

נספח 1. חומרים נלווים

מחקר זה התבסס על גישת ניתוח מחזור חיים (LCA) המאפשרת לאמוד את התשומות והתפוקות לאורך שלבי מחזור חייו של מוצר. הניתוח למערכת ייצור חלב הבקר בישראל התבסס על המתודולוגיה והשלבים המוצגים במסמכי ISO 14040:2006^[20], מסמכי ניתוח מחזור חיים לחלב של IDF^[18, 19] ומסמכי הדרכה לביצוע ניתוח מחזור חיים להזנת בעלי-חיים ולהערכת השפעות סביבתיות במעלי גירה גדולים של Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership (LEAP), שהיא שותפות של ה-FAO^[15].^[16] וכן התבסס על ספרות מחקרית בנושא.

ניתוח מחזור חיים כולל ארבעה שלבים עיקריים: הגדרת מטרת והיקף המחקר, איסוף הנתונים (LCI), הערכת ההשפעה (LCIA) ולבסוף שלב פרשנות התוצאות. זוהי שיטה איטרטיבית המאפשרת לקבל תוצאות יותר אמינות ומדויקות באמצעות חזרה לשלבים השונים בתהליך הניתוח ושיפורם על ידי למידת מערכת המוצר והכללת נתונים מדויקים יותר.

הגדרת היקף וגבולות המחקר

אזור המחקר

המחקר של מערכות ייצור החלב בישראל בחן 12 רפתות שיתופיות לייצור חלב בשלושה אזורים שונים בארץ (דרום, מרכז, צפון). בכל אזור נבחנו 4 רפתות, בגדלי רפת שונים לפי מספר הפרות בעדר כפי שדווח בספר העדר 2014^[6], כאשר הטווח ברפתות שיתופיות נע בין 300–1,000 פרות שמכסתן נעה בין 3–11 מיליון ליטר חלב בשנה.

איסוף הנתונים ברפת היה ברמה החודשית ממאי 2015–אפריל 2016 כשבמהלכה היו עומסי חום חריגים ובהפחתת תנובת הפרה^[5, 8]. כמו כן, למרות הרצון לאפיין את האזורים בצורה המיטבית על ידי בחירת הרפתות המייצגות את האזור, הרפתות שנבחנו היו אלה שהסכימו לשתף פעולה.

יחידה פונקציונלית

לפי מדריך ה-IDF היחידה הפונקציונלית המומלצת היא ק"ג חלב, מתוקן לגבי תכולת השומן והחלבון (kg FPCM) Fat and Protein Corrected Milk. יחידה זו מחושבת באמצעות הכפלת ייצור החלב (ק"ג בשנה) ביחס לתכולת האנרגיה של חלב ברפת מסוימת. תכולת האנרגיה במשוואה הזו היא של חלב סטנדרטי עם תכולת שומן של 4% וחלבון של 3.3% [19] (משוואה 1).

משוואה 1:

$$FPCM (kg/yr) = production (kg/yr) \times [0.1226 \times Fat\% + 0.0776 \times True\ Protein\% + 0.2534]$$

היקף וגבולות המערכת

המחקר הוא מ'עריסה לשער המשק' – הפעולות הכרוכות בהפקת חומרי הגלם לייצור המזון עד לשלב בו החלב הגולמי מגיע לשער המחלבה.

שלב ייצור / גידול המזון – כולל בתוכו את תשומות המשאבים והאנרגיה להפקת חומרי הגלם לייצור המזון ואת ייצור המזון עצמו וכן את התפוקות של התוצרים והפליטות שנוצרות בשלב זה. הרכב המזון מאופיין בסוגי גידולים שונים ומקורו במקומות שונים בעולם, ניתן לסווגו בהכללה למזון גס (החלק הצמחי) המגודל בארץ ומזון מרוכז (הגרעינים) וכן יש שימוש במוצרי לוואי ובפסולת תעשייה (נספח 1.1). כמו כן גידולו שונה ממקום למקום מבחינת שימוש בדשנים, חומרי הדברה וכן שימוש בחומרים ממוחזרים כמו זבל ובוצה.

שלב מרכז המזון האזורי – התשומות והתפוקות של מרכז המזון האזורי בהכנת המזון לרפתות.

שלב ייצור החלב ברפת – כולל בתוכו את תשומות האנרגיה והמשאבים הנדרשים לתפעול הרפת בפעילויות השונות כגון: חליבה, שתיה של הפרות וצינון, קילטור המרבצים ופיזור המזון באבוסים ואת הפליטות השונות הנוצרות בשלב זה. שלב זה יכול להיות שונה מרפת לרפת בהתאם, למשל, לאופן צריכת המים בחצר ההמתנה הדרושה לצינון החולבות. השלב מסתיים כשתפוקות החלב, הפגרים והזבל יוצאות מהרפת.

שלב ניהול פסולת – כולל את התשומות, המשאבים והפליטות השייכים לממשקים השונים שנבחרו בכל רפת לטיפול בזבל. לפי משרד החקלאות ופיתוח הכפר^[11], ממשקי הזבל האופייניים לישראל הם:

א. זבל מרביץ – 30% מסך הזבל של הרפת הוא זבל שנוצר במרבצים והוא זבל יבש. בשנים האחרונות החלו לקלטר באופן יומי את המרבצים בכל הרפתות (פרט לרפתות בעלות שיכון של תאי רביצה). קילטור זה הוא למעשה תהליך קומפוסטציה של הזבל, המפחית את הריחות, הזבובים ואת הוצאת הזבל לשדות, ההוצאה מתרחשת פעם בשנה ואף יש שנים שאין צורך להוציא.

ב. זבל מדרכים (+מפריד מוצקים) – 70% מהזבל שנוצר ברפת הוא זבל יותר רטוב אשר מטופל באחת מהצורות הבאות: מאצרה: הזבל נאצר במאצרה אטומה ומשם מפונה פעם בתקופה לשדות. קומפוסט: הזבל משונע מספר פעמים בשבוע או חודש למתקן קומפוסט באזור, מתקן עיכול אנ-אירובי (מטב"ח - מתקן לטיפול בבוצות חקלאיות): הזבל משונע באופן יומי לאחד משלושת המתקנים הקיימים בארץ, לפי מיקום הרפת.

חשוב להדגיש כי שלב זה במחקר נעצר בשער היציאה מהמתקן/ממשק הזבל, ואינו בוחן את ההשפעות של התוצרים השונים כמו הפיזור בשדה, שימוש בקומפוסט ובדשנים הנוזליים מהמטב"ח בשדות והשימוש בביו-גז.

הובלה – בכל שלבי המחקר כולל המחקר התייחסות לתשומות ולפליטות של הובלת התפוקות השונות, תוך התייחסות לשלבים הבאים: הובלה ימית של המזון המיובא. הובלה יבשתית בארץ – הובלת המזון למרכז המזון האזורי או לרפת מהשדה, מהנמל ומהמפעלים של תעשיות אחרות המייצרים פסולת תעשייה המשמשת למזון, המזון ממרכז המזון האזורי לרפת, החלב מהרפת למחלבה, הפגרים למתקן הכילוי בעין המפרץ והזבל למתקן לפי ממשק הזבל ברפת.

המחקר לא כלל את ההשפעות של הקמת תשתיות, מבנים ומכונות, אנטיביוטיקה והורמונים מכיוון שמחקרים הראו כי התרומה שלהם שולית^[17, 23, 26]. כמו כן, לא נכלל שלב הטיפול בשפכים עצמם משתי סיבות:

א. לאחר שהשפכים עוברים במתקן קדם הטיפול ברפת הם מוזרמים למערכת אחרת, בין אם זה למתקן טיהור שפכים באזור או לבריכות חמצון.

ב. שונות בכימות השפכים – ישנה כעת, בעייתיות ושונות רבה בהערכת כמויות ואיכויות השפכים ממכון החליבה [1, 2, 9]. בנוסף הוא לא כלל קיבוע פחמן בגלל השפעתו המינורית [3].

הקצאה

משום שמערכות ייצור חקלאיות מייצרות יותר ממוצר אחד, יש צורך לייחס את ההשפעות הסביבתיות לכל מוצר במערכת, מכיוון שלהפקת המוצר יש תשומות, תפוקות ופליטות. ההתייחסות למוצרים משותפים הינה בשתי דרכים: הרחבת מערכת והקצאה.

במערכת ייצור חלב יש מספר תהליכים הכוללים מוצרים משותפים, שיטות ההקצאה השונות למוצרים אלו נמצא בדיון רב במחקרי LCA לחלב בעולם ועדין אין הסכמה גורפת באיזו שיטת הקצאה להשתמש למרכיבי המערכת. במחקר זה השתמשנו בשיטות עליהן ממליץ ה-IDF במדריך לביצוע LCA לחלב [19].

ייצור המזון – ההקצאה שנעשתה לתוצרי הלואי היא הקצאה כלכלית המבוססת על ממוצע המחירים היחסי לכל ק"ג של מרכיב המוצר המשותף. ישנם רכיבים שהם גם תוצרי לואי של מערכות אחרות אבל אין להם ערך כלכלי ולכן לא מבוצעת להם הקצאה, וההתייחסות היחידה אליהם במחקר זה מבחינת תשומות, היא הובלתם מהמפעל למרכז המזון או לרפת. רכיבים אלה נקראים 'פסולת תעשייה' (פירוט הרכיבים בנספח 1.1).

ייצור בשר – החלב הוא המוצר העיקרי היוצא מרפתות החלב בארץ והבשר הוא מוצר לואי שיוצא מהרפתות. בשר זה הוא של פרות שסיימו את תחלובתן ('פרות יוצאות') אך במהלך תקופת ייצור בחלב הן צרכו משאבים ופלטו פליטות.

נעשתה הקצאה פיזית לבשר, המשקפת את דרישת המזון של בעלי החיים ומבוססת על משקל הבשר והחלב. במשוואה 2:

היחס בין M_{meat} – סך משקל הבשר שנמכר (פרות יוצאות) בק"ג ו-M_{milk} – סך משקל החלב שיוצר ב-FPCM kg, מוכפל במקדם גלובלי לאנרגיה הנצרכת במזון שבעלי החיים אכלו. תוצאה זו מופחתת מהשלם על מנת לקבל את מקדם ההקצאה לחלב.

משוואה 2:

$$\text{Allocation Factor to milk (AF)} = 1 - 5.7717 \times \frac{M_{\text{meat}}}{M_{\text{milk}}}$$

מקדמי ההקצאה למוצרי המזון השונים ולבשר-חלב מופיעים בנספח 1.2.

זבל – הזבל הוא תוצר לוואי של הרפת והוא מהווה תשומה למערכות אחרות. במרכיב זה מומלץ לבצע הרחבת מערכת שתכלול את השפעותיו. לכן כפי שהוסבר בגבולות המחקר, שלב זה יכול את שלב מתקן/ממשק הטיפול בזבל עד שער היציאה ממנו למערכת אחרת.

מצאי הנתונים (LCI)

לאחר השלמת השלבים הנזכרים לעיל במחקר מוגדרים ומכומתים כל התשומות והתפוקות בגבולות המערכת. נתונים אלה מחולקים ל-2: נתונים ישירים של המערכת (foreground data) ונתונים עקיפים ממערכות אחרות המספקות אנרגיה ומשאבים למערכת הנחקרת (background data). איסוף הנתונים החל ברפתות שהסכימו לשתף פעולה ולאחר מכן הנתונים נאספו לפי מקור התשומות של הרפת והיעד אליו מגיעים התפוקות שלה. איסוף הנתונים ברפתות כלל סיכומים חודשיים של הרפת לגבי הרכב העדר וצריכות המשאבים או לפי חשבונות חשמל, מים וסולר (פרט לרפת אחת שצריכת המים שלה הוערכה לפי מחשבון צריכת מים ברפת ממוצעת של 300 פרות ו-240 עגלות המבוסס על נתוני שירותי ההדרכה והמקצוע במשרד החקלאות (שה"מ) – המחלקה לבקר^[10]). הנתונים והמקדמים משאר מרכיבי המערכת נאספו באמצעות ראיונות עם אנשי מפתח במרכיב המערכת הרלוונטי, דוחות מקצועיים וסטטיסטיים ומידע מגופים מקצועיים כגון משרד החקלאות ומועצת החלב. מידע חסר הושלם ממאגר המידע למחקרי ניתוח מחזור חיים Ecoinvent 2.2^[13] וספרות מחקרית בנושא.

בטבלאות 1-3 מוצגים הנתונים הישירים של התשומות והתפוקות שנאספו בכל מרכיב מערכת ומקורם. בנספח 1.3 מוצגת חלוקת הרכב המנה הממוצעת למזון גס ומרוכז ותפוקת החלב לפי מיקומי הרפתות וגודלן. עבור הובלה יבשתית בארץ הנתונים הישירים היו נפח קיבולת המשאית/מיכלית שהתקבלו מחברות הובלה שונות ונהגים, ק"מ מוצא ויעד נלקח מ-google map (<https://maps.google.com>). בטבלה 4 מוצגים הנתונים העקיפים שנאספו ומקורם. עבור הפקת המים בישראל נלקחו מקדמים מעבודת דוקטורט בנושא LCA למערכת מי השתייה בישראל^[22]. נתוני פליטות עקיפים מיישום הדשנים, תסיסה ממערכת העיכול ופליטה מהזבל לפי ממשקי הזבל התבססו על מקדמים ומשוואות של ה-IPCC, המופיעים בנספח 1.4. שיטת ה-IPCC והמקדמים התורמים לפליטות בכל רכיב מוצגים בטבלה 5. בנוסף, בנספח 1.5 מוצגת רשימת הנתונים המפורטת שנאספה בכל מרכיב המערכת.

טבלה 1. נתונים ישירים לשלב ייצור החלב ברפת שנאספו מ-12 רפתות

ממוצע שנתי ולחודשי הקיץ והחורף.

ממוצע חודשי בחורף	ממוצע חודשי בקיץ	ממוצע שנתי	יחידה	
1,048	1,055	1,051	סך מספר פרות	גודל העדר
534	526	6,365	kg FPCM לפרה	חלב מיוצר בשנה לפרה ¹
1,070	1,060	12,780	kg FPCM לחולבת	חלב מיוצר בשנה לחולבת
16.9	15.9	16.66	ק"ג ח"י לפרה ביום	צריכת מזון לפרה ¹ ליום
			% מסך המנה	% הרכב המנה:
40.5	40.7	40.6		מזון גס
42.4	41.3	42		מזון מרוכז
13	13.3	13		פסולת תעשייה
4.1	4.7	4.4		אחר (חליפות, נלווים ושאריות)
		52	דונם	שטח
3,407	4,650	47,110	m ³	צריכת מים
44,890	66,420	646,385	kWh	צריכת חשמל
2,439	2,234	28,240	L	צריכת סולר

¹ פרה – כלל שלוחות הפרות ברפת : חולבות, יבשות ועגלות.

טבלה 2. נתונים ישירים לשלב גידול המזון המקומי (הגס), ממוצע לק"ג שנאספו מאנשי גד"ש, מדריכים אזוריים ומתחשיבי שה"מ [12]
(צ- צפון, מ- מרכז, ד- דרום)

חומרי הדברה (g)		דשנים (g)							סולר (L)	מים (m ³)	קרקע (m ²)							
קוטלי מזיקים	קוטלי עשבים	K			P				N			ד	מ	צ	ד	מ	צ	
		צ+מ	ד	מ	צ	ד	מ	צ	ד	מ	צ							
0.05	0.13	10.7	11.2	12.4	12.4	9.6	14.5	9.6	0.0029	0.18	0.17	0.17	0.96	0.84	0.82	מזון גס		
0.002	0.1	1.6	0.6	0.6	0.5	1.3	1.3	1.2	0.0001	0.016	0.014	0.014	0.11	0.1	0.09	מזון לוואי גס (קש)		

טבלה 3. נתונים ישירים ממרכז מזון אזורי וממתקני טיפול בזבל

מקור	צריכת סולר (L)	צריכת חשמל (kWh)	קרקע (m ²)	ליחידה
י' עופר, ראיון אישי, 26 יולי, 2016	0.0003	3	1.62	טון בליל
מתקן קומפוסט, ראיון אישי, 13 יולי, 2016	1.16		0.67	קו"ב זבל נכנס
[11]			0.36	קו"ב זבל נכנס

טבלה 4. נתונים עקיפים למרכיבי המערכת השונים

מקור	EP (kg PO ₄ -eq)	AP (kg SO ₂ -eq)	GWP (kg CO ₂ -eq)	אנרגיה (MJ)	מים (m ³)	קרקע (m ²)	ליחידה	
								גידול מזון מקומי:
[14]	0.002	0.01	2.66	36.8			L	סולר בשדה
צריכת אנרגיה [25] שאר ההשפעות על בסיס צריכת החשמל בישראל	0.0001	0.0013	0.39	2.12			m ³	טיפול בקולחין
								הפקת דשנים
[13]	0.0056	0.015	4.57	59.5	0.009	0.07	Kg	N
	0.045	0.033	2.025	26	0.1	0.08	Kg	P
	0.0007	0.002	0.5	8	0.007	0.05	kg	K
								הפקת חומרי הדברה
	0.0676	0.1	16.67	257	0.122	0.35	Kg	קוטלי מזיקים
	0.0276	0.11	10.25	164	0.085	0.24	Kg	קוטלי עשבים
	0.095	0.003	0.45	4.7	0.11	1.25	kg	מזון מרוכז
	0.00002	0.0002	0.01	0.15			tkm	הובלה ימית
								התורמים
[7]	0.000047	0.0006	0.185	0.037	CO ₂ , SO ₂ , NO _x		MJ	הפקת חשמל
[4]	0.00028	0.0015	0.5	22	CO ₂ , NO _x		km	הובלה יבשתית

טבלה 5. שיטת ה-IPCC והתורמים לפליטות [20]

מקדם	יחידה	ערך	מקור המקדמים	הערות / הסבר
<u>יישום דשנים בארץ¹</u>				
CO ₂	EF _{Urea}	0.2	IPCC 2006 tier 1	התנדפות CO ₂ לאחר יישום דשן אוראה.
פליטה ישירה של N ₂ O	EF ₁	0.01		מקדם פליטה (ישירה) ל-N ₂ O kg עבור דשני N שמושמים בשדה.
פליטה עקיפה של N ₂ O	EF ₄	0.01		מקדם פליטה (עקיפה) ל-N ₂ O kg עבור דשני N שמושמים בשדה, כתוצאה מהתנדפות ושקיעה אטמוספירית.
NH ₃	Frac _{GASF}	0.1		מקדם אובדן N כתוצאה מהתנדפות. kg NH ₃ ל-kg N מדשן המיושם בקרקע.
NO ₃	EF ₅	0.0075		מקדם פליטה (עקיפה) ל-N ₂ O kg עבור דשני N שמושמים בשדה, כתוצאה מחלחול.
NOx	Frac _{LEACH}	0.3		מקדם אובדן N כתוצאה מחלחול ונגר עילי. kg NO ₃ ל-kg N מדשן המיושם בקרקע.
NOx	EF _{NOx}	0.026	[24]	מקדם אובדן N. kg NOx ל-kg N מדשן המיושם בקרקע.
P	Kg P / dunam	0.175		כמות ממוצעת של אובדן P מנגר עילי, עבור שטח פתוח מעובד.
<u>תסיסת CH₄ ממערכת העיכול</u>				
<u>ממשק זבל²</u>				
CH ₄	MCF	%		מקדם המרה ל-CH ₄ במערכת ממשק הזבל תלוי בטמפ' ובסוג ממשק זבל.
פליטה ישירה של N ₂ O	EF ₃	1-0.5	IPCC 2006 tier 1	מקדם פליטה ישירה של N ₂ O ל-N ₂ O kg excreted / kg N
		5-4		
		1.5-1		
		10		
		0		
		0.005		
		0.1		
		0		

מקדם פליטה (עקיפה) ל- N_2O kg כתוצאה מהתנדפות ושקיעה אטמוספירית.	0.01	$\text{kg N}_2\text{O} - \text{N} / \text{kg N volatized}$	EF_4	פליטה עקיפה של N_2O
מקדם אחוז אובדן N בממשקי הזבל השונים כתוצאה מהתנדפות $\text{NH}_3 - \text{N}$ ו- $\text{NO}_x - \text{N}$.	7 45-30	%	$\text{Frac}_{\text{GASM}}$ קילטור מאצרה	

¹ על-מנת לוודא את ערכי המקדמים עבור פליטות גזי חממה, הם הושוו למקדמים בהם משתמשים בהלמ"ס לחישוב מצאי.
² ממשק זבל מרבץ : קילטור - daily spread ; ממשק זבל מדרכים : מאצרה - solid storage ; קומפוסט - composting – intensive windrow ; מטב"ח - anaerobic digester.

עיבוד הנתונים (LCIA)

בשלב זה הנתונים שנאספו מוקצים לכל קטגוריית השפעה סביבתית ("מיון") לפי המרכיבים התורמים ומקדמי ההמרה שלהם (טבלה 6), באמצעות תוכנת Excel, ובכך הם אומדים את ההשפעות הסביבתיות השונות בשלבים השונים של מחזור החיים ("אפיון").

טבלה 6. קטגוריות ההשפעה הסביבתית שנבחנו במערכת

קטגוריית השפעה	יחידה	המרכיבים התורמים	מקדמי המרה	מקור
שימוש בקרקע	m ²	שימוש בקרקע		
צריכת אנרגיה	MJ	צריכת אנרגיה (חשמל וסולר)		
צריכת מים	m ³	צריכת מים		
שינוי אקלים (GWP)	kg CO ₂ -eq	CO ₂	1	[20]
		CH ₄	25	
		N ₂ O	298	
פוטנציאל אסידיפיקציה (AP)	kg SO ₂ -eq	SO ₂	1	[13]
		NH ₃	1.88	
		NO _x	0.7	
פוטנציאל אטרופיקציה (EP)	kg PO ₄ -eq	PO ₄	1	[13]
		NH ₃	0.35	
		NO _x	0.13	
		NO ₃	0.1	
		P	3.06	

מגבלות המחקר

מערכת ייצור החלב מורכבת ולכן ישנן מספר מגבלות ידועות, הנובעות מאי-ודאות ומפאת היקף העבודה, המחקר והנתונים:

בחירת היקף וגבולות המערכת – מפאת היקף המחקר וידע מהספרות, ממנו עולה כי שלבי ייצור המזון והחלב הם המשפיעים ביותר, המחקר מסתיים בשער הרפת ואינו בוחן את שלבי עיבוד החלב, ההפצה, הצריכה וסילוק הפסולת של מוצרי החלב השונים, ולכן אינו בוחן את כל מחזור החיים של החלב. כמו כן, מכיוון שלא היה מידע ספציפי לגבי שימוש הזבל כתשומה

לגידולים המיועדים לרפתות בארץ, לא ניתן היה לסגור מעגל, ולבצע הרחבה נוספת לזו שנעשתה בשלב ממשק הזבל.

בחירת הרפתות – בחירת הרפתות נעשתה לפי מידת נכונותן לשתף פעולה ולא לפי מדגם מייצג, לכן לא ניתן יהיה להסיק מהתוצאות על כלל הרפתות במערכת ייצור החלב בישראל. יש לציין כי נעשה מאמץ לבחור רפתות שיתופיות דומות בממוצע גודלן בין האזורים השונים.

עיתוי המחקר – המחקר התבצע לאורך שנה ממאי 2015–אפריל 2016 שאופיין במזג אוויר וגלי חום חריגים, הדבר השפיע על יצרנות הפרה גם חודשים לאחר מכן, לכן יתכן ותוצאות מחקר שיבוצע בתקופה אחרת יהיו שונות במידת מה.

מגבלות של איסוף נתונים מתאימים ומייצגים הנובעים מזמינותם – מאחר ולא ניתן היה לאסוף את כל הנתונים בשטח, חלק מהנתונים הוערכו מהספרות והידע הקיים ואיכותם לא תהיה ספציפית לרפת שנבדקה (לדוגמה פליטות הקשורות בזבל).

מגבלות אלה נלקחו בחשבון בעיבוד, בניתוח התוצאות ובהסקת המסקנות. יש לציין, לאור המגבלות, המחקר אינו מנסה לאפיין את מערכת ייצור החלב הכוללת של ישראל אלא מנסה להוות בסיס מידע וצעד ראשון לאפיונה.

פירוט הממצאים שהוצגו במאמר

צריכת משאבים לאורך מחזור החיים של FPCM kg

צריכת אנרגיה (MJ)	צריכת מים (m ³)	שימוש בקרקע (m ²)		
1.87	0.045	0.49	סה"כ	גידול מזון
0.24	0.013	0.17	מזון גס	
0.20			הפקת ויישום הדשנים	
0.03			טיפול בקולחין להשקיה בשדות	
0.02			צריכת סולר בשדה	
1.63	0.032	0.33	מזון מרוכז	
1.7x10 ⁻⁰⁵		5x10 ⁻⁰⁴	סה"כ	מרכז מזון
0.67	0.007	0.01	סה"כ	רפת
0.44			ישיר	
0.31			חשמל	
0.13			סולר	
0.24			עקיף	
0.01			הפקת חשמל	
0.23			הפקת מים	
0.02		0.0006	סה"כ	ממשק זבל
0.68			סה"כ	הובלה
0.59			הובלת מזון	

0.42			הובלה ימית
0.17			הובלה יבשתית
0.06			הובלת חלב
0.03			הובלת זבל
0.01			הובלת פגרים
3.26	0.052	0.502	סה"כ

פליטות לאורך מחזור החיים של FPCM kg

EP (kg PO ₄ -eq)	AP (kg SO ₂ -eq)	GWP (kg CO ₂ -eq)		
0.00161	0.00207	0.201		גידול מזון סה"כ
0.0006	0.00104	0.037		מזון גס
0.0006	0.00102	0.031		הפקת ויישום הדשנים
1.3x10 ⁻⁰⁶	1.8x10 ⁻⁰⁵	0.005		טיפול בקולחין להשקיה בשדות
8x10 ⁻⁰⁷	4.3x10 ⁻⁰⁶	0.001		צריכת סולר בשדה
0.001	0.001	0.163		מזון מרוכז
8.9x10⁻¹⁰	6.5x10⁻⁰⁹	2x10⁻⁰⁶		מרכז מזון סה"כ
2.7x10⁻⁰⁵	0.00032	0.55		רפת סה"כ
		0.468		תסיסה ממערכת העיכול
		0.082		תפעול
2.1x10 ⁻⁰⁵	0.00023	0.066		ישיר
1.4x10 ⁻⁰⁵	0.00019	0.057		חשמל
6.7x10 ⁻⁰⁶	3.6x10 ⁻⁰⁵	0.009		סולר
5.5x10 ⁻⁰⁶	9.3x10 ⁻⁰⁵	0.015		עקיף הפקת מים
0.00121	0.00648	0.242		ממשק סה"כ זבל
4.7x10 ⁻⁰⁵	0.00026	0.066		תפעול
0.00116	0.00623	0.176		ממוצע פליטות מהזבל
		0.032		CH ₄
		0.144		N ₂ O
		0.140		N ₂ O פליטה ישירה
		0.004		N ₂ O פליטה עקיפה
7.4x10⁻⁰⁵	0.00067	0.035		הובלה סה"כ
7.3x10 ⁻⁰⁵	0.00066	0.033		הובלת מזון
7.1x10 ⁻⁰⁵	0.00065	0.029		הובלה ימית
1.9x10 ⁻⁰⁶	1x10 ⁻⁰⁵	0.003		הובלה יבשתית
8.1x10 ⁻⁰⁷	4.4x10 ⁻⁰⁶	0.001		הובלת חלב
3.3x10 ⁻⁰⁷	1.8x10 ⁻⁰⁶	0.001		הובלת זבל
1.3x10 ⁻⁰⁷	7.1x10 ⁻⁰⁷	2x10 ⁻⁰⁴		הובלת פגרים
0.00292	0.00954	1.028		סה"כ

תוצאות ההשפעות הסביבתיות לגדלי הרפת השונים, לייצור kg FPCM

EP (kg PO ₄ -eq)	AP (kg SO ₂ -eq)	GWP (kg CO ₂ -eq)	צריכת אנרגיה (MJ)	צריכת מים (m ³)	שימוש בקרקע (m ²)	גודל רפת (מספר ראשים)
0.0028	0.0087	1.185	3.59	0.054	0.503	קטנה < 400
0.0028	0.0090	1.010	3.04	0.050	0.511	בינונית 400-600
0.0032	0.0115	0.847	3.18	0.053	0.484	גדולה > 600
0.0029	0.0095	1.028	3.26	0.052	0.502	ממוצע ארצי

תוצאות ההשפעות הסביבתיות למיקומי הרפתות בישראל, לייצור kg FPCM

EP (kg PO ₄ -eq)	AP (kg SO ₂ -eq)	GWP (kg CO ₂ -eq)	צריכת אנרגיה (MJ)	צריכת מים (m ³)	שימוש בקרקע (m ²)	מיקום הרפת
0.0030	0.0100	1.216	3.80	0.052	0.514	דרום
0.0026	0.0078	0.856	3.08	0.050	0.510	מרכז
0.0031	0.0108	1.011	2.89	0.054	0.481	צפון
0.0029	0.0095	1.028	3.26	0.052	0.502	ממוצע ארצי

השפעה עונתית על תשומות אנרגיה ופליטות גזי חממה לייצור kg FPCM

GWP (kg CO ₂ -eq)				צריכת אנרגיה (MJ)				עבור:
kg FPCM		סך ממוצע חודשי		kg FPCM		סך ממוצע חודשי		
חורף	קיץ	חורף	קיץ	חורף	קיץ	חורף	קיץ	
0.008	0.016	4,709	9,126	0.083	0.160	47,977	88,537	סה"כ
				0.055	0.102	32,418	58,330	ישר
0.007	0.014	3,871	8,034	0.036	0.077	20,831	43,230	חשמל
0.001	0.002	838	1,092	0.019	0.025	11,587	15,100	סולר
0.002	0.004	1,007	1,948	0.027	0.055	14,770	28,568	עקיף להפקת המים

נספח 1.1. סיווג רכיבי המזון ומקורו.

ישראל; ארה"ב; מזרח אירופה

מזון גס	מזון מרוכז	פסולת תעשייה (לואאי)*
חציר בוטנים	DDG	גזר
קש חיטה	DDGG	גלידה
קש חמניות	גלוטן פיד	גפת בירה
קש עגבניות	ג. כותנה אקלפי	גפת תירס
קש תירס	ג. כותנה פימה	זבל עופות
סיטריה	ג. חיטה	ירקות מילוטל
שחת אספסת	ג. שעורה לחוצה	לימונית
שחת אפונה	ג. תירס גרוס	לתת בירה
שחת דגן שחת תלתן	כ. חמניות	מאדר ליקר
שחת תלתן / בקיה	כ. לפתית	מולסה / פרמול
תחמיץ אספסת	כ. סויה	מי גבינה
תחמיץ חיטה	סובין	סוגוט / לבן מחלבות
תחמיץ סורוגום	פימה+שיפון בחליפה	כותנה (קש ופסולת)
תחמיץ ספילריה		קליפות הדר
תחמיץ תירס		קליפות סויה
		שאריות לחם

* פסולת תעשייה – התייחסות רק למקורה ממפעלי תעשייה בארץ

נספח 1.2. ערכי הקצאה

הקצאת מזון – כלכלית

הערכים המופיעים בטבלה, אלו ערכי ברירת מחדל שמוצגים ב-FAO^[15], מאחר והיה קושי בלהשיג נתוני מחירים ממוצעים ל-5 שנים לרכיבים בארץ. נעשה וידוא עבור ערכי ברירת מחדל אלה על ידי בדיקה אל מול תחשיבי שה"מ לשנת 2014^[12]. עבור שאר הרכיבים מקדמי ההשפעות הסביבתיות שנדלו מ-Ecoinvent^[13] היו לאחר שבוצעה ההקצאה הכלכלית.

רכיב המזון	ערך ההקצאה	רכיב המזון	ערך ההקצאה
ג. כותנה אקלפי	0.09	קש חמניות	0.03
ג. כותנה פימה	0.06	קש עגבניות	0.003
חציר בוטנים	0.08	קש תירס	0.14

הקצאת – בשר חלב

הערך המוקצה לחלב, בממוצע שנתי ובחודשי החורף – 0.9, בחודשי הקיץ – 0.91.

נספח 1.3. החלק היחסי במנה של סוגי המזונות

החלק היחסי שמהווים סוגי המזונות מכלל המנה, באחוזים. לפי מאפייני רפת של מיקומן וגודלן:

מאפיין הרפת	מזון גס	מזון מרוכז	פסולת תעשייה	חליפות	נלווים (ויטמינים ומינרלים)	
גודל רפת (מספר ראשים)	קטנה < 400	45.8%	10.5%	1.5%	4.7%	
	בינונית 400-600	43.5%	11.7%	0.4%	3.6%	
	גדולה > 600	37.7%	43.2%	14.9%	0.2%	4.0%
מיקום הרפת	דרום	35.5%	46.7%	11.9%	0.9%	5.0%
	מרכז	45.4%	39.3%	10.4%	0.7%	4.2%
	צפון	39.3%	43.2%	13.9%	0.4%	3.1%
ממוצע ארצי	40.6%	41.9%	13.1%	0.5%	4.0%	

נספח 1.4. מקדמי פליטות ונוסחאות על בסיס IPCC 2006 [20]

מקדם	יחידה	ערך המקדם	מקור המקדמים	הערות / הסבר
יישום דשנים בארץ:				
CO ₂	EF_{Urea}	0.2	IPCC 2006 tier 1	התנדפות CO ₂ לאחר יישום דשן אוראה.
	$kg CO_2 \leftarrow kg CO_2 - C$	$\frac{44}{12}$		קבוע המרה
N ₂ O	$kg N_2O \leftarrow kg N_2O - N$	$\frac{44}{28}$		קבוע המרה
פליטה ישירה של N ₂ O	EF_1	0.01		מקדם פליטה (ישירה) ל-N ₂ O kg עבור דשני N שמיושמים בשדה.
פליטה עקיפה של N ₂ O	EF_4	0.01		מקדם פליטה (עקיפה) ל-N ₂ O kg עבור דשני N שמיושמים בשדה, כתוצאה מהתנדפות ושקיעה אטמוספירית.
NH ₃	$Frac_{GASF}$	0.1		מקדם אובדן N כתוצאה מהתנדפות NH ₃ ל-N kg מדשן המיושם בקרקע.
	$kg NH_3 \leftarrow kg NH_3 - N$	$\frac{17}{14}$		קבוע המרה
NO ₃	EF_5	0.0075		מקדם פליטה (עקיפה) ל-N ₂ O kg עבור דשני N שמיושמים בשדה, כתוצאה מחלחול.
	$kg NO_3 \leftarrow kg NO_3 - N$	$\frac{62}{14}$		קבוע המרה
	$Frac_{LEACH}$	0.3		מקדם אובדן N כתוצאה מחלחול ונגר עילי. NO ₃ ל-N kg מדשן המיושם בקרקע.
	$kg NO_3 \leftarrow kg NO_3 - N$	$\frac{62}{14}$		קבוע המרה
NO _x	EF_{NOx}	0.026	[24]	מקדם אובדן N. NO _x ל-N kg מדשן המיושם בקרקע.
	$kg NOx \leftarrow N$	$\frac{30}{14}$		קבוע המרה
כמות הדשן שיושמה בשדה * EF				
P	$kg P / dunam$	0.0175	[24]	כמות ממוצעת של אובדן P מנגר עילי, עבור שטח פתוח מעובד.

מקדם	יחידה	ערך ברירת המחדל של המקדם / נוסחה לחישוב המקדם	מקור המקדמים והנוסחאות	הערות / הסבר
תסיסה ממערכת העיכול:				
CH ₄	EF	$\frac{GE * Ym * 366}{55.65}$	IPCC 2006 tier 2 – category 3A1	מתבסס על הרכב העדר והרכב הח"י במנות בשלוחות השונות ברפתות.
		$kg CH_4/head/year$	10.21	משוואה כמות ממוצעת לפליטת CH ₄ בשנה
	DMI	$kg DM/head/day$		צריכת ח"י לראש ביום, לכל שלוחה.
	GE	$MJ/head/day$		צריכת האנרגיה לראש ליום. מבוסס על צריכת הח"י ועל ערך ברירת מחדל של האנרגיה הנמצאת בק"ג ח"י.
	Ym	%	טבלה 10.12	מקדם המרה ל-CH ₄ . אחוז צריכת אנרגיה במזון המומרת ל-CH ₄ , ערך ברירת מחדל לפי צפון אמריקה

מקדם	יחידה	ערך ברירת המחדל של המקדם / נוסחה לחישוב המקדם	מקור המקדמים והנוסחאות	הערות / הסבר
ממשק זבל*				
CH ₄	EF	$kg CH_4/head/year$	IPCC 2006 tier 2 – category 3A2	
		$VS * days * B_0 * CH_4 density * \Sigma MCF/100 * MS$	10.23	כמות ממוצעת לפליטת CH ₄ בשנה. כאשר מקדם צפיפות ה-CH ₄ הוא 0.67 kg/m ³
	VS	$kg VS/day$	טבלה 10A-4	ערך ברירת מחדל לחומר היבש המופרש ליום לפי שלוחות, לפי צפון אמריקה.
	פרות	5.4		
	עגלות	2.4		

ערך ברירת מחדל לפוטנציאל ה-CH ₄ הנוצר בזבל לפי שלוחות. ערך ברירת מחדל לפי צפון אמריקה.	טבלה 10A-4		$m^3 CH_4/kg VS$	BO
		0.24		פרות
		0.19		עגלות
מקדם המרה ל-CH ₄ במערכת ממשק הזבל. תלוי בטמפ' ובחלק היחסי (MS) של כל סוג ממשק זבל.	טבלה 10.17			MCF
		(30)	(%)	מרבץ (MS):
		1-0.5	%	קילטור
		(70)	(%)	מדרך (MS):
		5-4	%	מאצרה
		1.5-1		קומפוסט
		10		מטב"ח
IPCC 2006 tier 1 – category 3A2				פליטה ישירה של N ₂ O
סך הפליטה הישירה השנתית הממוצעת של N ₂ O.	משוואה 10.25	$NE_{MMS} * EF_3 * 44/28$	$kg N_2O/year$	$kg N_2O_{direct}$
סך פליטת ה-N ממשקי הזבל (S)		$N_{(T)} * Nex_{(T)} * MS_{(T,S)}$	$kg N/year$	NE_{MMS}
מספר הראשים בכל שלוחה (T)	נתון ישיר		$head$	$N_{(T)}$
סה"כ ה-N המופרש ע"י בעלי החיים שמתנדף.	משוואה 10.30	$Nrate_{(T)} * TAM * 10^{-3} * 366$	$kg N/head/year$	$Nex_{(T)}$
ערך ברירת מחדל עבור שיעור ה-N שמתנדף	טבלה 10.19		$kg N/1000 kg animal mass/day$	$Nrate_{(T)}$
		0.44		חולבת
		0.31		יבשה ועגלה
ערך ברירת מחדל עבור משקל הפרה הממוצע בכל שלוחה. הערך הוא חישוב של ממוצע משוקלל לכמות החולבות והיבשות ברפתות הנחקרות.	חישוב ע"ב משקלים ממוצעים מהלמ"ס		kg	TAM
		591		חולבת ויבשה
		313		עגלה

החלק היחסי של ממשק הזבל.	[11]				$MS_{(T,S)}$	
				0.3	קילטור	
				0.7	מאצרה	
				0.7	קומפוסט	
				0.7	מטב"ח	
ערך ברירת מחדל לפליטה ישירה של N_2O מממשק זבל.	טבלה 10.21				EF_3	$kg N_2O - N / kg N excreted$
				0	קילטור	
				0.005	מאצרה	
				0.1	קומפוסט	
				0	מטב"ח	
סך הפליטה העקיפה השנתית הממוצעת של N_2O .	IPCC 2006 tier 1 – category 3C6	$\Sigma kg N_2O_{indirect-MMS}$			$kg N_2O_{indirect}$	$kg N_2O/year$
סך הפליטה העקיפה השנתית הממוצעת של N_2O עבור כל ממשק זבל (MMS).	משוואה 10.27	$NE_{volatilization-MMS} * EF_4 * 44/28$			$kg N_2O_{indirect-MMS}$	$kg N_2O/year$
כמות ה-N מהזבל שאובד כתוצאה מהתנדפות של NH_3 ו- NOx עבור כל ממשק זבל (MMS).	משוואה 10.26	$NE_{MMS} * Frac_{GASM}$			$NE_{volatilization-MMS}$	$kg N/year$
מקדם אחוז אובדן N בממשקי הזבל השונים כתוצאה מהתנדפות NH_3 ו- NOx ו- N .	טבלה 10.22				$Frac_{GASM}$	%
				7	קילטור	
				45-30	מאצרה	
מקדם פליטה (עקיפה) ל- N_2O kg כתוצאה מהתנדפות ושקיעה אטמוספירית.	טבלה 11.3			0.01	EF_4	$kg N_2O - N / kg N volatilised$

* ממשק זבל מרביץ : קילטור - daily spread ; ממשק זבל מדרכים : מאצרה - solid storage ; קומפוסט - intensive windroe - composting ; מטב"ח - anaerobic digester.

נספח 1.5. רשימת הנתונים הישירים שנאספו בכל רכיבי המערכת בארץ

רכיבי המערכת	פירוט
שלב גידול המזון	<p>ארצות מקור הרכיבים השונים</p> <p>כמות מים לגידול</p> <p>כמות קרקע לגידול</p> <p>צריכת אנרגיה להפקת מי קולחין</p> <p>כמות וסוג דשנים</p> <p>כמות חומרי הדברה</p> <p>כמות סולר לגידול</p> <p>אחוז ח"י ברכיב הגידול</p>
מרכז מזון	<p>שטח</p> <p>צריכת סולר</p> <p>צריכת חשמל</p> <p>קיבולת משאית בהובלה מ/אל מרכז המזון</p>
שלב ייצור החלב	<p>סוג שיכון הרפת</p> <p>שטח הרפת</p> <p>כמות חלב מופקת ומשווקת</p> <p>אחוז שומן</p> <p>אחוז חלבון</p> <p>מספר ראשים בשלוחה (פרות חולבות, יבשות ועגלות)</p> <p>מספר פרות יוצאות</p> <p>מספר פגרים</p> <p>משקל פרות בכל שלוחה</p> <p>הרכב המנה לכל שלוחה</p> <p>צריכת סולר</p> <p>צריכת מים</p> <p>צריכת חשמל</p> <p>הספק הפקת אנרגיה סולרית</p> <p>ממשק הזבל</p> <p>כמות הזבל</p> <p>קיבולת מיכלית בהובלת חלב</p>
מתקני טיפול בזבל	<p>שטח</p> <p>צריכת סולר</p> <p>צריכת חשמל</p> <p>קיבולת משאית / מיכלית מ/אל מתקני הטיפול בזבל</p> <p>הפקת ביו-גז</p> <p>מרחקים מהמוצא ליעד</p>

מקורות

- [1] בראור י וצדיקוב א. 2014. הסדרת תוצרי הלואי של רפת החלב. ביטאון התאחדות מגדלי בקר בישראל 369: 12-14.
- [2] גל ה. 2014. שפכי רפתות – איכויות, תעריפים וכללי שפכי מפעלים. ביטאון התאחדות מגדלי בקר בישראל 369: 15-16.
- [3] המארג. 2017. מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית: דו"ח ביניים. נדלה מ- <http://www.hamaarag.org.il>
- [4] המשרד להגנת הסביבה. 2014. מחשבון עזר לחישוב פליטות מזהמי אוויר מציי רכב. בתוך המשרד להגנת הסביבה: הפחתת זיהום אוויר מתחבורה. נדלה מ- <http://www.sviva.gov.il>
- [5] השירות המטאורולוגי הישראלי. 2017. סיכום שנתי. בתוך: השירות המטאורולוגי הישראלי: אקלים, סקירות אקלימיות. נדלה מ- <http://www.ims.gov.il>
- [6] התאחדות מגדלי הבקר. 2015. ספר העדר. בתוך: התאחדות מגדלי הבקר – מידע מקצועי, ספר העדר. נדלה מ- <http://www.icba.org.il>
- [7] חברת החשמל. 2016. דין וחשבון סביבתי לשנים 2014-2015. בתוך: חברת החשמל – דוחות סביבתיים. נדלה מ- <https://www.iec.co.il>
- [8] מועצת החלב. 2015. מועצת החלב: שנתון 2015. בתוך: מועצת החלב – ענף החלב, סטטיסטיקות. נדלה מ- <http://www.milk.org.il>
- [9] מלכה ה, שורק פ, לוינגרט-אייצ'י"י ע, ... ולבון י. 2016. סקר להערכת כמויות ואיכויות של המים הנכנסים והיוצאים ממכון החליבה ומחצר ההמתנה. דו"ח מסכם. שה"מ.
- [10] מרכז חקלאי העמק. 2016. מודל נורמטיבי לחישוב צריכת מים ברפת החלב. בתוך: מרכז חקלאי העמק – רפת, תחשיבים. נדלה מ- <http://vfc.co.il>
- [11] משרד החקלאות ופיתוח הכפר. 2015. תוצרי הלואי בחקלאות ישראל: מסמך מסכם לקביעת מדיניות והערכת עלויות. משרד החקלאות ופיתוח הכפר. חטיבה למחקר, כלכלה ואסטרטגיה. נדלה מ- <http://www.moag.gov.il>
- [12] שה"מ. 2016. תחשיבים. בתוך: משרד החקלאות ופיתוח הכפר – מידע מקצועי, תחשיבים. נדלה מ- <http://shaham.moag.gov.il>
- [13] Ecoinvent. 2010. Ecoinvent centre. ecoinvent 2.2 database. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- [14] EPA. 2016. Life cycle inventory (LCI) data – Treatment chemicals, construction materials, transportation, on-site equipment, and other processes for use in spreadsheets for environmental footprint analysis (SEFA). Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.

[15] FAO. 2016a. Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for assessment. livestock environmental assessment and performance partnership. Rome: FAO.

[16] FAO. 2016b. Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. livestock environmental assessment and performance partnership. Rome: FAO.

[17] Hagemann M, Ndambi A, Hemme T, and Latacz-Lohmann U. 2012. Contribution of milk production to global greenhouse gas emissions. *Environmental Science and Pollution Research* **19**(2): 390-402.

[18] International Dairy Federation (IDF). 2005. Guide on life cycle assessment towards sustainability in the dairy chain. Bulletin 398 of the International Dairy Federation.

[19] International Dairy Federation (IDF). 2010. A common carbon footprint approach for dairy: The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. Bulletin 445 of the International Dairy Federation

[20] IPCC. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories Intergovernmental Panel on Climate Change.

[21] ISO. 2006. ISO 14040 environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.

[22] Meron N. 2017. A new methodology for localization in Life Cycle Inventory (LCI): Using water supply systems as a case study. (PhD, Tel-Aviv University).

[23] Meul M, Van Middelaar CE, de Boer IJM, et al. 2014. Potential of life cycle assessment to support environmental decision making at commercial dairy farms. *Agricultural Systems* **131**: 105–115.

[24] Nemecek T. 2013. Estimating direct field and farm emissions. Zurich (Switzerland): AgroscopeReckenholz-Tänikon Research Station ART.

[25] Opher T and Friedler E. 2016. Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. *Journal of Environmental Management* **182**: 464–476 .

[26] Yan MJ, Humphreys J, and Holden NM. 2011. An evaluation of life cycle assessment of european milk production. *Journal of Environmental Management* **92**(3): 372–379.