלו לטובת השקעות בענף החלבון האלטרנטיבי עשויה להאיץ את השינוי בתעשייה<sup>92</sup>. עליית מחירי החלבון המסורתי ושיפור בזמינות חומרי הגלם ישפיעו גם הם על התמחור של החלבון החלופי. חדשנות בתחום הזנת חרקים ואוטומציה עשויים להפוך את ייצור החלבון מחגבים למשתלם יותר בתוך חמש שנים. עם זאת, יש להתמודד עם מגבלות ביולוגיות המשפיעות על ההיתכנות הכלכלית של הענף, בשל אתגרי הייצור והצורך בניהול פסולת בצורה יעילה.<sup>93</sup>

**השקעות הון** במתקנים מותאמים ובתשתיות בקנה מידה גדול חיוניות לפיתוח ענף החלבון האלטרנטיבי. עם זאת, קיים אתגר משמעותי בגיוס משקיעים מחוץ לישראל לתמיכה בחברות הזנק, בשל תפיסת הסיכון הגבוהה. לדוגמה, תחום התסיסה (fermentation) הוא תעשייה צעירה יחסית, שעדיין חסרה בה הבנה מספקת מצד משקיעים ומומחים. דרישות ההשקעה הגבוהות אינן יכולות להתבסס על משקיעי הון סיכון בלבד, ולכן יש צורך בכלים פיננסיים מפותחים יותר, כגון קרנות תשתית והבטחות מדינה. בנוסף, יש להביא בחשבון גם את **עלויות התפעול והשכר**. אף שישראל נהנית מכוח אדם מקצועי, מיומן ובעל מומחיות טכנולוגית גבוהה, מיומן עלויות השכר מהווה אתגר משמעותי. "רשות החדשנות והמדינה, מציעים מימון לשני נושאים מרכזיים: פיתוחים טכנולוגיים חדשים או השקעה בתשתיות. דווקא בתקופה שבה שימור הקיים והישרדותם הם הקריטיים ביותר, אין כיום כלים משמעותיים שתומכים בכך".

נדרשת השקעה משמעותית **בציוד עיבוד מתקדם** לשיפור היעילות ואיכות המוצרים. קיבולת ייצור מצומצמת פוגעת בתחרותיות, ומחייבת הקמת תשתיות בקנה מידה רחב. "כיום אין מתקן מאושר

<sup>89</sup> [Frontiers](#). Accessed December 2024.

<sup>90</sup> [CSIS](#). Accessed December 2024.

<sup>91</sup> Ministry of Health. First in the World: the Ministry of Health Has Approved Cattle-Based Cultivated Meat. Updated date: 24.01.2024. Accessed: December 2024.

GFI. (October 2021). [National Plan: Israel as a world leader in research, innovation and production of alternative protein – Executive Summary](#).

<sup>93</sup> Israel Innovation Authority.

לייצור מזון בקנה מידה תעשייתי והסקלה המקסימלית שניתן להגיע אליה מוגבלת בשל מגבלת משאבי חשמל ומים"<sup>94</sup>. בפיתוח של בשר מתורבת יש צורך גם ב"פיתוח מערכות קירור יעילות לשמירה על טריות המוצר והתמודדות עם אתגרי שינוע בתנאי אקלים חם".

המשיבים לשאלון המומחים ציינו מספר **חוזקות בתחום הייצור**, ובהן כוח אדם מיומן ומומחים ברמה גבוהה, תמיכת ממשלה בתחום המיקרו-אצות, תעשיית היי-טק מתקדמת בייצור באמצעות תסיסה (fermentation), תהליכי ייצור מתקדמים, וכן צרכנים המגלים עניין בניסיונות עם מוצרים חדשים. "עלויות הייצור בישראל, מזרעים להזנת בעלי החיים ועד עלויות כח אדם, גבוהות ומאתגרות ביחס לחלופות שונות בעולם. עם זאת, שילוב תערובות הזנה יבשות, שמפחיתות את עלות ההזנה ב-97% ... ומאפשרות שילוב אוטומציה מלאה לכל תהליכי הייצור, מאפשרות לצמצם משמעותית את פערי העלויות בין ישראל לבין העולם והפיכת מקור החלבון מחגבים לתחרותי ביותר ביחס לחלופות חלבון קיימות".

**ניהול לוגיסטי** מהווה אתגר משמעותי בטיפול בחומרי גלם מתכלים בעלי חיי מדף מוגבלים, שכן הוא מחייב תכנון לוגיסטי קפדני ואחסון בתנאי בקרת טמפרטורה.

**בקרת איכות**: הבטחת עקביות המוצר וניהול סיכוני זיהום דורשים יישום קפדני של נהלי בקרת איכות מחמירים.

כדי להתמודד עם אתגרים אלו, יש לטפל גם במורכבות **הרגולטורית**. תהליכי אישור מורכבים למוצרים חדשניים מציבים חסמים משמעותיים לכניסה לשוק. "פתיחות וחינוך של אנשי המקצוע במשרד הבריאות לזור הבא של רכיבי ומוצרי מזון. חייבים לעבוד איתם יחד ובצמוד כדי למצוא את הדרך להמשיך ולקדם [את התחום]".

יש להביא בחשבון שיקולים רגולטוריים בעת ייצור מקורות חלבון חדשים, במיוחד כאלו המופקים ממיקרואורגניזמים חדשניים או מחרקים<sup>95</sup>. אתגרים רגולטוריים אלו עשויים לכלול מגבלות סימון (למשל, האם ניתן לסמן בשר מתורבת כ"בשר"?), אשר עלולות להקשות על כניסה לשוק ולהשפיע על מידת קבלת המוצרים על ידי הצרכנים<sup>96</sup>. לכן, בעת בחינה של ייצור בשר מתורבת, יש לתת דגש על "התמודדות עם מסגרת רגולטורית מתפתחת לאישור בשר מתורבת והגדרת סטנדרטים לבטיחות ואיכות של מוצרי בשר מתורבת".

כמובן, כאשר בוחנים את **תפיסת הצרכנים**, חיוני להעניק חינוך ל"צרכן הישראלי לגבי בטיחות ויתרונות הבשר המתורבת והתמודדות עם שאלות כשרות ואתיקה". יש לזכור ש"הטעם הוא המלך והמרקם הוא המלכה". הגברת המודעות ליתרונות ולבטיחות של חלבונים אלטרנטיביים היא חיונית להבטחת קבלת הצרכנים. כמו כן, שיקולי כשרות עשויים להיות גורם מכריע באימוץ מוצרים אלו. "החסם העיקרי בפעילות [של] חרגול הוא התפישה של חרקים כמזון... הדרך המרכזית שזיהינו לשינוי התפיסה בישראל היא דרך היבט הכשרות וחידוש המסורת המקראית לאכילת חגבים. מסקרים שערכנו, כ-50% מהצרכנים שינו את התפישה שלהם כלפי המוצר והיו מעוניינים בו, כאשר למדו

<sup>94</sup> From an expert questionnaire

<sup>95</sup> AZTI. Accessed December 2024.

<sup>96</sup> Vox. Accessed December 2024.



שמדובר במוצר כשר". קבלה על ידי הצרכנים, התקבלות הצרכנים, הטעם וההיבטים הבריאותיים של חלבונים אלטרנטיביים מהווים אתגר נוסף שיש להתמודד עמו<sup>97</sup>.

למרות האתגרים והחסמים, כל המשיבים לשאלון המומחים מאמינים כי ייצור חלבון אלטרנטיבי בישראל הוא אפשרי. "בנימה אופטימית - למרות כל הנאמר לעיל, לישראל יתרון יחסי ביכולת לייצר חדשנות טכנולוגית ולמצוא פתרונות מעשיים".

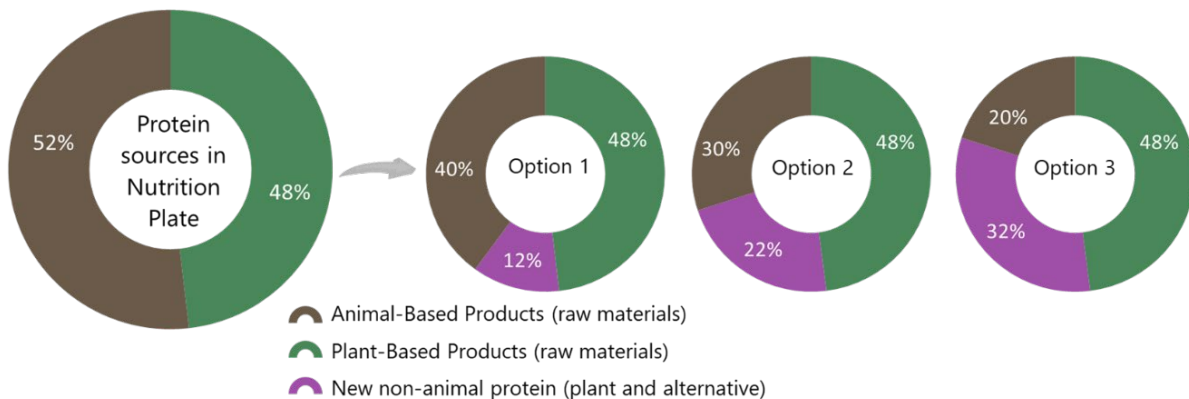
---

<sup>97</sup> [PubMed Central](#). Accessed December 2024.  
[Green Arc Capital](#). Accessed December 2024.

# 9. מהי כמות החלבון שאינו מן החי שישראל זקוקה לה

בהתבסס על צלחת התזונה המומלצת, לקראת שנת 2050 ישראל תזדקק לאספקה של 3,589 אלף טון של מוצרים מן הצומח (חומרי גלם) לעומת 316 אלף טון ייצור מקומי כיום, ול-3,862 אלף טון של מוצרים מן החי (חומרי גלם) לעומת 2,443 אלף טון ייצור מקומי (חומרי גלם) כיום. באמצעות מקורות חלבון שאינם מן החי, כגון חלבון מן הצומח, חלבון מתורבת, תסיסה מדייקת, אצות, חקלאות מולקולרית ועוד, ישראל יכולה להפחית את תלותה במוצרים מן החי לצורך צריכת חלבון. בהקשר זה, דוח הביניים שלנו מציע להפחית את חלקם של מוצרים מן החי ל-40% ואף ל-20% מכלל צריכת החלבון, מה שמייג הפחתה של 23%-61% בצריכת החלבון מן החי. לפיכך, אנו בוחנים שלוש אפשרויות לצריכת חלבון שאינו מן החי: הפחתת צריכת החלבון מן החי בתזונה הישראלית ל-40%, 30% ו-20% (ללא שינוי בכמות חומרי הגלם של מוצרים מן הצומח) (תרשים 7). יעד זה מציב אתגר משמעותי לייצור המקומי במטרה לעמוד ביעדים אלו. כפי שמוצג בטבלה 5, הביקוש למקורות חלבון חדשים שאינו מן החי יכול לנוע בין 79 אלף ל-212 אלף טון חלבון נטו לשנה, במקרה של הפחתת מוצרים מן החי ל-40% או 20% בהתאמה.

איור 7: התפלגות של מקורות חלבון על פי סוג מוצר, 2050



\* בהתבסס על צלחת התזונה, פרסום מכון שמואל נאמן (2024)<sup>98</sup>.  
 \* מוצרי חלבון מן החי (Animal-Based Protein Products) (חומרי גלם): בשר אדום ושומנים מהחי, עוף, ביצים, דגים, חלב ומוצרי חלב.  
 \* מוצרי חלבון מן הצומח (Plant-Based Protein Products) (חומרי גלם): דגנים ומוצריהם, אגוזים וזרעים, קטניות.  
 \* חלבונים חדשים שאינם מן החי (New non-animal protein): בשר ודגים מתורבתים, חלבונים מעובדים מהצומח, תסיסה מדייקת, חרקים, תפטיר ופטריית, חקלאות מולקולרית.

<sup>98</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', אילון, א', בלכמן, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', קליין, ר', שהם, א', ושפירא, נ' (2024). "צלחת המזון הישראלית ב-2050" דוח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

טבלה 5: תרחישים אפשריים לחלבון חדש שאינו מן החי (צמחי ואלטרנטיבי)  
 (אספקה זמינה 2050 של מוצרים מבוססי חלבון בתזונה הים תיכונית, טון לשנה)

% of Animal-Based Products (2050)	52%	40%	30%	20%
Animal-Based Protein Products (raw materials)	3,862 K	2,981 K	2,236 K	1,490 K
Plant-Based Protein Products (raw materials)	3,589 K	3,589 K	3,589 K	3,589 K
Animal-Based Net Protein (raw materials)	345 K	267 K	200 K	133 K
New non-animal protein (plant and alternative)	0	79 K	146 K	212 K

\* בהתבסס על הצלחת התזונתית המומלצת, פרסום מכון שמואל נאמן (2024)<sup>99</sup>.  
 \* מוצרי חלבון מן החי (Animal-Based Protein Products) (חומרי גלם): בשר אדום ושומנים מהחי, עוף, ביצים, דגים, חלב ומוצרי חלב.  
 \* מוצרי חלבון מן הצומח (Plant-Based Protein Products) (חומרי גלם): דגנים ומוצריהם, אגוזים וזרעים, קטניות.  
 \* חלבון נטו ממקורות מן החי (Animal-Based Net Protein) (חומרי גלם): חלבון נטו בחומרי גלם של בשר אדום ושומנים מהחי, עוף, ביצים, דגים, חלב ומוצרי חלב.  
 \* חלבונים חדשים שאינם מן החי (New non-animal protein): בשר ודגים מתורבתים, חלבונים מעובדים מהצומח, תסיסה מדייקת, חרקים, תפטיר ופטריות, חקלאות מולקולרית.

בעוד שהצורך בחלבון שאינו מן החי לצורך הפחתת השימוש בחלבון מן החי ברור, כמו גם היקפי הביקוש הצפויים, קיימת מורכבות בחיזוי התרומה של כל מקור טכנולוגי. תחזיות אלו עשויות להיות מאתגרות בגלל חסמים טכנולוגיים, פערים בהגדלת היקפי הייצור, עמידה ברגולציה והתאמותיה, קבלה על ידי הצרכנים, וכן קפיצות טכנולוגיות בלתי צפויות. כאשר מנסים לחזות את היקפי הצריכה העתידיים בפועל, החלוקות הן היפותטיות ומתבססות על מגמות נוכחיות בתעשייה ותחזיות עתידיות. לדוגמה, שוק החלבון האלטרנטיבי העולמי צפוי לצמוח באופן משמעותי, כאשר הערכות מצביעות על כך שהוא עשוי להגיע לכ-290 מיליארד דולר בשנת 2035, ולהוות כ-11% מצריכת החלבון העולמית השנתית<sup>100</sup>. דוגמה נוספת מצביעה על כך שגודל שוק החלבון האלטרנטיבי צפוי להגיע ל-74.67 מיליארד דולר ב עד סוף שנת 2037, עם קצב צמיחה שנתי ממוצע (CAGR) של כ-11.2% במהלך תקופת התחזית. היקף התעשייה של חלבון אלטרנטיבי בשנת 2025 מוערך בכ-20.26 מיליארד דולר<sup>101</sup>. המאפיין המשותף לכל התחזיות הוא ששוק החלבון האלטרנטיבי צפוי לצמוח באופן משמעותי ולהפוך לחלק מרכזי מצריכת החלבון השנתית.

השאלה הבאה היא, איזה חלק משוק החלבון החדש שאינו מן החי יתפס על ידי כל אחת מהטכנולוגיות? חלק מהאנליסטים מציעים כי שוק הבשר הכולל צפוי לצמוח עד שנת 2040, כאשר בשר מתורבת צפוי להוות כ-35%, תחליפי בשר טבעוניים חדשניים כ-25%, ובשר קונבנציונלי כ-40%<sup>102</sup>. מכיוון שאין אומדנים מדויקים לגבי חלוקת הייצור בין הטכנולוגיות האלטרנטיביות השונות, הערכנו את ההתפלגות באחוזים של האפשרויות האלטרנטיביות השונות. לפי הערכה אחת, בשר ודגים מתורבתים צפויים להחליף 25% מהבשר והדגים הקונבנציונליים, בעוד שחלבונים מעובדים מן הצומח צפויים לתפוס 30% מהשוק. בנוסף, מקורות חלבון חדשניים אחרים שאינם מן החי יהוו 45% מכלל החלבונים

<sup>99</sup> שמעוני, א', ציפרפל, ס', אילון, א', בלכמן, א', בן-חיים, י', דיין, ת', טל, ט', פורטונה, ג', פליגלמן, ע', רביב, א', קליין, ר', שהם, א', ושפירא, נ' (2024). "צלחת המזון הישראלית ב-2050" דוח ביניים במסגרת פרויקט ביטחון מזון ישראל 2050. מוסד שמואל נאמן.

<sup>100</sup> The Center for Strategic and International Studies (CSIS). (May 11, 2023). [Mitigating Risk and Capturing Opportunity: The Future of Alternative Proteins](#).

<sup>101</sup> Research Nester. Global Market Size, Forecast, and Trend Highlights Trends Over 2025-2037. Published: 11 October 2024. Accessed December 2024.

<sup>102</sup> Kearney. (2020). [When consumers go vegan, how much meat will be left on the table for agribusiness?](#).

האלטרנטיביים, כאשר תסיסה מדייקת תתרום 25%, חקלאות מולקולרית 5%, תפטיר ופטירות 8%, חרקים 2%, ואצות 5%.

לאור חוסר הוודאות בנוגע לחלק שכל טכנולוגיה תתפוס, אנו מציעים לאמץ קו חשיבה לפיו נפח החלבון החדש שאינו מן החי יתחלק בדמיון רב לחלוקת מקורות החלבון מן החי. טבלה 6 מציגה תרחישים אפשריים והשלכותיהם על הביקוש לחלבון מכל אחד מהסקטורים.

טבלה 6: דוגמה לתרחישים עבור חלבון חדש שאינו מן החי (צמחי ואלטרנטיבי) הנדרש לישראל בשנת 2050 לפי מקור ולפי שימוש

<sup>103</sup> ההתפלגות באחוזים בין המקורות השונים היא תרחיש אפשרי אחד בלבד – נועדה לצורך הדגמה ולא כתחזית מדויקת\*

Tons per Year		Cultivated Meat & Fish	Processed Plant-Based Proteins	Molecular Farming	Insects	Mycelium & Fungi	Precision Fermentation	Algae	To reduce animal protein to 40%	To reduce animal protein to 30%	To reduce animal protein to 20%
		25% of the total new non-animal protein	30% of the total new non-animal protein	5% of the total new non-animal protein	2% of the total new non-animal protein	8% of the total new non-animal protein	25% of the total new non-animal protein	5% of the total new non-animal protein	<b>Total Tons of final product reduced</b>		
Poultry									127 K	234 K	342 K
Dairy and dairy Products									488 K	900 K	1,312 K
Red meat and Animal fats									84 K	156 K	227 K
Eggs									82 K	151 K	220 K
Fish									101 K	186 K	271 K
To reduce animal protein to 40%	<b>Tons of new non-animal net protein</b>	14 K	23 K	1.9 K	2.9 K	4 K	6 K	3 K			
To reduce animal protein to 30%		25 K	44 K	2.3 K	3.4 K	8 K	11 K	6 K			
To reduce animal protein to 20%		37 K	64 K	2.6 K	3.9 K	12 K	16 K	9 K			

<sup>103</sup> Based on the nutrition plate, Samuel Neaman Institute publication (2024).

# 10. צעדים מרכזיים להשגת אספקת החלבון

## הנדרש שאינו מן החי עד שנת 2050

צמצום סיכונים בשרשרת האספקה של חלבון מן החי באמצעות מקורות חלבון שאינם מן החי. אספקת החלבון מן החי בישראל ניצבת בפני סיכונים משמעותיים בכל שלבי שרשרת האספקה. סיכונים אלו נובעים בעיקר מהתלות הגבוהה בייבוא מזון לבעלי חיים ומוצרים מן החי, ייצור מקומי מוגבל, וריכוז גיאוגרפי של מתקני הייצור באזורים קרובים לגבולות המדינה, הרגישים במיוחד במצבי קונפליקט. שינויי האקלים מחמירים את האתגרים האלו באמצעות הגברת תדירות אירועי מזג אוויר קיצוניים, ירידה בתפוקת גידול בעלי חיים, ועלייה בעלויות הייצור. בנוסף, קצב הקלקול המהיר של מוצרים מן החי, יחד עם אפשרויות אחסון מוגבלות ויקרות, מצמצם את הגמישות בניהול מצבי חירום. אופייה הריכוזי של שרשרת האספקה, בשילוב עם תלות בכוח עבודה זר, מגדילים עוד יותר את החשיפה לשיבושים פוטנציאליים. פגיעויות אלו מדגישות את הצורך הקריטי בגיוון אסטרטגי, חיזוק הייצור המקומי, והגברת החוסן של מערכת אספקת החלבון בישראל<sup>104</sup>. בקר ודגים הם המוצרים שנמצאים בסיכון הגבוה ביותר, ולאחריהם ביצים, עוף ומוצרי חלב.

**לכן, אספקת חלבון שאינו מן החי היא קריטית להבטחת ביטחון המזון של ישראל בשנת 2050.** באופן ספציפי, מקורות חלבון חדשים שאינם מן החי מהווים כלי מרכזי להפחתת צריכת החלבון מן החי לרמה של 20%-40% מכלל צריכת החלבון. במקביל, נדרש תכנון ברמה הלאומית לטיפול וגידול מקומי של קטניות.

### שמירה על מעמדה של ישראל כמעצמה בתחום החלבון שאינו מן החי

ישראל היא מובילה עולמית בחדשנות טכנולוגית בתחום החלבון שאינו מן החי בכל התחומים – החל מפתרונות מבוססי צומח, דרך תסיסה מדויקת, בשר, עוף ודגים מתורבתים, אצות, תפטיר ופטריות, ועד לחדשנות חקלאית לשיפור התשואה ואיכות גידולים של חלבון מן הצומח. מעמד זה חיוני לפיתוח פתרונות בני-קיימא לטווח הארוך. בנוסף, הוא מהווה נכס לאומי להבאת השקעות זרות ולפיתוח קשרים בין-לאומיים עם ספקים פוטנציאליים של חומרי גלם חיוניים.

על ישראל לחזק את התמיכה בסטארט-אפים בתחום האגרו-פוד והחלבון החדש שאינו מן החי, על מנת לבסס את מנהיגותה בהתמודדות עם אתגרי ביטחון המזון הגלובליים ולקדם מערכות מזון בנות-קיימא. מיזמים חדשניים של חלבון שאינו מן החי, כולל בשר מתורבת, מוצרים מהצומח ותסיסה מדויקת, נמצאים בחזית ההתמודדות עם מחסור במשאבים, שינויי האקלים והביקוש הגובר לחלבון בעולם.

עידוד פיתוח סטארט-אפים בתחום החלבון שאינו מן החי מתיישב עם מטרותיה של ישראל להפחתת פליטות גזי חממה בחקלאות, שמירה על משאבי מים והגברת עצמאותה בייצור מזון. על ידי מתן עדיפות למיזמים אלו, ישראל יכולה לתרום למערכת מזון גלובלית עמידה ובת-קיימא, תוך השגת יתרונות כלכליים וסביבתיים.

<sup>104</sup> בטחון מזון לאומי – אתגרי מערכות מזון מהחי בישראל GFI, 2024. ישראל

## התמודדות עם אתגר הראשוניות - FOAK (First-of-a-Kind)

בטכנולוגיות החדשניות שפותחו לייצור מקורות חלבון שאינם מן החי, סטארט-אפים נתקלים לעיתים קרובות במכשול משמעותי כאשר הם מתקרבים להקמת פעילות ייצור ראשונית מסוגה (FOAK) (בין אם מדובר במפעלים או בחקלאות בקנה מידה תעשייתי). ממשלות יכולות להתמודד עם אתגרים מרכזיים שעמם מתמודדים סטארט-אפים, כגון עלויות גבוהות, סיכונים טכניים ואי-ודאות בשוק, ובכך לאפשר להם לעבור מאבי-טיפוס לפתרונות משפיעים הניתנים להרחבה. ממשלת ישראל יכולה למלא תפקיד מרכזי בסיוע לסטארט-אפים להקים מתקני ייצור ראשוניים מסוגם (FOAK) באמצעות תמיכה פיננסית, גישה לתשתיות, סיוע רגולטורי והקלות בשוק. תמיכה פיננסית יכולה לכלול מענקים, סובסידיות, הלוואות בריבית נמוכה, ערבויות מדינה ותמריצי מס, אשר יסייעו בהפחתת העלויות הגבוהות והסיכונים הכרוכים בהרחבת טכנולוגיות חדשניות.

גישה למתקנים משותפים, אתרי ניסוי ותשתיות ממשלתיות מאפשרת לסטארט-אפים לאמת את מוצריהם ללא עלויות בלתי סבירות. סיוע רגולטורי, כגון ייעול הליכי רישוי, סיוע בעמידה בתקנים ובתהליכי הסמכה, עשוי לצמצם עיכובים ולהקל על כניסה לשוק. בנוסף, תמיכה יכולה להינתן באמצעות רכש ציבורי והסכמי רכישה מראש, שיספקו ביטחון הכנסה ושוק ראשוני קריטי להצלחה מסחרית.

### הגברת יכולות הייצור ההמוני

הגברת ייצור החלבון האלטרנטיבי דורשת השקעות משמעותיות. לדוגמה, הפחתת מוצרים מן החי ל-40% מכלל החלבון הנדרש לישראל ב-2050 המייצגת כ-63.5 אלף טון חלבון נטו של תחליפי בשר אדום, עוף, ביצים ודגים, וכ-14.7 אלף טון חלבון נטו של תחליפי חלב. במונחים של מוצרים סופיים, הפחתה זו תדרוש תוספת של 127 אלף טון מוצרי עוף שאינם מן החי, 488 אלף טון מוצרי חלב שאינם מן החי, 84 אלף טון מוצרי בשר אדום שאינם מן החי, 82 אלף טון ביצים שאינם מן החי, וכן 101 אלף טון דגים שאינם מן החי (טבלה 6).

נתונים אלו מייצגים אתגר לאומי משמעותי. בפסקה הבאה נסקור כמה מהאתגרים וההזדמנויות הקשורים לתהליך ההרחבה התעשייתית. להשגת היקפי ייצור כאלו של חלבונים חדשים שאינם מן החי בישראל, יידרשו השקעות משמעותיות. הערכה מוסכמת היא כי עלות מפעל לייצור 10,000 טון של בשר מתורבת או חלבון חלב אלטרנטיבי נעה 100-200 מיליון דולר. לדוגמה, חברת Believer Meat משקיעה 123 מיליון דולר במפעל לייצור 10,000 טון בשר מתורבת בשנה<sup>105</sup>. באופן דומה, בשנת 2022, לאחר גיוס של 120 מיליון דולר, הודיעה חברת Remilk על הקמת מפעל הייצור הראשון שלה לחלבונים מתסיסה מדייקת<sup>106</sup>. נתונים פומביים אלו מאששים את ההערכות של מומחי התעשייה בתחום.

לכן, מתקני הייצור שיתמכו בייצור חלופות אלו דורשים תשומת לב רצינית. על פי הערכות גסות, ההשקעות המצטברות במתקני ייצור שיאפשרו הפחתת השימוש בחלבון מן החי בישראל ל-20% עד 2050 עשויות לעלות על 2,000 מיליון דולר עבור תחליפי בשר אדום, עוף ודגים, ויותר מ-600 מיליון דולר עבור תחליפי חלבון חלב. רמת השקעה זו מחייבת סביבה רגולטורית ופיננסית תומכת.

<sup>105</sup> PR Newswire. (Dec 07, 2022). BELIEVER Meats Breaks Ground on Largest Cultivated Meat Production Facility in The World. Accessed December 2024.

<sup>106</sup> Remilk. (Apr 26, 2022). [Remilk to Build the World's Largest Precision Fermentation Facility](#). Accessed December 2024.

ההשקעה הנדרשת לקידום חלבונים חדשים שאינם מן החי בישראל בעשורים הקרובים תצטרך להיות מותאמת למגמות הגלובליות ולחשיבות האסטרטגית של תחום זה ברמה הלאומית. על פי הפורום הכלכלי העולמי (WEF) <sup>107</sup>, מימוש הפוטנציאל המלא של טכנולוגיות חלבון חדשות שאינן מן החי בעולם דורש השקעה ציבורית שנתית של 10 מיליארד דולר במחקר ופיתוח, מסחור ושיווק. בהתחשב במעמדה המוביל של ישראל בתחום זה, מוערכת השקעה שנתית של 100–200 מיליון דולר כתנאי הכרחי לתמיכה בתשתיות מו"פ, מתקני ייצור ניסיוניים, שיתופי פעולה ציבוריים-פרטיים ופיתוח שוק. מימון אסטרטגי זה יבטיח את התחרותיות והקיימות של ישראל במערכת הגלובלית הצומחת במהירות של חלבונים חדשים שאינם מן החי.

### קידום עצמאות (הסתמכות עצמית) בחלבון צמחי

חלבונים מן הצומח, הן בצורתם הטבעית והן כמוצרים מעובדים, ימשיכו למלא תפקיד מרכזי בהפחתת צריכת חלבונים מן החי. לכן, לצד קידום פתרונות טכנולוגיים חדשניים, יש להבטיח אספקה מספקת של חלבונים צמחיים.

המקור המרכזי לחלבון מן הצומח הוא קטניות. על מנת להגדיל את ייצור הקטניות, ישראל יכולה לאמץ גישה רב-ממדית המשלבת טכנולוגיות חקלאיות מתקדמות, מחקר ותמיכה מדינית. פיתוח זני זרעים בעלי תנובה גבוהה ועמידות לבצורת, המתאימים לאקלים צחיח-למחצה, יחד עם שימוש בטכנולוגיות של חקלאות מדייקת כמו השקיה בטפטוף וחישה מרחוק, יכולים לייעל את היבולים תוך שמירה על משאבים. שיקום קרקעות שוליות באמצעות גידולים עמידים למליחות ושיפור מבנה הקרקע יכולים להרחיב את השטחים הראויים לעיבוד חקלאי. בנוסף, מחזור גידולים וחקלאות של גידולים משולבים (intercropping) משפרים את פוריות הקרקע ותורמים לקיימות ארוכת טווח של מערכות חקלאיות. תמריצים פיננסיים, כגון סובסידיות ותוכניות רכש ממשלתיות מובטחות, יכולים לעודד חקלאים להעדיף גידול של קטניות.

מחקר בתחום זני קטניות עמידים למזיקים ותנאי אקלים קיצוניים, לצד פיתוח אסטרטגיות מתקדמות לניהול מזיקים ומחלות, חיוני להפחתת אובדן היבולים ולהגברת התפוקה. בנוסף, קידום קטניות כמרכיב מרכזי בתזונה הים תיכונית יכול להניע ביקוש מקומי ולהגביר את צריכתן. אסטרטגיה משולבת זו יכולה לשפר את ייצור הקטניות ולתרום לצמיחתו של סקטור המזון המבוסס על צומח.

כמו כן, יש צורך ברור לשלב מאמצי השבחה גנטית כדי לענות על הביקוש הגובר למוצרים מן הצומח. תוכניות השבחה צריכות להתמקד בשיפור התכונות הפונקציונליות והתזונתיות של חלבוני קטניות, תוך התחשבות בהתאמתם לעיבוד תעשייתי. מאמצים אלה חיוניים לא רק להבטחת התאמה להנחיות תזונתיות, אלא גם להתאמת המוצרים להעדפות הצרכנים ולפיתוח מוצרים איכותיים וברי-קיימא.

באמצעות שילוב אסטרטגיות של השבחה גנטית ופיתוח חקלאי, ישראל יכולה לשפר את ייצור הקטניות, ובכך לתרום הן לביטחון המזון והן לקיימות של המערכות החקלאיות.

<sup>107</sup> World Economic Forum. (May 2024). ['צירת אקוסיסטם פודטק חדשני: האופן שבו מקדמת ישראל מובילות טכנולוגית עולמית בתחום החלבון האלטרנטיבי](#). נייר עמדה. בשיתוף רשות החדשנות IR4C, ישראל | Institute Food (Israel) GFI – Good The.



## 11. ביבליוגרפיה

- Bhat ZF, Kumar S, Bhat HF. In vitro meat: A future animal-free harvest. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2017 Mar 4;57(4):782-789. doi: 10.1080/10408398.2014.924899. PMID: 25942290.
- Benković M, Jurinjak Tušek A, Sokač Cvetnić T, Jurina T, Valinger D, Gajdoš Kljusurić J. [An Overview of Ingredients Used for Plant-Based Meat Analogue Production and Their Influence on Structural and Textural Properties of the Final Product](#). *Gels*. 2023; 9(12):921
- Chan, M. and Lu W. (2024, September 25). Future of food: Exploring the rise of cultivated meat. *Imperial College London Institute for Molecular Science and Engineering*. <https://www.imperial.ac.uk/news/254204/future-food-exploring-rise-cultivated-meat/>
- Chandimali, N., Park, E. H., Bak, S. G., Won, Y. S., Lim, H. J., & Lee, S. J. (2024). Not seafood but seafood: A review on cell-based cultured seafood in lieu of conventional seafood. *Food Control*, 110472.
- Collett K, O'Callaghan B, Mason M, Godfray C, Hepburn C. 2021. [The climate impact of alternative proteins](#) Rep. Smith Sch. Enterp. Environ., Univ. Oxford Oxford, UK
- Fresán et al. (2019). Fresán, U., & Sabaté, J. (2019). Vegetarian diets: Planetary health and its alignment with human health. *Advances in Nutrition*, 10, 380S–390S. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy103>
- Goldstein et al. (2017). Goldstein, B., Moses, R., Sammons, N., & Birkved, M. (2017). Potential to curb the environmental burdens of American beef consumption using a novel plant-based beef substitute. *PLoS ONE*, 12(12), e0189029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189029>
- Herrero, M., et al. (2013). "Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52), 20888–20893. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308149110>
- Karabulut, G., Goksen, G., & Khaneghah, A. M. (2024). Plant-based protein modification strategies towards challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101017.
- Heusala et al. a (2020), Heusala, H., Sinkko, T., & Mogensen, L. (2020a). Carbon footprint and land use of food products containing oat protein concentrate. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124098. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124098>
- Heusala et al. b (2020), Heusala, H., Sinkko, T., Sözer, N., Hytönen, E., Mogensen, L., & Knudsen, M. T. (2020b). Carbon footprint and land use of oat and faba bean protein concentrates using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118376>
- Jang, J., Lee, DW. [Advancements in plant based meat analogs enhancing sensory and nutritional attributes](#). *NPJ Sci Food* 8, 50 (2024).

- Järviö et al. 2021 Järviö, N., Maljanen, N. L., Kobayashi, Y., Ryyänen, T., & Tuomisto, H. L. (2021). An attributional life cycle assessment of microbial protein production: A case study on using hydrogen-oxidizing bacteria. *Science of the Total Environment*, 776, 145764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145764>
- Kim TK, Yong HI, Kim YB, Kim HW, Choi YS. [Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends.](#) *Food Sci Anim Resour.* 2019b;39:521–540. doi: 10.5851/kosfa.2019.e53.
- Kim TK, Cha JY, Yong HI, Jang HW, Jung S, Choi YS. [Application of Edible Insects as Novel Protein Sources and Strategies for Improving Their Processing.](#) *Food Sci Anim Resour.* 2022 May;42(3):372-388.
- Knychala MM, Boing LA, Ienczak JL, Trichez D, Stambuk BU. [Precision Fermentation as an Alternative to Animal Protein, a Review.](#) *Fermentation.* 2024; 10(6):315.
- Lange KW and Nakamura Y (2023) [Potential contribution of edible insects to sustainable consumption and production.](#) *Front. Sustain.* 4:1112950.
- Laroche, M., Perreault, V., Marciniak, A., Mikhaylin, S., & Doyen, A. (2022). Eco-efficiency of Mealworm (*Tenebrio molitor*) protein extracts. *ACS Food Science & Technology*, 2(7), 1077-1085.
- Malilla et al. (2024); Malila, Y., Owolabi, I. O., Chotanaphuti, T., et al. (2024). Current challenges of alternative proteins as future foods. *npj Science of Food*, 8, 53. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00168-y>
- Mattick, C.S., Landis, A.E., & Allenby, B. (2015). "A case for systemic environmental analysis of cultured meat." *Journal of Integrative Agriculture*.
- Molfetta M, Morais EG, Barreira L, Bruno GL, Porcelli F, Dugat-Bony E, Bonnarme P, Minervini F. [Protein Sources Alternative to Meat: State of the Art and Involvement of Fermentation.](#) *Foods.* 2022 Jul 12;11(14):2065.
- Pan H, Pei F, Ma G, Ma N, Zhong L, Zhao L, Hu Q. 3D printing properties of *Flammulina velutipes* polysaccharide-soy protein complex hydrogels. *J Food Eng.* 2022;334:111170. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111170.
- Potter, G., Smith, A. S., Vo, N. T., Muster, J., Weston, W., Bertero, A., ... & Rostain, A. (2020). A more open approach is needed to develop cell-based fish technology: it starts with zebrafish. *One Earth*, 3(1), 54-64.
- Santo, R. E., et al. (2020). Considering plant-based meat substitutes and cell-based meats: A public health and food systems perspective. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 134. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00134>
- Seah JSH, Singh S, Tan LP, Choudhury D. [Scaffolds for the manufacture of cultured meat.](#) *Crit Rev Biotechnol.* 2022 Mar;42(2):311-323.

- Services, D.-G. et al., 2024. [Alternative protein sources for food and feed](#), Publications Office of the European Union. Belgium.
- Seves et al. (2017), Seves, S. M., Verkaik-Kloosterman, J., Biesbroek, S., et al. (2017). Are more environmentally sustainable diets with less meat and dairy nutritionally adequate? *Public Health Nutrition*, 20(11), 2050–2062. <https://doi.org/10.1017/S1368980017000476>
- Sinke et al. (2023). Sinke, P., et al. (2023). Ex-ante life cycle assessment of commercial-scale cultivated meat production in 2030. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 28, 234–254. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02060-y>
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A. *et al.* Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. *Int J Life Cycle Assess* **20**, 1254–1267 (2015).
- Smetana S, Ristic D, Pleissner D, Tuomisto HL, Parniakov O, Heinz V. [Meat substitutes: Resource demands and environmental footprints](#). *Resour Conserv Recycl*. 2023 Mar;190:106831.
- Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>
- Tuomisto, H.L. & de Mattos, M.J. (2011). "Environmental impacts of cultured meat production." *Environmental Science & Technology*.
- Smetana, S., Ristic, D., & Heinz, V. (2018). Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. *Journal of Food Engineering*, 229, 83–85. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.009>
- Smetana et al. 2023, Smetana, S., Ristic, D., Pleissner, D., Tuomisto, H. L., Parniakov, O., & Heinz, V. (2023). Meat substitutes: Resource demands and environmental footprints. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106831. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106831>
- Tuomisto, H., Ellis, M., & Hastrup, P. (2014). Environmental impacts of cultured meat: Alternative production scenarios. In R. Schenck & D. Huizenga (Eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector* (pp. 1360–1366). ACLCA.
- Ulmer et al. (2020). Ulmer, M., Smetana, S., & Heinz, V. (2020). Utilizing honeybee drone brood as a protein source for food products: Life cycle assessment of apiculture in Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104576. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104576>.
- Upcraft et al. 2021; Upcraft, T., Tu, W.-C., Johnson, R., Finnigan, T., van Hung, N., Hallett, J., & Guo, M. (2021). Protein from renewable resources: Mycoprotein production from agricultural residues. *Green Chemistry*, 23, 1071–1080. <https://doi.org/10.1039/D0GC03467B>
- Van der Weele C., Feindt P., Jan van der Goot A., van Mierlo B., [van Boekel M.](#) [Meat alternatives: an integrative comparison](#) (2019) *Trends in Food Science and Technology*, 88 , pp. 505-512.

Vural Gursel, I., Sturme, M., Hugenholtz, J., & Bruins, M. (2022). *Review and analysis of studies on sustainability of cultured meat*. Wageningen Food & Biobased Research. <https://doi.org/10.18174/563404>



neaman.org.il

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

מזון ומים