

שיר טריקי

המעבדה לקיימות ולמדיניות
סביבתית, המחלקה לגאוגרפיה
ולפיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-
גוריון בנגב

מידד קיסינגר

המעבדה לקיימות ולמדיניות
סביבתית, המחלקה לגאוגרפיה
ולפיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-
גוריון בנגב

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

טריקי ש קיסינגר מ. 2019. אימוץ
גישה מערכתית לניתוח ממשקים
סביבתיים של ייצור חלב בקר
בישראל. *אקולוגיה וסביבה* 10(2).



"אימוץ גישה מערכתית מניתוח מחזור החיים זיהה מספר נקודות השפעה עיקריות במערכת ייצור החלב בישראל, הקשורות לצריכת משאבים ולפליטות, וכוללות בין היתר: יבוא מזון והובלתו, השפעת הרכב המזון על פליטות ממערכת העיכול, צריכת האנרגיה והמים ברפת וממשק הטיפול בזבל" | צילום: StateofIsrael, Flickr CC BY-SA 2.0

אימוץ גישה מערכתית לניתוח ממשקים סביבתיים של ייצור חלב בקר בישראל

13 ביוני, 2019

גיליון קיץ 2019 / כרך 10(2)

[חזית המחקר](#)

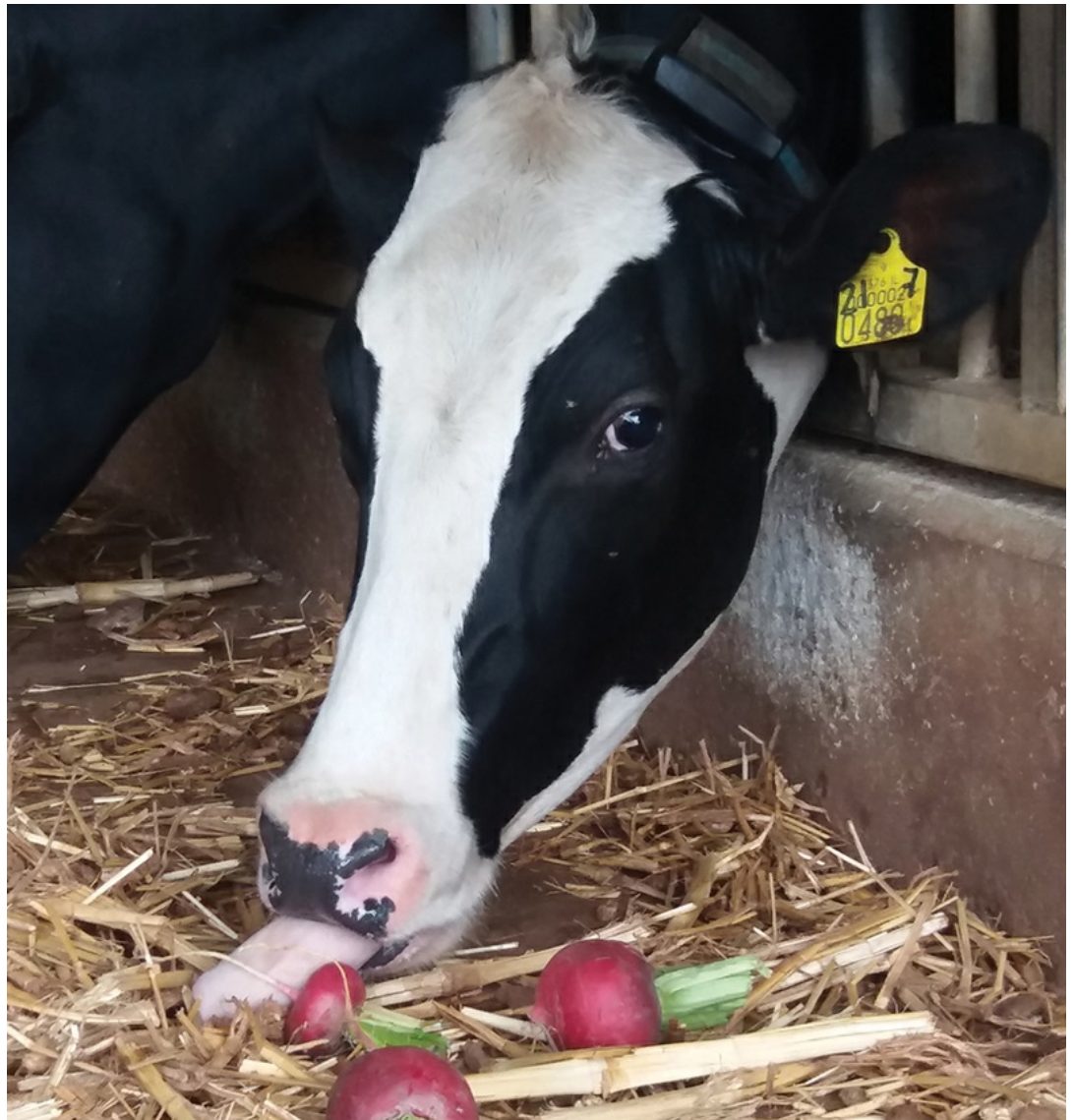
על קצה המזלג

- לתעשיית המזון, בעיקר מזון מן החי (כדוגמת חלב ומוצריו) נטל סביבתי נרחב.
- המאמר מציג ניתוח של ההשפעות הסביבתיות של ייצור החלב בישראל בשיטת ניתוח מחזור החיים.
- זוהי הפעם הראשונה שמחקר כזה נערך בישראל, שמערכת ייצור החלב בה שונה במגוון היבטים ממערכות בעולם. המחקר התבסס ככל האפשר על נתונים שנאספו בשטח והותאמו ככל הניתן למציאות הישראלית.
- בחינת כל שרשרת האספקה מאפשרת להצביע על נטל סביבתי מהותי או חורג, בכל אחד מחלקיה.
- תוצאות המחקר יכולות לשמש לשינוי דפוסי פעילות בקרב חקלאים (מגדלי מזון לפרות ורפתנים כאחד), חברות המשתמשות בחלב כחומר גלם, חברות לטיפול בפרש ובשפכים מרפתות, וכמובן גורמי אסדרה ממשלתיים.

המערכת

תקציר

בשנים האחרונות גובר העניין בהבנת ההשפעות הסביבתיות הנגרמות במהלך ייצור מוצרים מן החי בכלל, ומוצרי חלב בפרט. מאמר זה מציג לראשונה תוצאות מחקר שבחן מגוון נקודות ממשק והשפעות סביבתיות, ישירות ועקיפות, של ייצור חלב בקר בישראל באמצעות שיטת ניתוח מחזור החיים (LCA). המחקר נערך לאורך שנה ב-12 רפתות שיתופיות. הניתוח נערך משלב ייצור המזון להאבסה עד לשלב הגעת החלב למחלבה. המחקר מצא כי ייצור 1 ק"ג חלב (מתוקן לתכולת שומן וחלבון), דורש בממוצע כ-0.5 מ"ר שטח קרקע, כ-52 ליטר מים וכ-3.3 מגה-ג'אול אנרגיה מחשמל ומדלקים, ומייצר פליטות מזהמים בהיקף של כ-1.03 ק"ג CO₂-eq (שווה ערך פחמן דו-חמצני, GWP), 0.0095 ק"ג SO₂-eq (שווה ערך גופרית דו-חמצנית, AP) ו-0.003 ק"ג PO₄-eq (שווה ערך זרחן, EP). תוצאות אלה נמצאות בטווח שנמצא במחקרים בעולם, פרט לשימוש בקרקע, שנמוך בגלל היעדר מרעה. גידול המזון נמצא כרכיב עיקרי הן בצריכת המשאבים הן בפליטות, ורובן מתרחשות בארצות המקור של המזון המיובא. הפעילות ברפת מהווה 20%-13 מסך צריכת האנרגיה והמים, בהתאמה. התסיסה במערכת העיכול היא התורמת העיקרית לפליטות גזי החממה, ולאחר מכן ממשקי הטיפול בזבל, והם התורמים העיקריים גם ביתר הפליטות. אימוץ גישה מערכתית מניתוח מחזור החיים זיהה מספר נקודות השפעה עיקריות במערכת ייצור החלב בישראל, הקשורות לצריכת משאבים ולפליטות, וכוללות בין היתר: יבוא מזון והובלתו, השפעת הרכב המזון על פליטות ממערכת העיכול, צריכת האנרגיה והמים ברפת וממשק הטיפול בזבל.



פרה הניזונה מצנן. ברפת הישראלית נעשה שימוש רב יחסית בהזנה בפסולת (בעיקר מתעשיית מוצרי מזון ומחקלאות). הדבר מצמצם את המשאבים והפליטות הקשורים לגידול המזון לפרות | צילום: שחר בוקמן

מבוא

בשנים האחרונות הולך וגדל העניין בארץ ובעולם בהבנת ההשפעות הסביבתיות של ייצור וצריכה של מזון. הבנה זו יכולה לשמש בסיס להתייעלות, לצמצום ההשפעה ולקידום מערכת מזון בת-קיימא. מחקרים שונים בעולם מצאו כי משק החי הוא גורם משמעותי בלחץ על המערכות הסביבתיות המקומיות והגלובליות^[16,15]. אחד ממרכיבי המזון ממשק החי שנתמקד בהם במאמר זה הוא חלב בקר. תהליך ייצור החלב משפיע באופן ישיר ועקיף על הסביבה דרך צריכת משאבים (קרקע, מים ואנרגיה) ופליטות מזהמים שונים לסביבה המקומית והגלובלית^[10].

אחת המשמעויות לבחינת השפעות אלה ולהתמודדות איתן היא אימוץ גישה מערכתית שתאפשר הבנת תהליכים שונים ומציאת אסטרטגיות כבסיס להתייעלות, לשינוי הרגלים ולצמצום ההשפעה. ניתוח מחזור החיים (LCA – Life Cycle Assessment) הוא כלי יעיל לזיהוי השפעות סביבתיות, ישירות ועקיפות, לאורך שלבי ייצור מוצר ולהצעת פעולות לצמצומן. שיטה זו מציגה את ההשפעות הסביבתיות בנקודות שונות לאורך מחזור החיים של מוצר, מהפקת חומר הגלם, דרך ייצור המוצר, עבור בשימוש בו ועד לסילוקו ('מעריסה לקבר')^[14].

עולם נערכו מחקרים רבים שבחנו מערכות ייצור חלב באמצעות כלי זה בקני מידה ובשלבים שונים בשרשרת ייצור החלב^[11].

[19,17]. מרבית המחקרים בוחנים השפעה סביבתית אחת ולעיתים שתיים, והעיקרית בהן היא פליטות גזי החממה שמשמשת מדד לפוטנציאל ההתחממות הגלובלית (GWP) [3, 4, 5, 18]. מעטים מתייחסים להשפעות סביבתיות אחרות, כגון פוטנציאל ההחמצה (אסידיפיקציה, AP) ופוטנציאל ההעשרה (איטרופיקציה, EP) שהם מדדים לזיהום אוויר ומים. במחקרים אלה נמצא כי השלב החקלאי (גידול המזון וייצור החלב) הוא התורם העיקרי להשפעות הסביבתיות, ומהווה 80–94% מסך פליטות גזי החממה לאורך שרשרת אספקת החלב [18, 11, 5, 4]. השימוש במים לאורך מחזור החיים של החלב קיבל עד כה התייחסות מוגבלת בלבד [9, 2].

מערכת ייצור חלב הבקר בישראל מונה למעלה מ-100,000 פרות חולבות. כ-58% מתנובת החלב מגיעה מ-163 משקים שיתופיים המונים בממוצע 400 פרות למשק, כ-41% מגיעה מ-750 משקים משפחתיים המונים בממוצע 80 פרות, והשאר ממספר בתי ספר חקלאיים [1]. הגזע העיקרי של פרה בישראל הוא הולשטיין-פריז-ישראלי, שהותאם לתנאי האקלים הישראלי. מערכת ייצור החלב בישראל מאופיינת בתפוקות חלב גבוהה לפרה ובשיטת הזנה שונה ממדינות רבות בעולם, שאינה כוללת מרעה ומבוססת על מנות מדודות ואחידות לאורך כל השנה. כ-35% מהתזונה מתבססים על מזון מקומי (מזון גס ופסולת מתעשיית המזון) וכ-65% מיובאים (מזון מרוכז) [13].

בשנים האחרונות קודמה במדינת ישראל רפורמה מקיפה במשק החלב, הכוללת, בין היתר, שיפור תשתיות לצמצום ההשלכות הסביבתיות [10] כגון: קליטת כל שפכי הרפת במערכות ביוב באמצעות טיפולי קדם שונים וצמצום מפגעים הנובעים מרטיבות זבל ברפת, החלת ממשקי טיפול בזבל כמו קלטור בחצרות הרפת, והקמת מתקני טיפול בזבל שונים כמו קומפוסט ומתקן לטיפול בבוצה חקלאית.

עד כה לא נבחנה בישראל מערכת ייצור החלב בצורה הוליסטית כך שתכלול את ההשפעות הישירות והעקיפות של המוצר לאורך מחזור החיים כולו, תאמוד את ההשפעה של שלבים ומרכיבים שונים ותצביע על הפוטנציאל לצמצום ההשפעה.

מחקר קודם [8] שהשווה פליטות גזי חממה ממשקי חלב במדינות שונות באמצעות גישת ניתוח מחזור החיים מצא כי ייצור החלב בישראל פולט בהיקף הנמוך ביותר. עם זאת, המחקר התבסס על נתונים ממוצעים עבור רפת אופיינית לישראל שיש בה 63 פרות בלבד.

במאמר זה מוצגים ממצאים עיקריים ממחקר ראשון שנערך באמצעות גישת ניתוח מחזור החיים ושבחן בצורה הוליסטית ועל פי הסטנדרטים המקצועיים המקובלים כיום מגוון ממשקים סביבתיים במערכת ייצור החלב ברפתות שונות ברחבי בארץ.



מכל חלב בנפח 24,000 ליטר לאחסון תפוקת רפת של 1-2 ימים, עד להובלתה למחלבה. רפת קיבוץ יזרעאל / צילום: שחר בוקמן

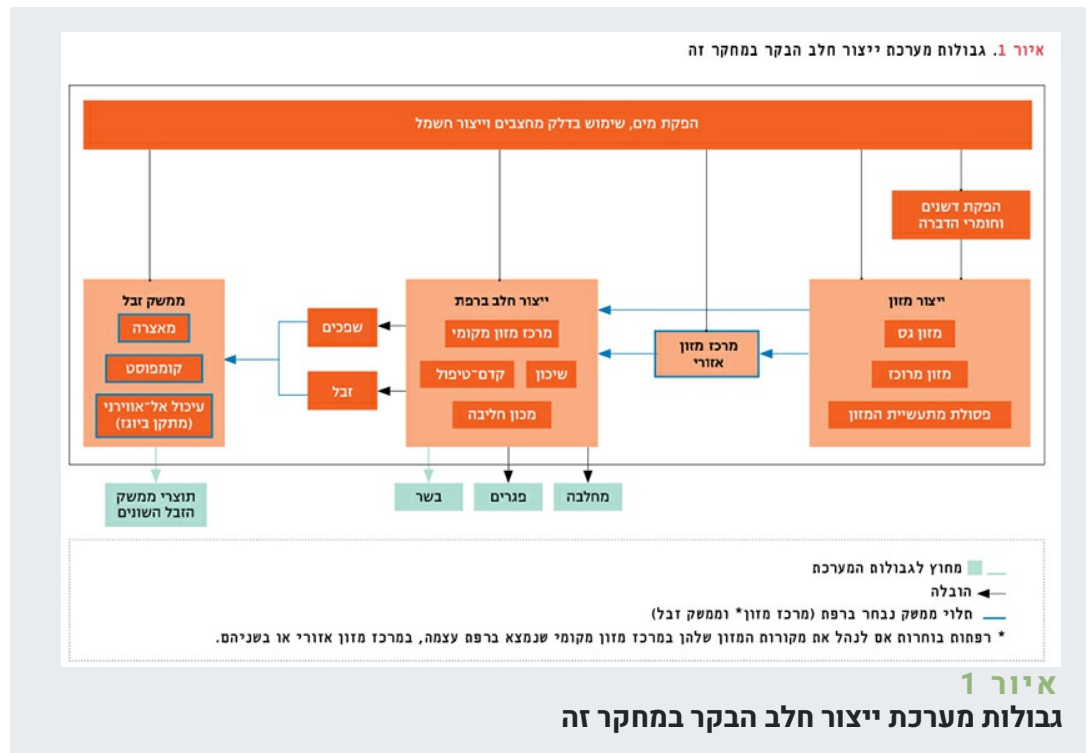
שיטות המחקר

המחקר התבסס על המתודולוגיה והשלבים המוצגים במסמכי ISO 14040 משנת 2006 [14], ועל מסמכים של ניתוח מחזור החיים לחלב של הפדרציה הבין-לאומית של המחלבות (IDF) (International Dairy Federation) ושותפות הניתוח הסביבתי

והביצוע של המקנה ^{6, 7, 12} LEAP (Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership). הניתוח נעשה לק"ג חלב מתוקן לתכולת שומן וחלבון (FPCM). (לשם השוואה, ממוצע ליטר חלב בישראל הוא 1.0058 ק"ג FPCM).

המחקר נערך לאורך שנה, ממאי 2015 עד אפריל 2016, וכלל איסוף נתונים מ-12 רפתות שיתופיות באזורים שונים בארץ ובגודלי רפת שונים (ראו פירוט בנספח 1). איור 1 מציג את פירוט המרכיבים והשלבים בייצור שנכללו במחקר (גבולות המערכת) – החל בייצור המזון להאכלת הפרות ועד הגעת החלב למחלבה.

במקביל לאיסוף הנתונים ולניתוח מחזור החיים של החלב המופק ברפתות המקומיות נערכה סקירה שכללה כ-20 מחקרים מרחבי העולם ואפשרה להשוות את ממצאי המחקר ולזהות אפשרויות לקידום צעדי התייעלות על בסיס הניסיון במערכות דומות.



קציר חיטה בקנטקטי. "חלק ניכר מההשפעות הסביבתיות נובע מהשימוש במזון מרוכז שרובו מיובא, והדבר משפיע על המדינות

שהוא מגדל בהן ועל המערכת הגלובלית" | צילום: UK College of Agriculture, Food & Environment, Flickr CC BY-NC-ND 2.0

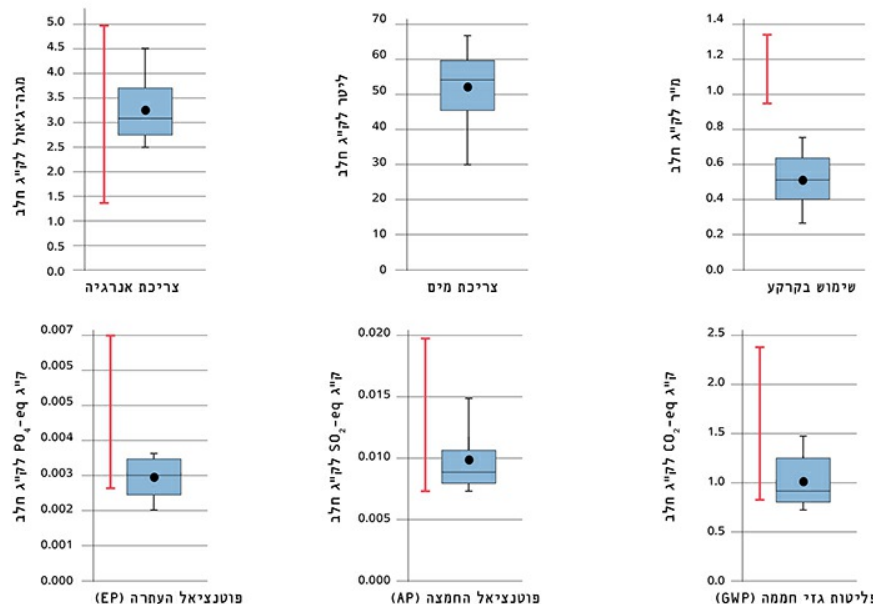
תוצאות

ייצור ק"ג חלב (FPCM) במערכות שנחקרו דורש בממוצע 0.5 מ"ר שטח, 52 ליטר מים ו-3.3 מגה-ג'אול אנרגיה. הפליטות הנוצרות לאורך מחזור החיים הן בממוצע 1.03 ק"ג CO₂-eq (GWP), 0.0095 ק"ג SO₂-eq (AP) ו-0.003 ק"ג PO₄-eq (EP). כפי שנראה באיור 2, ישנה שונות בתשומות ובפליטות לאורך מחזור החיים בין מערכות גידול הפרות וייצור החלב, שמושפעות בין היתר מהמיקום הגאוגרפי של הרפת, מגודלה, מהמשקים השונים בכל רפת, מהרכב המנה, ממשקי טיפול בזבל ועוד.

תוצאות ההשפעות הסביבתיות כפי שעולות ממחקר זה נמצאות בטווח דומה לתוצאות מחקרים דומים ברחבי העולם במרבית ההשפעות הסביבתיות, וחלק מהן אף נמצאות בחלק התחתון של הטווח (איור 2). חשוב להדגיש כי המחקרים בעולם כמעט לא התייחסו לנושא המים שנבחן במחקר זה.

איור 3 מציג את חלקם של השלבים השונים לאורך מחזור החיים של ייצור החלב ברפתות שנבחנו, מתוך כלל ההשפעה הסביבתית של התהליך. גידול המזון נמצא כמרכיב משמעותי הן בצריכת המשאבים הן בפליטות, והרוב מתרחש בארצות המקור של המזון המיובא (מזון מרוכז). בפוטנציאל ההעברה, למשל, חלק ניכר מההשפעה הוא על מקורות המים שמחוץ לגבולות ישראל, בארצות המגדלות את המזון המיובא. הפעולה המשפיעה על צריכת האנרגיה והפליטות בגידול המזון בארץ (מזון גס) היא השימוש בדשנים ובחומרי הדברה. התסיסה במערכת העיכול היא התורמת העיקרית ל-GWP ומושפעת מהרכב המנה, וכן משפיעים עליה ממשקי הטיפול בזבל שהם תורמים עיקריים גם ביתר הפליטות. הובלת המזון (המיובא) בים היא המרכיב העיקרי בפליטות הקשורות בהובלה (ראו פירוט בספח 1).

איור 2. תוצאות ההשפעות הסביבתיות הנבחרות לאורך מחזור החיים של ייצור ק"ג חלב במערכות הייצור השונות שנבחנו במחקר בישראל מול טווח תוצאות עולמי
באדום – טווח התוצאות העולמי במחקרים שנסקרו. אין כמעט נתונים לגבי צריכת המים לייצור חלב ממחקרים בגישת ניתוח מחזור החיים. בחיבה – טווח התוצאות של מערכות ייצור החלב שנבחנו בישראל במסגרת מחקר זה. עיגול שחור – ממוצע התוצאות. קו במרכז החיבה – חציון.



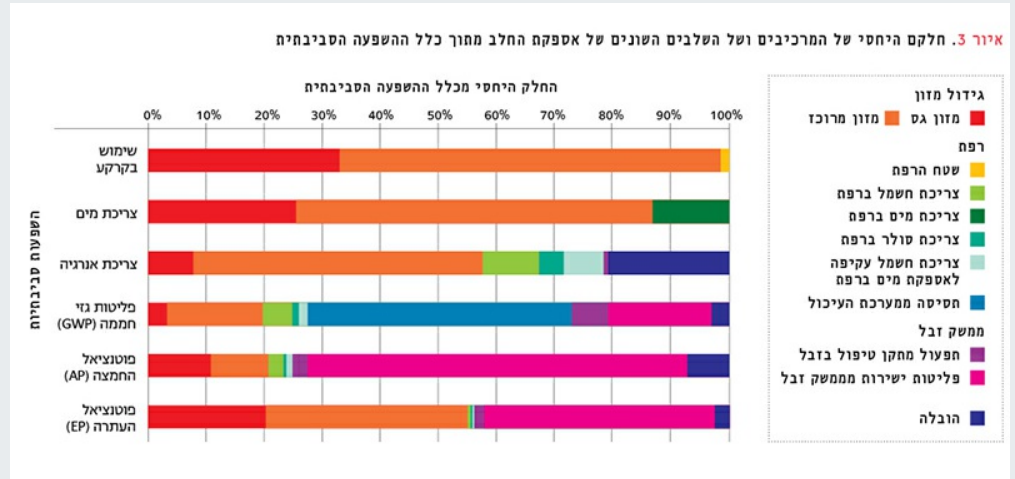
איור 2

תוצאות ההשפעות הסביבתיות הנבחרות לאורך מחזור החיים של ייצור ק"ג חלב במערכות הייצור השונות שנבחנו במחקר בישראל מול טווח תוצאות עולמי

באדום – טווח התוצאות העולמי במחקרים שנסקרו. אין כמעט נתונים לגבי צריכת המים לייצור חלב ממחקרים בגישת ניתוח מחזור החיים.

בחיבה – טווח התוצאות של מערכות ייצור החלב שנבחנו בישראל במסגרת מחקר זה.

עיגול שחור – ממוצע התוצאות.
קו במרכז התיבה – חציון.



איור 3

חלקם היחסי של המרכיבים ושל השלבים השונים של אספקת החלב מתוך כלל ההשפעה הסביבתית

דיון ומסקנות

חלב ומוצריו הם נתח משמעותי מצריכת המזון בישראל והביקוש להם גדל. אף על פי שהדעות באשר לחשיבות החלב כמרכיב תזונתי חלוקות, משווק החלב ברחבי העולם המערבי בכלל ובישראל בפרט כמרכיב בעל תכונות בריאותיות חיוניות.

מהמחקר עולה כי מערכות ייצור החלב הישראליות שנבחנו נמצאות בטווח העולמי במרבית נקודות הממשק הסביבתיות שנבדקו, ובחלק מהן אף בחלק התחתון של הטווח. מצב זה נובע ככל הנראה, בין היתר, מתפוקת החלב הגבוהה המאפיינת את הפרה הישראלית (גורם המצמצם את התשומות והפליטות ליחידת חלב). גורם נוסף הוא השימוש הרב יחסית בפסולת (בעיקר מתעשיית מוצרי מזון וכן מחקלאות) להאכלת הפרות (13% בממוצע מהרכב המנה), שמצמצמת את המשאבים והפליטות הקשורים לגידולי המזון, היות שהיא מפחיתה את השימוש במזון שמגודל להאכלת הפרות. נוסף על כך, השטח הדרוש לייצור יחידת חלב נמוך יחסית לטווח בגלל היעדר מרעה. בעוד שנמצאו הבדלים קטנים בין המערכות שנבחנו, הרפתות הגדולות נמצאו כיעילות יותר, לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין האזורים השונים בארץ.

אימוץ הגישה המערכתית של ניתוח מחזור החיים מאפשר לזהות נקודות השפעה עיקריות הקשורות לצריכת משאבים ולפליטות במערכת ייצור החלב במערכות שנבחנו. במחקר נמצאו מספר שלבים ומרכיבים בעלי השפעה מרכזית ובהם:

הרכב המזון – חלק ניכר מההשפעות הסביבתיות נובע מהשימוש במזון מרוכז שרובו מיובא, והדבר משפיע על המדינות שהוא מגודל בהן ועל המערכת הגלובלית. לדוגמה, חלק ניכר ממוטנציאל ההעתרה נמצא בארצות גידול המזון, כגון אגן המיסיסיפי בארה"ב ומזרח אירופה. יש חשיבות לבחירת רכיבי המנה ומקורם.

פליטות גזי חממה ממערכת העיכול של הפרות – פליטות אלה מושפעות בין היתר מהרכב המזון ומסוג ההזנה. באמצעות בחינה של שינויים ברכיבי המנה, תוך התחשבות בהשפעה על האיכות התזונתית שלה, על תפוקת החלב ועל עלותה הכלכלית, ניתן לצמצם את ההשפעות האלה.

דשנים וחומרי הדברה – משמשים בגידול המזון בארץ ובעולם, והשפעתם הסביבתית נובעת מהפקתם, מהשימוש בהם ומתוצרי הלוואי לאחר השימוש.

ממשק זבל – מרכיב זה, שמקבל תשומת לב רבה במסגרת ניהול משק החלב בארץ, אכן נמצא כבעל השפעה משמעותית בעיקר על איכות מקורות המים ופליטות לאוויר.

דווקא החלק המשמעותי של ההזנה ממקורות מקומיים בישראל מצביע על פוטנציאל לקידום חלופות לצמצום חלק מההשפעות שנמצאו בדשנים ובממשק הזבל. במחקר זה לא הובא בחשבון השימוש בתוצרי ממשקי הזבל כתחליף לשימוש בדשנים כימיים בשדות החקלאיים, כגון: פיזור הזבל בשדות, שימוש בקומפוסט ושימוש בתוצרי הדשנים ממתקני הטיפול בבוצה חקלאית (מטב"ח). הסיבות לכך הן מגבלת נתונים וחוסר מידע ספציפי לגבי שימוש בתוצרים בגידולים המיועדים להאכלת הפרות. לכן, ישנו פוטנציאל "לסגירת מעגל" בין השלבים בתוך המערכת ולהערכת צמצום ההשפעה הסביבתית שלה.

ייצור החלב ברפת – לשלב זה מגוון השפעות הקשורות לצריכת אנרגיה ומים, לפליטות הקשורות למערכת העיכול של הפרות, לפסולת מוצקה (זבל) ולשפכים. כבר כיום חלק משמעותי מהרפתות מייצרות אנרגיית שמש, שעשויה להיות אמצעי לקיזוז צריכת האנרגיה ממקורות מתכלים והפליטות הקשורות לצריכת חשמל ברפת.

לאור הממצאים הללו וזיהוי הנקודות שהשפעתן הסביבתית משמעותית במערכות שנבחנו, עולה צורך בהמשך בחינת אמצעים ליעול ולשיפור של הביצועים הסביבתיים במערכת ייצור החלב בישראל, ברמה הלאומית וברמת הרפת. במהלך שלב איסוף הנתונים במחקר זה נמצאו פערים בזמינות הנתונים הקיימים בישראל, הן לגבי כמויות משאבים בשלבים שונים הן לגבי הערכת מקדמי פליטה ספציפיים לישראל.

המחקר שבוצע נערך לאורך שנה, שהתאפיינה במגוון קיצוני של עומסי חום, והתמקד במספר רפתות שיתופיות שהיו נכונות לשתף פעולה. ממוצע תפוקת החלב המיוצרת בשנה לחולבת ברפתות אלה הוא קצת מעל לממוצע הישראלי^[1]. היות שכן, מומלץ להרחיב את המחקר לרפתות שיתופיות נוספות ולרפתות משפחתיות כדי לייצג את משק החלב כולו באופן רחב ומדיק יותר לאורך זמן.

במחקרים עתידיים בגישת ניתוח מחזור החיים בתחום החקלאות יש לבחון גם השפעות סביבתיות, כגון מגוון ביולוגי, ריחות, רעילות, ערך נופי ותרבותי, וכן לבחון השפעות חברתיות וכלכליות. נוסף על כך, יש לבחון ולהרחיב את גבולות המערכת שיכללו גם את שלב עיבוד המוצרים החקלאיים, שלב הצרכן ושלב סילוק הפסולת. כמו כן, מכיוון שהחקלאות בישראל בעלת ערכים נוספים, כמו שמירת קרקע וחזקת אזורי גבול, יצירת מקומות תעסוקה בפריפריה, הפקת תוצרים מקומיים ויצירת רשת ביטחון של מזון מקומי ועוד, מומלץ להרחיב גם את מחקרי ניתוח מחזור החיים להערכה ולהתייחסות לתחומים אלה.

בימים אלה מתקיים מחקר המשך המשלב את צוות המחקר מאוניברסיטת בן-גוריון בנגב עם אנשי שה"מ ונציגים נוספים ממשרד החקלאות. הכוונה היא להרחיב את המחקר הנוכחי כך שייצג בצורה טובה ורחבה יותר את כלל מערכת החלב בישראל, וישמש בסיס למידול ולבחינת אפשרויות לקידום מערכת יעילה תוך הפחתת ההשפעות הסביבתיות.

תודות

ברצוננו להודות לרפתנים על שיתוף הפעולה המלא ותרומתם למחקר. כמו כן, אנו מודים לאנשי המקצוע הרבים הקשורים למערכת ייצור זו, בהם אנשי שה"מ בתחום הבקר והאגרו-אקולוגיה, מדריכים אזוריים ואנשי גידולי שדה, ואנשי מקצוע מתחום ההזנה, הקומפוסט והמטב"ח. נוסף על כך, אנו מודים למועצת החלב על תמיכתה במחקר באמצעות תקציב מחקר במסגרת 'קרן המחקר למדעי הבקר'.

הלכה למעשה

יוסי מלול, התאחדות מגדלי בקר:

אם אנו רוצים להמשיך לצרוך חלב ומוצריו ו"לתרום" מעט, ככל האפשר, לפליטת גזי חממה ולזיהום כדור הארץ, ראוי לעשות זאת עם חלב המופק מפרה ישראלית. בעבודות שנעשו, נמצא שהפרות הישראליות פולטות פחות גזי חממה מפרות במדינות אחרות, אף על פי שהתנובה שלהן היא הגבוהה בעולם. הדבר קורה בזכות שיטת הזנה המתבססת בעיקר על גרעינים, ופחות על מזון סיבי הנשאר זמן רב בכרס הפרה ופולט מתאן. הרפת הישראלית היא מהמובילות בעולם בתחום של קיימות ורווחת בעלי חיים, ומשקיעה הון רב בתשתיות, במחקרים ובהפצת הידע. מתוך מודעות גדולה לנושא מקימה בימים אלה התאחדות מגדלי בקר 'שולחן קיימות' שיתמקד בהגברת פעילות יצרני החלב בתחום הקיימות, החשוב לכולנו, ובהסברה.

מקורות

1. מועצת החלב. 2015. מועצת החלב: שנתון 2015. בתוך מועצת החלב, סטטיסטיקות.
2. Baldini C, Gardoni D, and Guarino M. 2017. A critical review of the recent evolution of life cycle assessment applied to milk production. *Journal of Cleaner Production* **140**: 421-435.
3. Casey JW and Holden NM. 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems* **86**(1): 97-114.
4. Daneshi A, Esmaili-sari A, Daneshi M, and Baumann H. 2014. Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran. *Journal of Cleaner Production* **80**: 150-158.
5. FAO. 2010. Greenhouse gas emissions from the dairy sector: A life cycle assessment. Rome: FAO.
6. FAO. 2016a. Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for assessment. Livestock environmental assessment and performance partnership. Rome: FAO.
7. FAO. 2016b. Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. Livestock environmental assessment and performance partnership. Rome: FAO.
8. Hagemann M, Hemme T, Ndambi A, et al. 2011. Benchmarking of greenhouse gas emissions of bovine milk production systems for 38 countries. *Animal Feed Science and Technology* **166-167**: 46-58.
9. Henderson AD, Asselin-Balençon AC, Heller MC, et al. 2017. Spatial variability and uncertainty of water use impacts from US feed and milk production. *Environmental Science and Technology* **51**(4): 2382-2391.
10. Hojman D, Malul Y, and Avrech T (Eds). 2008. The dairy industry in Israel 2008. Israel Dairy Board and Israel Cattle Breeders Association.
11. Hospido A, Moreira MT, and Feijoo G. 2003. Simplified life cycle assessment of galician milk production. *International Dairy Journal* **13**(10): 783-796.
12. 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.
13. Israel Ministry of Agriculture and Rural Development. 2013. Israel agriculture: Overview of major aspects.
14. ISO. 2006. ISO 14040 environmental management – Life Cycle Assessment – principles and framework.

15. Nijdam D, Rood T, and Westhoek H. 2012. The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy* 37(6): 760-770.
16. Poore J and Nemecek T. 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* **360**(6392): 987-992.
17. Roer A, Johansen A, Bakken AK, et al. 2013. Environmental impacts of combined milk and meat production in Norway according to a life cycle assessment with expanded system boundaries. *Livestock Science* **155**(2-3): 384-396.
18. Thoma G, Popp J, Nutter D, et al. 2013a. Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. *International Dairy Journal* **31**: S3-S14.
19. van der Werf HMG, Kanyarushoki C, and Corson MS. 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management* **90**(11): 3643-3652.

קריאה נוספת

לסקירה ספרותית רחבה של מחקרי LCA לייצור חלב:

Baldini, C, Gardoni D, and Guarino M. 2017. A critical review of the recent evolution of life cycle assessment applied to milk production. *Journal of Cleaner Production* **140**: 421-435.

לפירוט שיטת LCA וביצועה בשרשרת האספקה של מעלי גירה:

FAO. 2016. Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. Livestock environmental assessment and performance partnership. Rome: FAO.

נספחים (זמינים באתר)

נספח 1. חומרים
נלווים

[להורדה](#)