ניתוח מחזור חיים - LCA

בחינת ההשפעות הסביבתיות של מחזור חיי מלפפונים (גידול, שיווק וצריכה)

בוצע עבור: מרכז ויץ לפיתוח בר קיימא

מרץ 2025 (מהדורה 1)

אלי שמושקו, יעד ירוק

תוכן עניינים

1. תקציר מנהלים ..... עמ' 3
2. הקדמה ..... עמ' 3-4
2.1 כללי ..... עמ' 3
2.2 כלים בשימוש ..... עמ' 3
2.3 ההשפעות הסביבתיות שנבחנו ..... עמ' 4
3. המודל..... עמ' 4-7
3.1 כללי ..... עמ' 4
3.2 שלבי מחזור החיים ..... עמ' 5
3.3 היחידה התפקודית ..... עמ' 5
3.4 מודל הצריכה ..... עמ' 5
3.5 מודל האריזה ..... עמ' 6
3.6 תרחישי סוף חיים ..... עמ' 6
3.7 נתונים והנחות ..... עמ' 6-7
4. תוצאות ..... עמ' 8-11
5. רשימת נספחים ..... עמ' 11

1. תקציר מנהלים

לטובת משרד החקלאות וביטחון מזון, בוצע בשיתוף פעולת עם מרכז ויץ, מחקר LCA – ניתוח מחזור חיים לגידול ושיווק מלפפונים. כיוון ששיווק מלפפונים בישראל נעשה כיום בעיקר באמצעות מכירה בתפזורת וכיוון שסוף חייהם תלוי רבות באופי הצרכן ובתשתיות הזמינות לטיפול בפסולת, נבחנו במסגרת מחקר זה מספר תרחישים שונים הן מבחינת הרגלי הצריכה (נבחן אופי שלוש משפחות מייצגות – חסכנית, ממוצעת ובזבזנית) הן מבחינת סוג האריזה (נבחנו 3 סוגי אריזות ורכישה בתפזורת) והן מבחינת זמינות תשתיות הטיפול בפסולת (נבחן המצב הקיים בישראל עת ביצוע המחקר ומצב עתידי עפ"י תכניות המשרד להגנת הסביבה).

תוצאות המחקר מצביעות על כך שעיקר ההשפעה הסביבתית במחזור חיי המלפפונים, מקורה בשלב גידול המלפפונים, הן מהתשומות לתהליך והן מכמויות הפסולת האורגנית (פחת המלפפונים) מהתהליך. בנוגע לאריזות השונות שנבחנו, ההשפעה של כולן נמצאה זניחה לעומת ההשפעות הסביבתיות בשלב הגידול.

2. הקדמה

2.1 כללי

נציגי החטיבה למחקר, כלכלה ואסטרטגיה באגף תוצרת הארץ של משרד החקלאות וביטחון המזון ביקשו לערוך בסיוע מרכז ויץ, מחקר ניתוח מחזור חיים (LCA – Life Cycle Assessment) אודות גידול, שיווק וצריכה של מלפפונים בתצורות אריזה שונות. מחקרים קודמים בהם נבדקו מלפפונים המשווקים בישראל מצאו שאריזת התוצרת במארז פלסטיק יכולה להאריך חיי-מדף במידה משמעותית ולסייע בכך בצמצום ניכר של כמות התוצרת שאינה מגיעה לכדי צריכה. לצד זאת, עלתה סוגיית ההשפעות הסביבתיות הכרוכות באריזת התוצרת. הרי שגם לייצור חומרי הגלם לאריזה, לתהליך האריזה ולסוף חיי האריזות ישנן השפעות סביבתיות. לפיכך, מטרת מחקר זה הינה חישוב ההשפעות הסביבתיות של מחזור חיי מלפפונים, החל משלב הגידול וכלה בסוף חייהם ובחינה האם המדרך הסביבתי של אריזות אכן שווה את "שימור" המזון ואת צמצום בזבוז המזון.

כיוון ששיווק מלפפונים בישראל נעשה כיום בעיקר באמצעות מכירה בתפזורת וכיוון שסוף חייהם תלוי רבות באופי הצרכן ובתשתיות הזמינות לטיפול בפסולת, נבחנו במסגרת מחקר זה מספר תרחישים שונים הן מבחינת הרגלי הצריכה (נבחן אופי שלוש משפחות מייצגות – חסכנית, ממוצעת ובזבזנית) הן מבחינת סוג האריזה (נבחנו 3 סוגי אריזות ורכישה בתפזורת) והן מבחינת זמינות תשתיות הטיפול בפסולת (נבחן המצב הקיים בישראל עת ביצוע המחקר ומצב עתידי עפ"י תכניות המשרד להגנת הסביבה).

2.2 כלים בשימוש

ההשפעות הסביבתיות חושבו באמצעות תוכנת OpenLCA V2.0 ובסיס נתונים Ecoinvent V3.10. שיטת החישוב בה נעשה שימוש היא באמצעות המודל של CML-IA Basline.

2.3 ההשפעות הסביבתיות שנבחנו

- Global warming (GWP100a) – פליטות גזי חממה לאטמוספירה באינדיקטור לפוטנציאל תרומה להתחממות גלובלית. פחמן דו חמצני, מתאן וגזים נוספים הנפלטים לאטמוספירה משמשים כשמיכה תרמית של כדור הארץ. קרינת חום המגיעה מהשמש מוחזרת מפני השטח, אינה משתחררת לאטמוספירה וגורמת להתחממות כדור הארץ. פוטנציאל הפירוק לאורך 100 שנים. מבוטא ביח' ק"ג ש"ע CO_2.
- Abiotic depletion – פוטנציאל הידלדלות משאבים א-ביוטיים (מינרלים ומתכות). אפיון הפוטנציאל מבוסס על כמות העתודות שנותרו והיקפי המיצוי שלהן. מבוטא ביח' ק"ג ש"ע אנטימון.
- Abiotic depletion (fossil fuels) – פוטנציאל הידלדלות משאבים א-ביוטיים (דלקים מאובנים). אפיון הפוטנציאל מבוסס על כמות העתודות שנותרו והיקפי המיצוי שלהן. מבוטא ביח' אנרגיה (MJ).
- Acidification - פליטת מזהמים בעלי תרומה להיווצרות משקעים חומציים. מבוטא ביח' ק"ג ש"ע SO_2.
- Eutrophication – פוטנציאל ההשפעה של פליטת נוטריינטים למקווי מים אשר גורמים לפריחת אצות. תופעה זו מביאה לירידה בריכוז החמצן המומס במים ובכך לתמותת אורגניזמים ופגיעה באיזון המערכת האקולוגית. מבוטא ביח' ק"ג ש"ע PO_4^-.
- Fresh Water Aquatic Ecotoxicity – פוטנציאל זיהום והרעלה ע"י כימיקלים של מערכות אקולוגיות במים מתוקים, גורם לצמצום המגוון הביולוגי ולהיכחדות מינים. מבוטא ביח' ש"ע kg1.4-DB (dichlorobenzene).
- Human toxicity – פוטנציאל השפעת מזהמים על בריאות האדם, מבוטא כעליה בתמותה בקרב האוכלוסייה. מבוטא ביח' ש"ע kg1.4-DB (dichlorobenzene).
- Marine Aquatic Ecotoxicity – פוטנציאל זיהום והרעלה ע"י כימיקלים של מערכות אקולוגיות במים מלוחים, גורם לצמצום המגוון הביולוגי ולהיכחדות מינים. מבוטא ביח' ש"ע kg1.4-DB (dichlorobenzene).
- Ozone Layer Depletion – פוטנציאל הידלדלות שכבת האוזון בסטרטוספירה. מבוטא ביח' ק"ג ש"ע CFC-11.
- Photochemical oxidation– פוטנציאל יצירת ערפיח קיצי ע"י התחמצנות של מזהמים מקרינת השמש. מבוטא ביח' ק"ג ש"ע C_2H_4 (אתילן, NMVOC).
- Terrestrial ecotoxicity – פוטנציאל זיהום והרעלה ע"י כימיקלים של מערכות אקולוגיות יבשתיות, גורם לצמצום המגוון הביולוגי ולהיכחדות מינים. מבוטא ביח' ש"ע kg1.4-DB (dichlorobenzene).

3. המודל

3.1 כללי

בניית המודל נעשתה בשיתוף עם נציגי מרכז ויץ (פלג עתיר ועדי דישון), נציגת משרד החקלאות וביטחון מזון (ציפי פרידקין) ויועצת אקדמית מטעם מרכז ויץ (חגית אולנובסקי). הנתונים, אפיון הפרמטרים ואפיון התרחישים המפורטים מטה הינם תולדה של דיונים בנושא, איסוף מידע מהספרות וסיורים במשקים חקלאיים רלוונטיים.

3.2 שלבי מחזור החיים

המודל מתייחס לגידול מלפפונים במשק, מייצג את השלבים השונים במחזור החיים של מלפפון בשוק בישראל וכולל את התשומות והתפוקות כלהלן:

1. גידול מלפפונים בחממות – צריכת מים להשקיה, חומרי הדברה ודישון (כולל אריזות), דלקים למיכון חקלאי, אנרגיה למשאבות מים, יריעות פלסטיק לחקלאות ופסולת.
2. מיון ואריזה – חומרי גלם, אנרגיה ופסולת.
3. אחסון ושיווק – אנרגיה, חומרי גלם לאריזה, פסולת והובלות.
4. צריכה – פסולת אריזות ופסולת אורגנית (סוף חיים).

3.3 היחידה התפקודית

הנחת הבסיס למודל הינה כי משפחה ישראלית צורכת (ואוכלת) 50 ק"ג מלפפונים בשנה, כאשר ביוון שהתנהלות צרכנית משתנה מבית אב אחד לאחר, הכמות הנרכשת והכמות המושלכת כפסולת משתנות.

3.4 מודל הצריכה

לטובת קבלת תוצאות מייצגות, הוגדרו 3 סוגי משפחות – בזבזנית, ממוצעת וחסכנית. עבור כל משפחה הוגדר תרחיש הן של רכישת מלפפונים ארוזים והן של רכישת מלפפונים בתפזורת, שכן לאופן האחסון השפעה על חיי המדף במקרר הביתי.

המשפחה החסכנית הוגדרה כבזו אשר לא זורקת מלפפונים כלל, בין אם רוכשת אותם ארוזים או בתפזורת.

המשפחה הבזבזנית הוגדרה כבזו אשר זורקת 50% מהמלפפונים אשר היא רוכשת, בין אם רוכשת אותם ארוזים או בתפזורת. עבור המשפחה הממוצעת חושב פחת המלפפונים באמצעות רקורסיה ועפ"י נתוני מחקרי צריכה שנעשו בעבר (ראה נספח מס' 3 – הערכת צריכת מלפפונים – חגית אולנובסקי).

	Kg bought / year	Kg eaten / year	Kg thrown / year
Eco family – **bulk**	50	50	0
Eco family – **packed**	50	50	0
Israeli family – **bulk**	71.5	50	21.5
Israeli family – **packed**	54.5	50	4.5
Spender family – **bulk**	100	50	50
Spender family – **packed**	100	50	50

טבלה מס' 1: תרחישי הצריכה של המשפחות השונות.

3.5 מודל האריזה

על מנת לבחון מצב עתידי בו מלפפונים ימכרו ארוזים לטובת הארכת חיי המדף שלהם, נלקחו בחשבון 4 תרחישים: שקית חינמית PE, שקית PP, מגש PS עטוף PVC, תפזורת (כולל שקית חינמית PE).

3.6 תרחישי סוף חיים

נבחנו שני תרחישים – אחד המדמה את מצב תשתיות איסוף וטיפול בפסולת כיום ואחר המדמה מצב עתידי בהתאם לתכניות המפורסמות ע"י המשרד להגנת הסביבה (ראה טבלה מס' 2).

במצב הקיים נלקחו בחשבון הטמנה בלבד עבור פסולת אורגנית והטמנה או השבה (RDF) עבור פסולת אריזות.

במצב העתידי נלקחו בחשבון טיפולים נוספים – קומפוסטציה ועיכול אנאירובי לפסולת אורגנית ומחזור פסולת אריזות.

End of life scenarios				
	1 Scenario		Scenario 2	
	Organic	**Packaging**	**Organic**	**Packaging**
Landfill	100%	95%	55%	55%
RDF	0%	5%	0%	22.5%
Composting	0%	0%	22.5%	0%
digestion Anaerobic	0%	0%	22.5%	0%
Recycling	0%	0%	0%	22.5%

טבלה מס' 2: תרחישי סוף חיים

3.7 נתונים והנחות

כלל הנתונים נאספו ע"י צוות הפרויקט מטעם מרכז ויץ – פלג עתיר וחגית אולנובסקי ופירוט הנתונים בהם נעשה שימוש מופיע בנספח 1 – נתונים מודל מלפפונים.

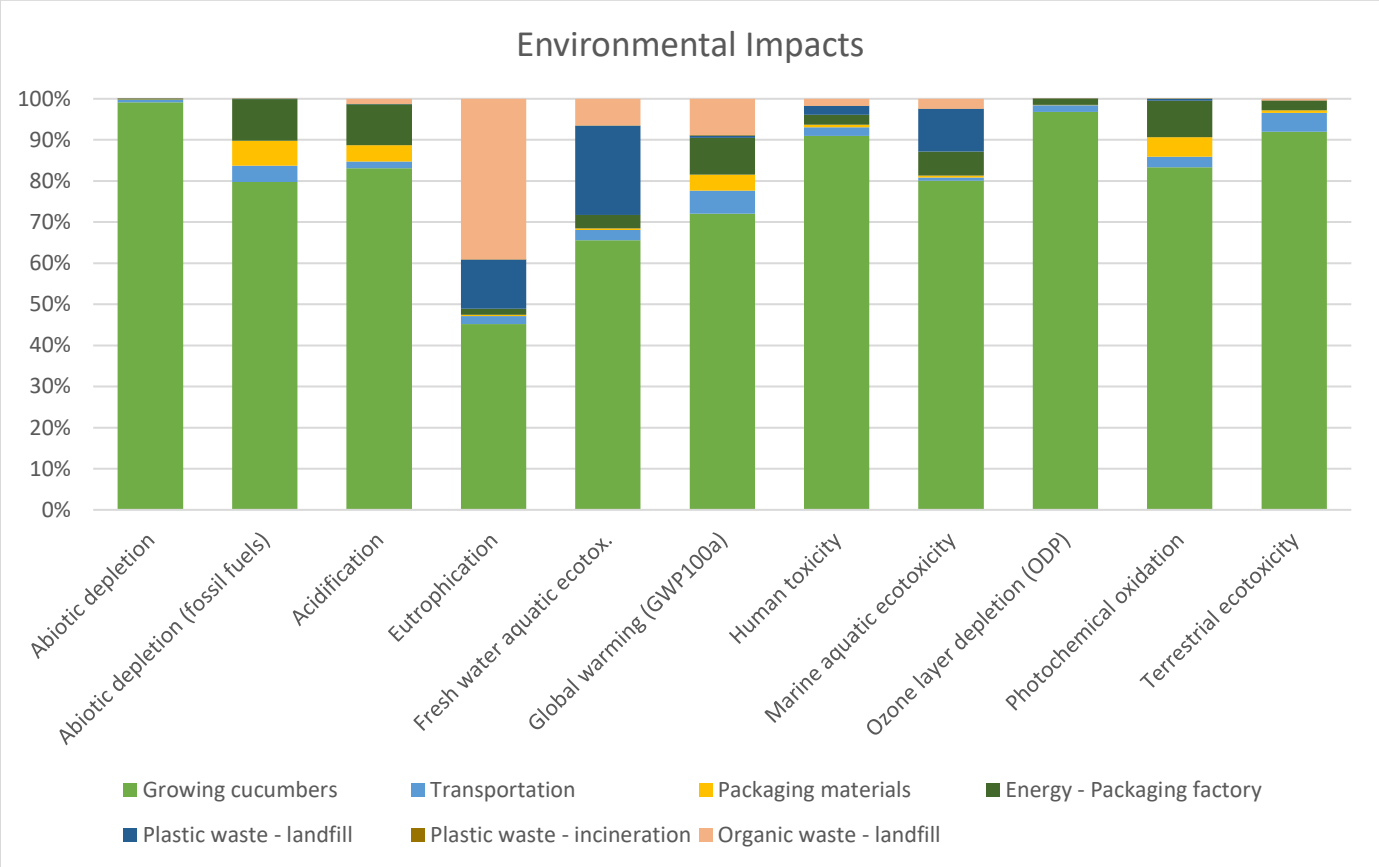
- כמות מלפפונים נדרשת לגידול – חושבה עפ"י מודל הצריכה המתואר בסעיף 3.4 לעיל.
- צריכת מים להשקיה – חושבה עפ"י מקדמי השקיה למלפפונים (ספרות מקצועית – משרד החקלאות).
- חומרי הדברה – סוגים וכמויות עפ"י מידע שהתקבל ממגדלים (משרד החקלאות).
- דשן – סוגים וכמויות עפ"י תחשיב משרד החקלאות משנת 2023.
- צריכת סולר למיכון חקלאי – מידע שהתקבל ממכון וולקני (כולל פעילות בחממות והובלה מהחממות לבית האריזה).
- צריכת חשמל למשאבות מים – מידע שהתקבל ממכון וולקני.
- אריזות חומרי הדברה ודישון – הוזנחו מהמודל תחת ההנחה כי כמותן ביחס ליחידת התועלת זניחה.

- פחת תוצרת חקלאית בשלב הגידול – לא נמצא מידע מהימן בנוגע לפחת בחממות. נלקח בחשבון פחת של 33% במשק אשר כולל את הפחת בחממה ובבית האריזה (מידע משוכלל שהתקבל מראיונות עם חקלאים ומחקר של מכון וולקני[1]).
- ציוד חקלאי (יריעות לחממות, יריעות חיפוי קרקע וחוטי הדליה) – נתונים מהספרות (ראה פירוט בנספח 1– נתונים מודל מלפפונים).
- מרחק הובלת פסולת להטמנה – הערכה של 100 ק"מ בהתאם לתשתיות בישראל.
- מרחק הובלת פסולת להשבה (RDF) – הערכה של 30 ק"מ בהתאם לתשתיות בישראל.
- מרחק הובלת פסולת למחזור – הערכה של 30 ק"מ בהתאם לתשתיות בישראל.
- משקל אריזות – מנתוני שקילה שנערכה במכון וולקני באמצעות משקל אנליטי לטובת מחקר זה.
- צריכת חשמל למכונת מיון ואריזה – מידע שהתקבל ממכון וולקני[2].
- צריכת חשמל לאחסון בקירור בבית האריזה – מידע שהתקבל ממכון וולקני[2].
- פסולת אריזות בבית האריזה – הוזנח. כמויות אפסיות עפ"י מידע שהתקבל מהחקלאים.
- הובלה למרכז לוגיסטי טרם הפצה לרשתות השיווק – הערכה של 50 ק"מ בהתאם לתשתיות בישראל.
- צריכת חשמל לקירור במרכז לוגיסטי – הוזנח תחת ההנחה שהנתון זהה בכל התרחישים.
- הובלה לרשתות השיווק – הערכה של 50 ק"מ בהתאם לפריסה בישראל.
- פחת תוצרת חקלאית ברשתות השיווק – עפ"י מידע שהתקבל מהרשתות.
- הובלה לבית הצרכן מרשתות השיווק – הוזנח תחת ההנחה שהנתון זהה בכל התרחישים.
- פסולת אריזות ופסולת אורגנית (פחת) בבית הצרכן – חושבה עפ"י מודל הצריכה המתואר בסעיף 3.4 לעיל.
- צריכת חשמל לקירור בבית הצרכן – הוזנח תחת ההנחה שהנתון זהה בכל התרחישים.

[1] דוח סקירת פחתים בפירות וירקות בשלב הקטיף 2016, ד"ר רון פורת, ציפי פרידקין, ד"ר נעמי בק, ברכה גל
[2] מידע שהתקבל מרוני אמיר - מנהל תחום מיכון חקלאי, שה"מ, משרד החקלאות

4. תוצאות

המודל המתואר בסעיף 3 חושב עבור כלל התרחישים השונים המשלבים בין הוריאציות השונות (24 תרחישים סה"כ) – 3 סוגי הצרכנים (משפחות), 2 תרחישי סוף החיים ו- 4 אפשרויות האריזה. לאחר הרצת המודל וכפי שניתן לראות בתרשים מס' 1, ניכר באופן מובהק כי התרומה המשמעותית ביותר לכלל ההשפעות הסביבתיות שנבחנו ובכלל התרחישים, מקורה בשלב גידול המלפפונים.



תרשים מס' 1: התפלגות כלל ההשפעות הסביבתיות, משפחה בזבזנית, מגש PS עטוף PVC, סוף חיים לפי מצב קיים בישראל.

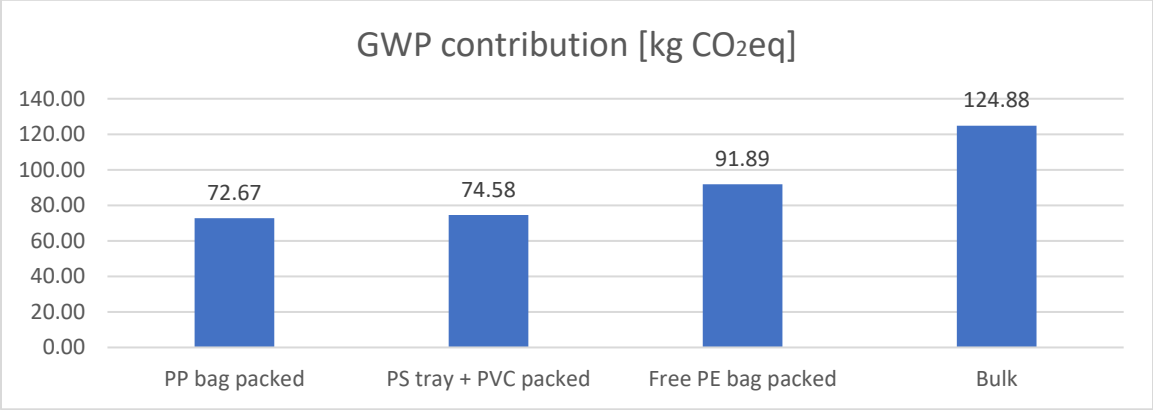
ניכר כי שלב הגידול הינו המשמעותי ביותר, אזי מאפייני האריזה אינם מהותיים אפילו בתרחיש המוצג שהוא ה"מחמיר" ביותר (מגש PS עטוף PVC ומשפחה בזבזנית). כלומר, לטובת צמצום השפעות סביבתיות ממחזור חיי מלפפונים בישראל, יש ראשית לתת את הדעת על מקורות הפליטה בשלב הגידול ושנית על התנהגות צרכנית אשר תביא לירידה בכמויות המלפפונים אשר נדרש לגדל עבור משפחה צרכנית ממוצעת.

התורמים לפליטות משלב הגידול הינם ייצור חומרי הדשן, הדלקים למיכון החקלאי, ייצור יריעות הפלסטיק לחממות ולחיפוי הקרקע, כפי שניתן לראות בטבלה מס' 3 מטה.

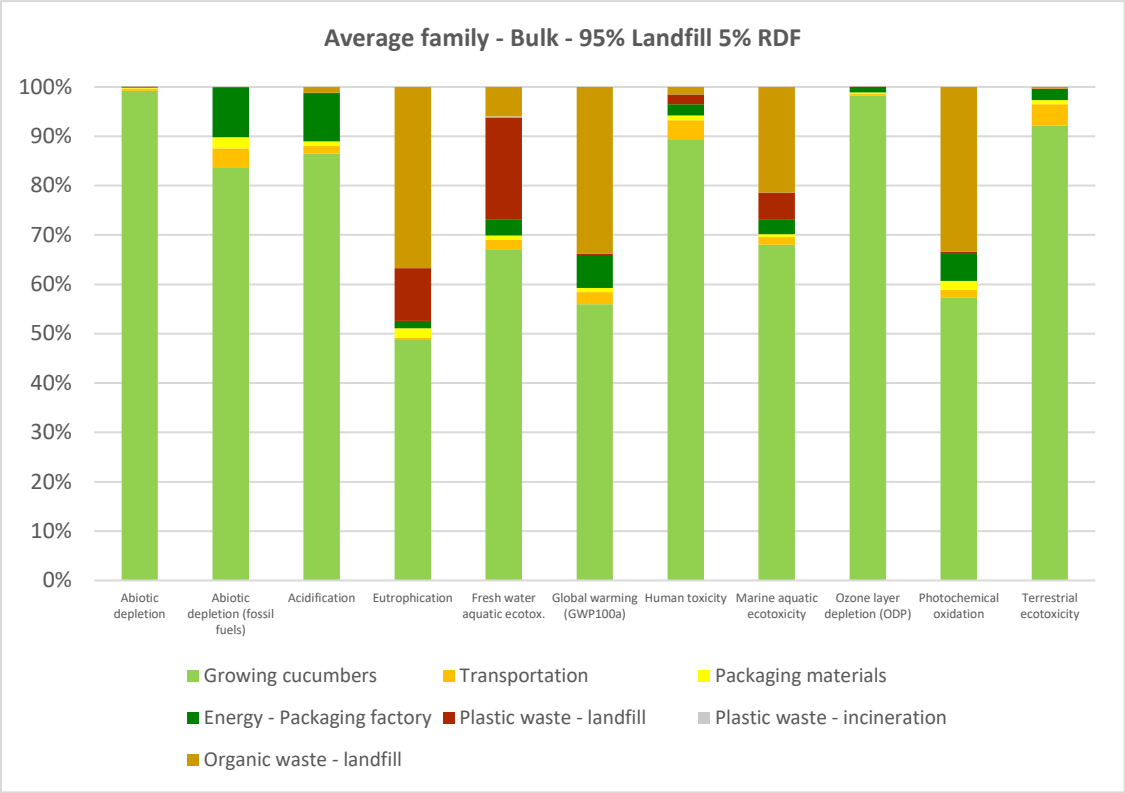
Impact category 6: Global warming (GWP100a)				
Contribution [%]	**Category**	**Process**	**Unit**	**Total result [kg CO2 eq]**
100		Scenario 25	kg	174.62
34.8	Organic waste - landfill	treatment of biowaste, open dump | biowaste | Cutoff, U - RoW	kg	60.85
21.9	**Growing cucumbers**	**market for NPK (26-15-15) fertiliser | NPK (26-15-15) fertiliser | Cutoff, U - RoW**	**kg**	**38.23**
18.6	**Growing cucumbers**	**market for diesel, burned in agricultural machinery | diesel, burned in agricultural machinery | Cutoff, U - GLO**	**MJ**	**32.39**
8.0	**Growing cucumbers**	**market for polyethylene, high density, granulate | polyethylene, high density, granulate | Cutoff, U - GLO**	**kg**	**13.97**
6.6	Energy - Packaging factory	market for electricity, high voltage | electricity, high voltage | Cutoff, U - IL	MJ	11.52
2.9	**Growing cucumbers**	**market for pesticide, unspecified | pesticide, unspecified | Cutoff, U - GLO**	**kg**	**5.01**
2.5	Transportation	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cutoff, U - RoW	t*km	4.31
1.8	Packaging materials	market for polystyrene, general purpose | polystyrene, general purpose | Cutoff, U - GLO	kg	3.14
1.4	**Growing cucumbers**	**market for extrusion, co-extrusion | extrusion, co-extrusion | Cutoff, U - GLO**	**kg**	**2.46**
1.0	Packaging materials	market for polyvinylidenchloride, granulate | polyvinylidenchloride, granulate | Cutoff, U - RoW	kg	1.68
0.3	Plastic waste - landfill	treatment of waste polyethylene, sanitary landfill | waste polyethylene | Cutoff, U - RoW	kg	0.52
0.1	Plastic waste - incineration	treatment of waste polystyrene, municipal incineration | waste polystyrene | Cutoff, U - GLO	kg	0.19
0.1	Packaging materials	market for extrusion, plastic film | extrusion, plastic film | Cutoff, U - GLO	kg	0.18
0.1	Plastic waste - landfill	treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill | waste plastic, mixture | Cutoff, U - RoW	kg	0.10
0.0	**Growing cucumbers**	**Israel water**	**kg**	**0.06**

טבלה מס' 3: התפלגות מדרך פחמני, תרחיש "מחמיר" (מגש PS עטוף PVC ומשפחה בזבזנית).

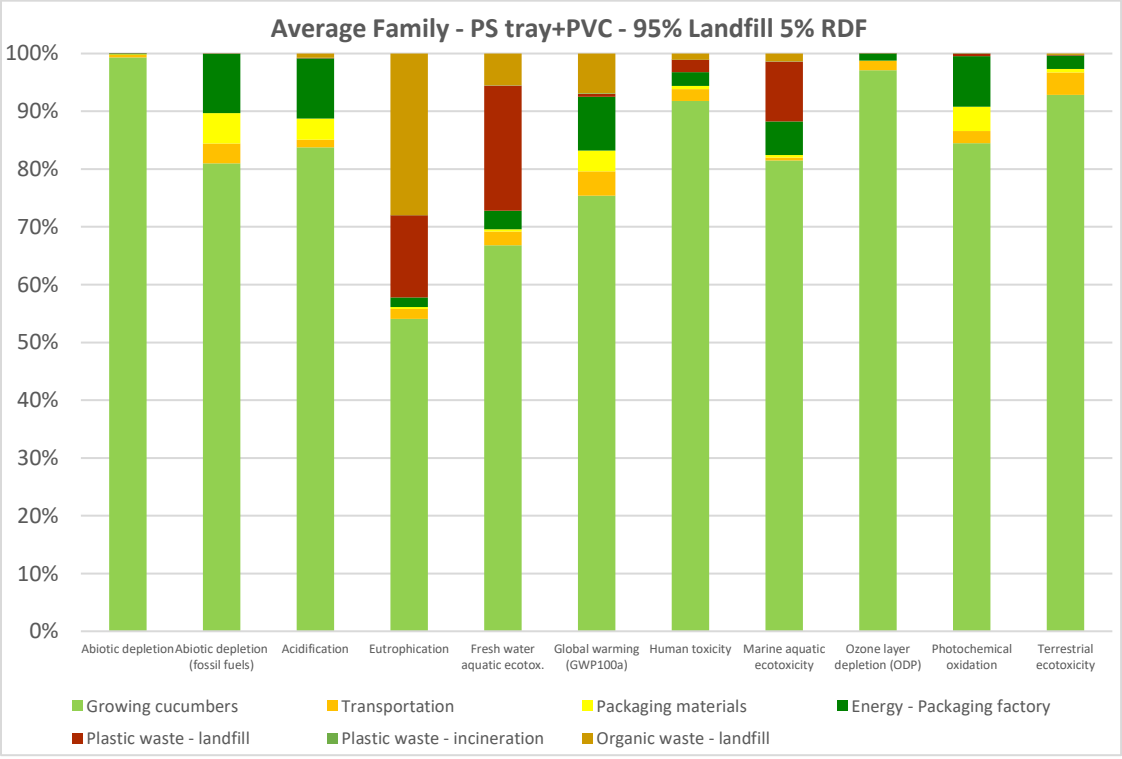
ניתן לראות בתרשים מס' 2 כי המדרך הפחמני לטובת גידול מלפפונים המאוחסנים בתפזורת גדול באופן מובהק מאלה של גידול מלפפונים המאוחסנים ארוזים. ניתן לומר כי באופן גורף, כלל ההשפעות הסביבתיות של אחסון מלפפונים בתפזורת גבוהות יותר בשל הפחת הגבוה והצורך לגדל יותר מלפפונים ליחידת תועלת (צריכה שנתית של משפחה בשנה). וכפי שכבר נראה בתרשים מס' 1, התרומה היחסית של האריזות למדרך פחמני זה, קטנה משמעותית לעומת שלב הגידול.



תרשים מס' 2: מדרך פחמני, משפחה ממוצעת, סוף חיים כולל מיחזור אריזות, קומפוסטציה ועיכול אנאירובי.



תרשים מס' 3: משפחה ממוצעת, סוף חיים מצב קיים, תפזורת.



תרשים מס' 4: משפחה ממוצעת, סוף חיים מצב קיים, מגש PS עטוף PVC.

בהשוואה בין תרשים מס' 3 לתרשים מס' 4 ניתן לראות כי כמויות הפסולת האורגנית משמעותיות יותר בעת אחסון מלפפונים בתפזורת. מגמת ההתפלגות דומה בשני המקרים אם כי ניתן לראות שבמודל התפזורת, הפסולת האורגנית מהווה חלק מהותי יותר הן במדרך הפחמני, בהיווצרות מחמצנים פוטוכימיים ובהשפעתה על סביבות ימיות. הפסולת האורגנית המוצגת בתרשימים לעיל הינה מכלל מחזור החיים, אך החלק העיקרי מגיע משלב גידול המלפפונים בו, עפ"י המידע שנאסף לטובת מחקר זה, פחת המלפפונים הינו 33% מהגידול.

5. רשימת נספחים

- נספח 1 – נתונים מודל מלפפונים (קובץ אקסל)
- נספח 2 – תוצאות מודל מלפפונים (קובץ אקסל)
- נספח 3 – הערכת צריכת מלפפונים – חגית אולנובסקי (קובץ וורד)