

**ריבה ולדמן**

מנהלת המרכז לחינוך סביבתי, איגוד ערים דן לתברואה

**יפתח ענבר**

מהנדס איגוד ערים דן תברואה (חירייה)

ציטוט מומלץ

ולדמן ר וענבר י. 2022. מחשבון הפחמן של חירייה ככלי שימושי למקבלי החלטות במגזר המוניציפלי. אקולוגיה וסביבה 13(3): 67-74.



האשפה מגוש דן נקלטת בתחנת המעבר הזו, נדחסת ומועמסת על משאיות ענק המשנעות אותה לאתר ההטמנה אפעה | צילום: אילן ספירא

# מחשבון הפחמן של חירייה ככלי שימושי למקבלי החלטות במגזר המוניציפלי

חזית המחקר | גיליון סתיו 2022 / כרך 13(3) / הפחתת פליטות גזי חממה | 15 בנובמבר, 2022

## על קצה המזלג

- יש עניין רב במזעור פליטת גזי חממה במהלך השלבים השונים של הטיפול בפסולת, ובייחוד בשלבי הקצה של הטמנה או שרפת פסולת.
- רוב הפסולת בישראל מוצאת את דרכה למטמנות, שמהן נפלט רוב המתאן בישראל. מתאן הוא גז חממה שצמצום משמעותי של פליטתו הכרחי כדי שנעמוד ביעדי הפחתת הפליטות ל-2030.
- ישנן חלופות לטיפול בפסולת, מלבד הטמנה, אך גם הן כרוכות בפליטת גזי חממה, ויש לבחון את שיעורי הפליטות גם בהן.
- המאמר מתאר ניסיון ייחודי של גוף העוסק הלכה למעשה בטיפול בפסולת בישראל לכמת פליטות גזי חממה במקטעי הטיפול השונים, ולהשתמש בהערכות האלה ככלי לבחינת הביצועים ולקבלת החלטות.

המערכת

## תקציר

יעילות מהלכים ופעולות לניהול הטיפול בפסולת נמדדת לרוב באמצעות אחוזי מחזור או צמצום בכמות הפסולת המוטמנת. למרות זאת, לגופים האמונים על הטיפול בפסולת חסר מדד לבחינה כמותית של ההשפעה הסביבתית בפועל, המתכלל את כלל הפעולות בשרשרת הטיפול. כחלק משאיפת איגוד ערים דן לתברואה (חירייה) לצמצום פליטת גזי חממה, פותח כלי דינמי לחישוב ולבקרה הבוחן את השפעת פעילות האיגוד על פליטות גזי חממה.

סך הפעולות המעורבות בתהליכי הטיפול בפסולת, החל משלב קליטת הפסולת באתר חירייה ועד לטיפול במתקני הקצה, מופו והן מבוטאות ביחידות שוות ערך לפליטות של פחמן דו-חמצני ( $eqCO_2$ ). מקורות הפליטות סווגו לשלוש קבוצות: פעולות התפעול והמיון באתר, שינוע הפסולת והטיפול באתרי הקצה (מטמנות, מפעלי מחזור או מתקני השבה וכיו"ב). ערכי הפליטות לפי נתוני התפעול של 2020 בפארק המחזור הראו שכ-98% מהפליטות בתהליכי הטיפול נוצרים באתרי הקצה, בעוד שכ-2% הנותרים מיוצרים בתוך אתר חירייה ובתהליכי שינוע.

נתוני הפליטות הוטמעו ב"מחשבון השפעה אקלימית" במטרה לאפשר לחשב את החיסכון בפליטת גזי חממה לעומת תרחיש הייחוס, שלפיו כל הפסולת מועברת להטמנה ישירה. לדוגמה, כלי החישוב הראה כי טונה פסולת מעורבת שממוינת במפעל ה-RDF, מפחיתה פליטות ביותר מ-50% בהשוואה לטונה פסולת מעורבת שעוברת להטמנה ישירה. לתוך החישוב הוזנו גם נתוני פליטות הנחשכות בייצור חומרי גלם הודות לתהליכי מחזור והפקת אנרגיה.

המחשבון משמש את האיגוד החל משנת 2022 גם ככלי לקבלת החלטות. הוא מאפשר לבחון אסטרטגיות שונות ותרחישים עתידיים לטיפול בפסולת, לרבות השוואה בין חלופות טיפול לכל סוג חומר ותוצר, גם בטכנולוגיות שטרם נבחנו בישראל, כמו מתקני השבת פסולת לאנרגיה.

## מבוא

כחלק מהתחייבות מדינת ישראל להפחית פליטות גזי חממה, התחייבו גם הרשויות המקומיות, ובהן עיריית תל-אביב-יפו, שהיא הרשות המקומית הגדולה ביותר החברה באיגוד ערים דן לתברואה, לצמצם את פליטות גזי החממה. לעיר התחייבויות גם במסגרת היותה חברה בארגון הבין-לאומי של ערי מטרופולין <sup>[4,3]</sup> C-40. בשנים הקרובות צפויות רשויות נוספות בישראל להציג תוכניות דומות.

שרשרת הטיפול בפסולת היא מקור אנתרופוגני (שקשור לפעילות אנושית) ליצירת גזי חממה. על פי נתוני הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC), פליטות של מתאן עקב טיפול בפסולת ובבוצות עומד על 18% מסך הפליטות האנתרופוגניות בעולם <sup>[6]</sup>, ואילו בישראל, לפי מרשם הפליטות לסביבה (מפל"ס) לשנת 2020 <sup>[1]</sup>, עולה כי מטמנות הפסולת לבדן, ללא הבוצות, אחראיות ל-77% מפליטות המתאן האנתרופוגניות. השפעתו הגדולה של המתאן יחסית לגזי חממה אחרים מביאה לכך שתרומת מגזר הטיפול בפסולת גדולה יותר כאשר ממירים את יחידות הפליטה ליחידות שוות ערך פחמן דו-חמצני ( $eqCO_2$ ). הנתונים המדאיגים של פליטות גזי חממה ממגזר הטיפול בפסולת בישראל לעומת הנתונים העולמיים מצביע על הפוטנציאל הרב הטמון בהפניית משאבים לשיפור הטיפול בפסולת בעזרת הטמעת פתרונות הכרוכים בפליטות נמוכות.

איגוד ערים דן לתברואה, המפעיל את פארק המחזור חירייה ומטפל בפסולת הנוצרת ב-33 רשויות מקומיות במרכז הארץ, נקט בשנים מאז סגירת מזבלת חירייה ההיסטורית פעולות מגוונות לצמצום פליטות גזי חממה. מחקר בין-לאומי שבוצע בשנת 2018 העריך את התרומה האקלימית של מהלך סגירת מזבלת חירייה ושל פעולות השיקום בעקבותיו במניעה של 60% מהפליטות שהיו נפלטות ללא מהלך זה, ואת תרומת 20 השנים הראשונות לאחר הפסקת הטמנת הפסולת הבלתי מוסדרת בהר הפסולת והקמת פארק המחזור במניעת 6% נוספים הודות לשיטות הטיפול החלופיות <sup>[8]</sup>. כמות הפליטות שנמנעה חושבה במחקר זה ביחס לתרחיש בסיס ("עסקים כרגיל") שהתקיים עד שנת 1999, שהתקיימה בו הטמנה לא מוסדרת (100%).

המתודולוגיה של המחקר שלעיל, שלפיה ניתן להגדיר תרחיש ייחוס שמתאר מצב "עסקים כרגיל" ומהווה בסיס למדידת ההשפעה הסביבתית של פעולות הננקטות בהווה, ולמדידת ההשפעה של תרחישים עתידיים בעזרת ערכי פליטות, הביאה את הנהלת האיגוד להמשיך ולפתח שיטות מדידה הבוחנות על בסיס קבוע את ההשפעות הסביבתיות של הפעולות הננקטות במקטע החוץ-עירוני של הטיפול בפסולת. לאור ההתפתחות המואצת של האתר, לאור האסדרה המשתנה, ולאור ההתפתחויות העולמיות בתחום ניהול הפסולת, יש להגדיר תרחיש ייחוס

חדש שיהווה תרחיש "עסקים כרגיל", וכן תרחישים עתידיים מעודכנים לחלופות הטיפול הנראות לעין בעשור הקרוב, שיייעו להמשיך לבחון את ההשפעות הסביבתיות של פעולות הטיפול בפסולת בעזרת מנגנון חישוב פליטות. מנגנון חישוב פליטות נעשים לאחרונה דרך מקובלת להערכת הפגיעה הסביבתית במגזר הטיפול בפסולת, ומאפשרים קבלת החלטות בראייה הוליסטית של כל שרשרת הטיפול לערכי פליטות הקשורות בטיפול בפסולת, כגון: כמות הפליטות בשינוע פסולת על פי סוגי אמצעי התובלה, ערכי פליטות לפירוק פסולת לפי סוגי ההסדרה במטמנות, פליטות במתקני השבה לפי סוג הטכנולוגיה וכיו"ב. בהובלת הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים פורסמו ערכי פליטות עבור מגזר הטיפול בפסולת המתעדכנים בהתאמה לידע המצטבר בנושא [10,6].

מומחי הפאנל הבין-ממשלתי מכירים בקושי לחשב ערכים סטנדרטיים של ערכי פליטות עקב השונות הגדולה בין מדינות ואף בין אזורים באותה מדינה, שנובעת ממגוון טכנולוגיות, אמצעים, כלי רכב, ותנאים פיזיים-גאוגרפיים. אי לכך, מציע הפאנל מתודולוגיות עבור גופים המעוניינים לבצע התאמה מקומית למדידת פליטות, לצד הערכים. מדינות, רשויות מקומיות וגופים גדולים האמונים על טיפול בפסולת במקומות שונים בעולם נוהגים לבצע התאמות ועדכונים, ומתחילים להטמיע מנגנוני קבלת החלטות ולמסד דיווחים על פעולותיהם במונחים של כמויות פליטות, וכן להעריך תרומה של המלכים לשיפור הטיפול במונחים של צמצום פליטות, ולא להסתפק בדיווח על אחוזי מחזור, השבה או צמצום הטמנה [5,7,9,11,12].

"מחשבון" פליטות הפחמן של חירייה פותח על-ידי צוות מחלקת הנדסה באיגוד בשיתוף פעולה עם חברת אקוטיירידס בע"מ, והוא אמצעי עדכני, זמין ופשוט לשימוש, המותאם ספציפית לפעילות פארק המחזור ומסייע לאמוד את הפחתת הפליטות מהפעולות ולתכנן מהלכים עתידיים מופחתי פליטות. זהו הניסיון הראשון בישראל של גוף העוסק הלכה למעשה בטיפול בפסולת ליישם מדידת פליטות ככלי לבחינת הביצועים וקבלת החלטות.

הטיפול בפסולת המיוצרת בגוש דן מתחיל במקטע העירוני באיסוף הפסולת באמצעות רכבי פיני עירוניים. בשלב הבא הפסולת נקלטת ומטופלת בפארק המחזור חירייה, ומשם היא משונעת לטיפול במתקני קצה. פארק המחזור משרת 33 רשויות מקומיות, וקולט מהן שני זרמי פסולת עיקריים המוגדרים "פסולת מעורבת": פסולת ביתית ומסחרית המגיעה באמצעות רכבי דחס ומכולות איסוף, ופסולת גזם ופסולת גושית המגיעות באמצעות כלי רכב ייעודיים. לאחר השקילה, המשאית מנותבת לאחד משלושת מתקני הטיפול:

- תחנת מעבר – הפסולת נפרקת ומשונעת ברכבים גדולים לאחר דחיסה והעמסה למטמנות בדרום הארץ.
- מפעל מיון לייצור RDF (דלק חלופי לתעשיית המלט) – הפסולת הנפרקת ממוינת למרכיביה ומועברת לטיפול המשך: חומר אורגני מועבר למתקן קומפוסטציה, מתכות מועברות למפעלי מחזור, פסולת יבשה בעלת ערך קלורי גבוה נגרסת במקום ומועברת כתחליף דלק לתעשיית המלט. פסולת שאינה נמנית על אחד מהזרמים האלה מועברת להטמנה (שאריות מיון).
- מתקן למיון פסולת גזם ופסולת גושית – הפסולת ממוינת ונשלחת לאתרי קצה שונים.

לאורך כל שרשרת הטיפול בפסולת נפלטים גזי חממה: מפעולות איסוף ושינוע, מצריכת אנרגיה בתהליכי מיון וטיפול בתוך אתר חירייה ומהפעילות באתרי הקצה השונים. אתרי הקצה העיקריים כוללים מטמנות בדרום הארץ, מפעלי מחזור, אתרי קומפוסט ואת מפעל "נשר רמלה" לייצור מלט. שני גזי החממה העיקריים נפלטים בשרשרת הטיפול הם פחמן דו-חמצני, הנוצר בעיקר על-ידי צריכת אנרגיה, ומתאן, הנפלט עקב תהליכי עיכול אנאירובי (אל-אווירני) של פסולת אורגנית, בעיקר במטמנות. לנוכח השפעתו של גז המתאן כגז חממה ביחס לפחמן הדו-חמצני, השאיפה היא למנוע מפסולת להגיע להטמנה על-ידי הסטת פסולת לאחר מיון והפרדה לאתרי קצה חלופיים. לחישוב הפליטות נוספו במהלך פיתוח המחשבון גם נתוני הפליטות שנמנעות הודות לחיסכון בכרייה ובייצור חומרי גלם חדשים בשל מחזור פסולת או שימוש בפסולת כמקור אנרגיה.



## שיטות

לצורך פיתוח מחשבון הפחמן נקבע כי גבולות המודל יכלו את כל הפעולות המתבצעות החל מקליטת הפסולת באתר חירייה ועד לטיפול הסופי באתר הקצה שהפסולת מגיעה אליו. גבולות אלה מכילים למעשה את כלל הפעולות הנתונות להשפעת אתר חירייה. הפעולות במקטע העירוני, הכוללות בעיקר את האיסוף והפינוי של הפסולת, לא רק שאינן מושפעות מפעילות אתר חירייה ונתונות להחלטת הרשויות, אלא מאופיינות בשונות גדולה בשיטות הפינוי, בסוגי כלי הרכב, במספר הפינויים השבועי, בסוג הבנייה ובאופי התשתיות בשכונות השונות וכיו"ב. לאור כל זאת, הן לא נכללו במחשבון הפליטות בשלב זה.

לאחר הגדרת הגבולות בוצע איסוף בסיס נתונים מתאים – מיפוי התהליכים באתר ומחוצה לו, איסוף נתוני התפעול באתר (פסולת, אנרגיה) ומיפוי מקדמי פליטות מהספרות. לאחר ביסוס תשתית הנתונים פותחו במחשבון יכולות היישום הבאות:

- חישוב פליטות משוקללות ל-1 טונה פסולת מעורבת הנקלטת באתר חירייה – עבור כל אחד ממתקני הטיפול באתר חירייה משלב הקליטה ועד טיפול הקצה. החישוב בוצע על סמך נתוני התפעול של 2020. במסגרת זו בוצע מיפוי לכל סוגי טיפול הקצה בתוצרים עם שקלול של מרחק הנסיעה. כך, ניתן לחשב פליטות לפי ארבע קטגוריות: (א) פליטות במהלך הטיפול בתוך אתר חירייה; (ב) פליטות שמקורן בתהליכי שינוע הפסולת לאתרי קצה; (ג) פליטות שמקורן בטיפול הסופי בפסולת; (ד) פליטות נמנעות הודות לצמצום כרייה וייצור חומר גלם חדש. כל המקדמים, דרכי החישוב, ערכי ייחוס והערכים שהתקבלו מצורפים בנספח למאמר זה.
- הערכת ההשפעה האקלימית במונחים של צמצום או עלייה בכמות הפליטות של מהלכים שנקטו לצורך שיפור הטיפול בפסולת הנקלטת באתר חירייה ביחס לתרחיש הייחוס – המחשבון מאפשר לבחון את ההשפעה האקלימית של כל מאזן מסה שייבחר, ובכל חתך זמנים. תרחיש הייחוס שנבחר הוא מצב "עסקים כרגיל" תאורטי שבו כל כמות הפסולת הנקלטת באתר באותו חתך זמן שהוגדר מנותבת ישירות להטמנה ללא מיון. תרחיש זה נבחר משום שהתקיים זמן קצר לאחר סגירת המזבלה ההיסטורית, ועוד לפני הטמעת תהליכי מיון והפרדה במתקנים השונים, ועדיין מתקיים במרבית תחנות המעבר בישראל. בתרחיש זה נפלטת כמות מְקִבֵּית של גזי חממה, ולכן ניתן להניח כי בהתאם למגמה של הפחתת פליטות כל תרחיש אחר בהווה או בעתיד יהיה בעל ערכי פליטות נמוכים יותר. העובדות מאפשרות לבנות "סרגל פליטות" לפסולת, ו"נקודת האפס" בו הוגדרה כמציאות שאפיינה את הטיפול בפסולת בשנים 1999–2002.
- שימוש במחשבון כיישומון לקבלת החלטות המאפשרת לבחור חלופת טיפול סביבתית עבור טיפול בפסולת. השתמשנו במחשבון לבחירת חלופה מועדפת במספר סוגי ניתוחים, בהם: ניתוח חלופות טיפול (באתר ומחוצה לו) עבור סוג פסולת מסוים (למשל: אנליזות לפסולת פלסטיק, קרטון, מתכות, ופסולת אורגנית), ניתוח חלופות לתמהילי פסולת מגוונים, וכן יישום לבחירת חלופות עתידיות לטיפול בפסולת ברמת המתקנים.

נדגים במאמר זה רק השוואה אחת בין שתי חלופות תאורטיות שעשויות להתקיים לאחר הפעלת תחנת המעבר הממיינת שתיחנך בשנת 2025. האיגוד בחן את החלופות, והן תואמות גם את האסטרטגיה של המשרד להגנת הסביבה למשק פסולת בר-קיימא שגובשה והוצגה בשנת 2021<sup>[2]</sup>. הפעלת התחנה הממיינת צפויה להביא את אתר חירייה ליכולת מיון מכני של 100% מהפסולת הנקלטת בו. לניתוח המודגם נבחרו שתי חלופות לטיפול סופי בחומר האורגני (קומפוסטציה ועיכול אנאירובי) ושתי חלופות לטיפול בשאריות המיון (השבה לאנרגיה והטמנה). למחשבון הוזנה כמות פסולת משוערת עתידית כוללת של 500,000 טונות פסולת מעורבת בהרכב התואם את סקר הפסולת הארצי, ונבדקו ההשפעות האקלימיות של שני תמהילים (עיכול אנאירובי והשבה לאנרגיה לעומת קומפוסטציה והטמנה).

## תוצאות

### חישוב ערכי פליטות עבור פעולות לטיפול בפסולת

מיפוי מקורות הפליטה, בחלוקה לפי מתקני הטיפול באתר חירייה, מוצג בטבלה 1.

**טבלה 1. פליטות משוקללות לטיפול ב-1 טונה פסולת מעורבת בשלושה מתקני חירייה (שווה ערך פחמן דו-חמצני)**

פליטות משוקללות ל-1 טונה פסולת נקלטת (eqtCO <sub>2</sub> )	פליטות באחרי קצה	פליטות בההליכי שינוע	פליטות אחר חירייה	
0.52	פליטות באתר קומפוסציה פתוחה*	שינוע זרם אורגני ממזון לאתר "משואה"	צריכת אנרגיה (חשמל ודלק) בתהליכי מיון ותפעול	מפעל ה-RDF
	פליטות כתוצאה משרפת תחליף דלק	שינוע מוצרי פלסטיק וחומרים בעלי ערך קלורי גבוה לשימוש כדלק חלופי למפעל "נשר"		
	פליטות מתהליך מחזור מתכות	שינוע מתכות ממויות למפעל מחזור		
	פליטות הנוצרות בהטמנה***	שינוע שאריות מיון להטמנה במרחק 150 ק"מ**		
1.08	פליטות הנוצרות בהטמנה	פליטות משינוע הפסולת למטמנות "אפעה" למרחק 150 ק"מ	פליטות עקב צריכת דלקים וחשמל לאמצעי דחיסה ולהעמסת הפסולת	חנת מעבר (הטמנה ישירה)
			פליטות הנוצרות בהטמנה	
0.56	פליטות מתהליכי קומפוסציה ומתהליכי התפיקות גזם המשמש לחיפוי קרקע	שינוע גזם גרוס ליעדי קצה	צריכת דלקים וחשמל לגריסת גזם	מתקן גזם ופסולת גושיה
	פליטות מתהליכי מחזור	שינוע מוצרים למחזור ליעדי קצה	צריכת דלקים להעמסת פסולת	
	פליטות מתהליכי הטמנה	שינוע שאריות מיון למטמנות		

\* קומפוסציה פתוחה בכפוף לכל החקונה ולרישיון עסק  
 \*\* חישוב הפליטות בשינוע מצורף בנספח ערכי הפליטה  
 \*\*\* ערכי הפליטות בההליך ההטמנה למשך 50 שנים ראשונות, לאחר החאמת ערכים ביו-לאומיים לחנאים במטמנות אפעה, כמפורט בנספח ערכי פליטה

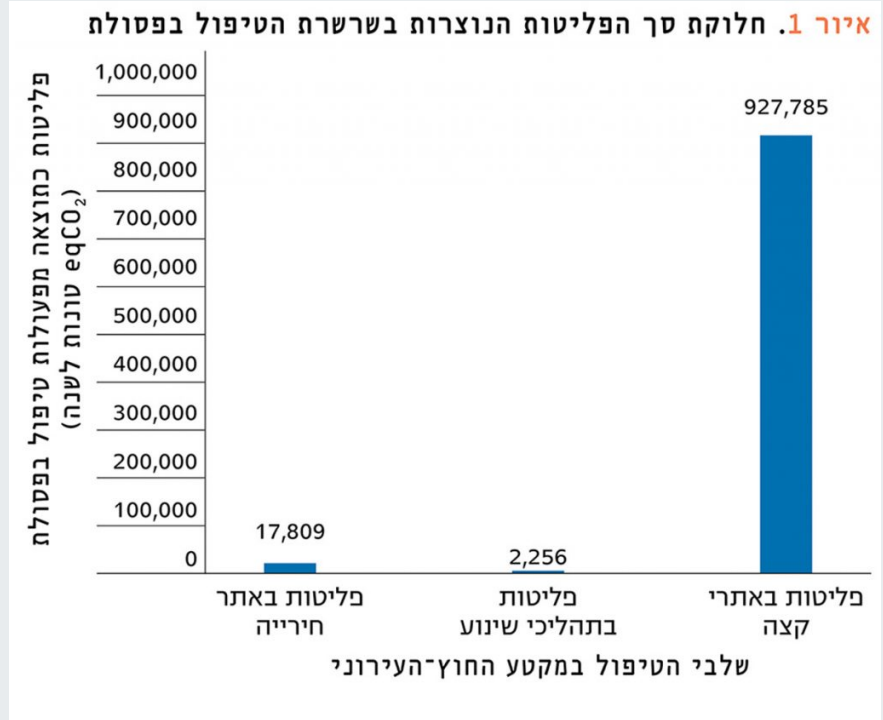
**טבלה 1. פליטות משוקללות לטיפול ב-1 טונה פסולת מעורבת בשלושה מתקני חירייה (שווה ערך פחמן דו-חמצני)**

התוצאות שהתקבלו ומוצגות באיור 1 מצביעות על כך שפסולת שאינה ממוינת ונשלחת ישירות מתחנת המעבר להטמנה, פולטת לאורך כל שרשרת הטיפול 1.08 טונות גזי חממה, בעוד שסוגי הפסולת שעוברת מיון ומנותבת לפתרונות קצה אחרים פולטים כמחצית מכמות זו.

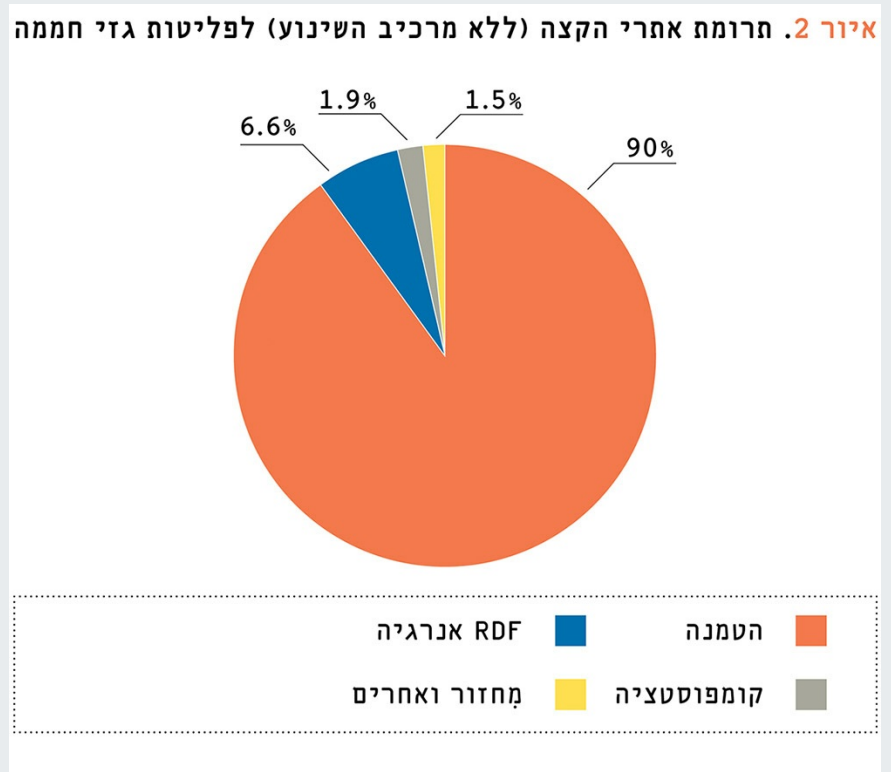
ניתוח נוסף שבוצע הוא השוואה בין הפליטות בשלבי הטיפול השונים. בשנת 2020 נקלטו בשלושת המתקנים יחד 1,189,150 טונות פסולת, והטיפול בהם יצר 947,849 טונות פחמן דו-חמצני. קרוב ל-98% מסך הפליטות הללו נוצרו באחרי הקצה של הפסולת, ורק כ-2% מסך הפליטות נובעות מהפעילות במתקני הטיפול בחירייה ומשינוע הפסולת.

בניתוח הפליטות באיור 2 של אחרי הקצה בלבד, כלומר סכימת הערכים של עמודת מתקני הקצה המוצגים באיור 1 לעומת שאר העמודות, התקבלה אינדיקציה ברורה לכך שבניכוי גורמי התפעול והשינוע, כמות גזי החממה שנפלטת מהפסולת שנשלחה להטמנה ב-2020 היא 90% מסך הפליטות באחרי הקצה, בעוד פתרונות הקצה האחרים, כמו שימוש בפסולת כדלק חלופי, קומפוסציה ואחרים, הם כ-10%.

באיור 3 נראה שבעוד שהפסולת המוטמנת אחראית ל-90% מסך הפליטות באחרי הקצה, היא מהווה רק 68% אחוז (משקלית) מהפסולת שיצאה מאתר חירייה, כלומר, כל טונה פסולת מוטמנת מביאה לכמות גזי חממה הגבוהה בממוצע פי ארבעה מטונה פסולת המנותבת לפתרונות האחרים.

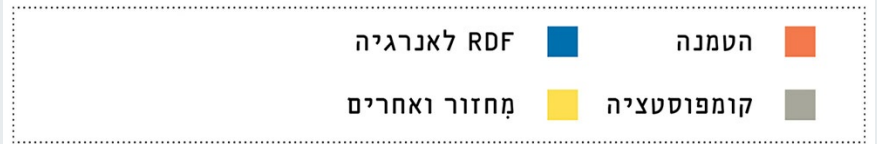
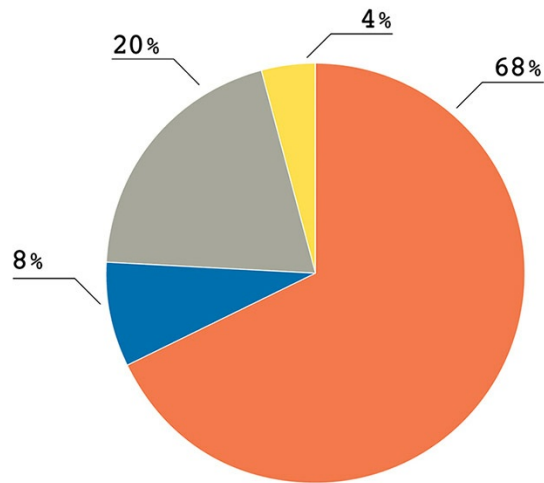


**איור 1.** חלוקת סך הפליטות הנוצרות בשרשרת הטיפול בפסולת



**איור 2.** תרומת אתרי הקצה (ללא מרכיב השינוע) לפליטות גזי חממה

**איור 3. התפלגות כמויות הפסולת היוצאת מאתר חירייה לפי אתרי קצה**



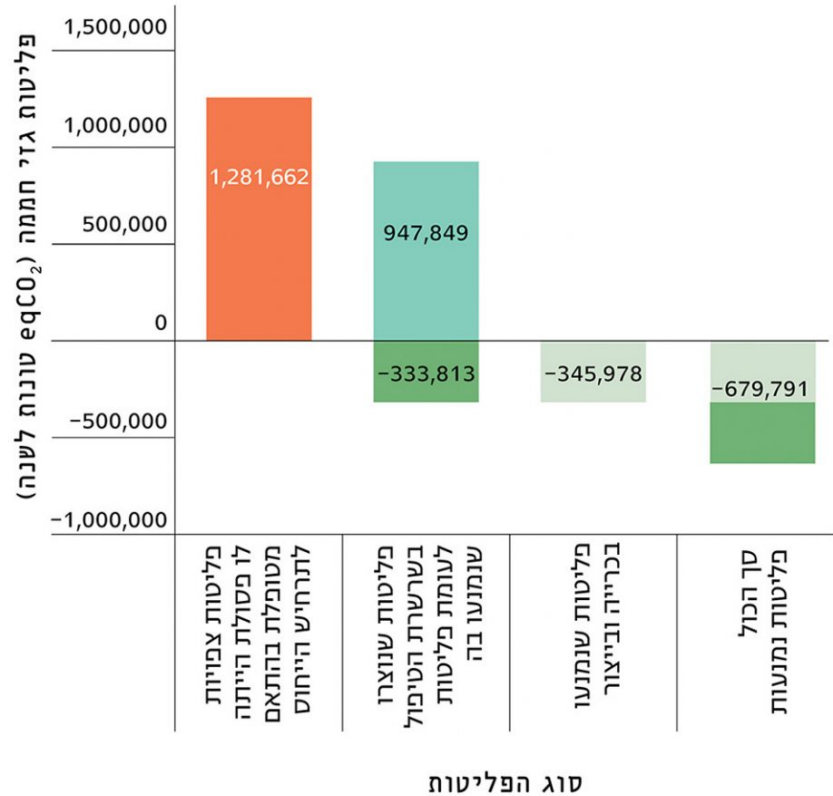
**איור 3. התפלגות כמויות הפסולת היוצאת מאתר חירייה לפי אתרי קצה**

## ניתוח מניעת הפליטות בסיכום הפעילות לשנת 2020

על פי נתוני קליטת הפסולת בשנת 2020 והפעולות שננקטו בשנה זו כדי לטפל בפסולת, נראה כי אילו 100% הפסולת שנקלטה באתר הייתה מועברת ישירות להטמנה כמו בתרחיש הבסיס שהוגדר ללא מיון, היו נפלטות 1.282 מיליון טונות של גזי חממה (eqCO<sub>2</sub>, איור 4). אופן הטיפול בפסולת ב-2020 מנע הטמנה של 32% מכמות הפסולת שהועברה לייצור דלק חלופי, קומפוסטציה ומחזור, והביא להיווצרות של רק כ-948,000 טונות של גזי חממה. כלומר, בשרשרת הטיפול בפסולת עצמה נמנעו פליטות של כ-334,000 טונות גזי חממה, כמות זו זהה ל-0.4% מכלל הפליטות במדינת ישראל, ושקולה ל-6% מהפליטות של מגזר הטיפול בפסולת.

כאשר מוסיפים לנתוני הפליטות הקשורים ישירות לטיפול בפסולת גם את הפליטות שנמנעות בזכות החיסכון בכרייה ובייצור של חומרי גלם, העומדות על כ-345,000 טונות, מתקבלת הפחתה כוללת של כ-680,000 טונות שווה ערך לפחמן דו-חמצני.

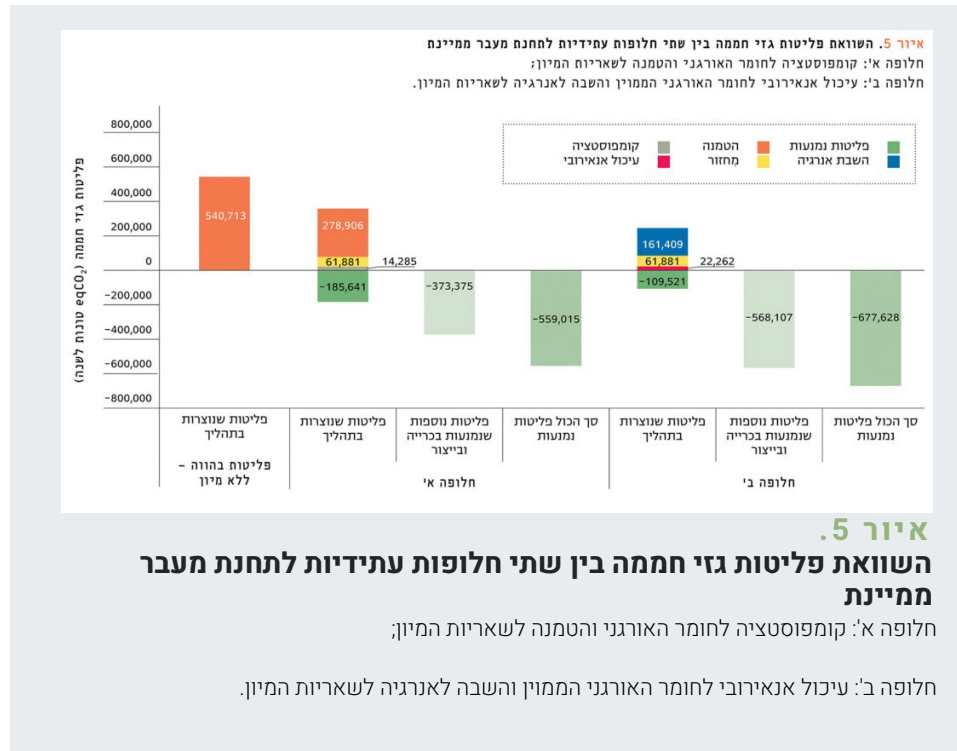
**איור 4. סך הפליטות שנוצרו ושנמנעו בשנת 2020 בשל פעולות הטיפול בפסולת באתר חירייה ביחס לתרחיש הבסיס**



**איור 4. סך הפליטות שנוצרו ושנמנעו בשנת 2020 בשל פעולות הטיפול בפסולת באתר חירייה ביחס לתרחיש הבסיס**

## ניתוח החלופות העתידיות לטיפול בפסולת מעורבת

מחשבון הפחמן סייע לנתח חלופות עתידיות אפשריות עבור פסולת מעורבת שתגיע למערך המיון בתחנת המעבר (כל מה שלא נקלט במפעל ה-RDF). בניתוח המוצג באיור 5, נבחנו השוואות בין מספר פתרונות עתידיים ומספר אפשרויות לשילובי טכנולוגיות במטרה להעריך לאילו סוגי מתקנים כדאי להפנות משאבים לטיפול בשני מרכיבי פסולת העיקריים שמתקבלים אחרי מיון (80–90% משקלית) ומייצרים את הפליטות המשמעותיות ביותר: חומר אורגני ממיון ושאריות מיון. החישוב בוצע תוך הנחה, שהטיפול בשאר המרכיבים (כמו מוצרי פלסטיק ומתכות) זהה, כלומר, שהם ממוינים ונשלחים למחזור. נמצא שבתרחיש עיכול אנאירובי לחומר האורגני הממיון והשבה לאנרגיה לשאריות המיון (חלופה ב') נחסכות 677,628 טונות גזי חממה ביחס לתרחיש הבסיס, לעומת 559,015 טונות הנחסכות בתרחיש קומפוסטציה לחומר האורגני והטמנה לשאריות מיון (חלופה א'). שילובים נוספים, כמו קומפוסטציה והשבה לאנרגיה, בוצעו גם הם, אולם מפאת המגבלות אינם מוצגים. ניתוח זה הוא דוגמה אחת בלבד להשוואות של מגוון תמהילים של פתרונות עבור פסולת מעורבת שתיקלט במתקן חדש, שנבנה בימים אלה ויקלוט כ-500,000 טונות פסולת מעורבת מדי שנה.



## דיון ומסקנות

מחשבוני הפחמן נמצא ככלי שימושי, גמיש ופשוט המאפשר למדוד פליטות, וליצור "סרגל" צמצום פליטות המאפשר למקבלי החלטות ברשויות המקומיות ובאיגודי ערים לבחון אסטרטגיות שונות לטיפול בפסולת.

תוצאות של ניתוחים ראשוניים מראים כי רוב פליטות גזי החממה (בעיקר מתאן) נוצרות עקב תהליכי הטמנה, בעוד שחלק קטן של הפליטות נוצרות בפעולות המתבצעות בתוך אתר חירייה ובמהלך שינוע הפסולת.

התוצאות מראות כי 68% מהאשפה (הטמנה) תרמו 90% מהפליטות, ו-32% הנותרים תרמו 10% מהפליטות, ועל כן, רוב המאמצים של איגוד ערים דן צריכים להמשיך להיות מכוונים לצמצום הטמנה. מהתוצאות עולה כי התייחסות מסורתית לצמצום משקלי של כמות פסולת מוטמנת או אחוזי מחזור והשבה מספקת תמונה חלקית בלבד, משום שפסולת מוטמנת פולטת פי ארבעה גזי חממה מחלופות אחרות. אומנם, פעולות לצמצום פליטות משינוע על-ידי הקטנת טווחי הנסיעה, ופעולות נוספות שהאיגוד נקט, כמו התקנת תאים פוטו-וולטאיים על גגות המתקנים באתר והקמת תחנת דלק לתדלוק בגז טבעי, הן פעולות חשובות. ולמרות זאת, הן גורם משני בהשפעתן על פליטות גזי חממה בהשוואה למיון פסולת ולהעברת התוצרים לפתרונות כמו קומפוסציה, מחזור או ייצור דלק חלופי מפסולת.

ניתוח התרחישים העתידיים המסתמך על מתקנים שאינם זמינים עדיין, מבליט את העובדה שמיון פסולת ללא פתרונות קצה לפסולת ממוינת (בעדיפות לפתרונות מקומיים), לא יפחית את פליטות גזי החממה.

לסיכום, מחשבוני הפחמן מאפשר לראשונה לבצע הערכה של השפעה סביבתית בפועל של פעולות הקשורות בטיפול בפסולת, ובכך לצרף ערכי פליטות גזי חממה לתוך מערך השיקולים (נוסף על שיקולים כלכליים וחברתיים) של גופים וארגונים העוסקים בפסולת.



פסולת עירונית מעורבת המיועדת להטמנה ישירה ללא מיון, נדחסת לפני העמסתה | צילום: ריבה ולדמן

## תודות

תודות והערכה מקרב לב לצוות חברת אקוטרירדרס על היצירתיות והמקצועיות שנדרשה לפיתוח המתודולוגיה במאמר זה, ובמיוחד תודה אישית לפאני ג'ובארט ולרון קמרה על העבודה המשותפת שתימשך גם בשנים הבאות בעדכון ובשיפור המדידות.

## הלכה למעשה

### ליאור גפן, מנהל מערך איכות הסביבה במועצה אזורית דרום השרון:

כיום אין לרשויות המקומיות תמריץ כלכלי אמיתי מהמדינה להפחית פליטות גזי חממה בתחום הטיפול באשפה. האמצעי המרכזי שהמשרד להגנת הסביבה משתמש בו כדי לעודד תחליפים להטמנת פסולת הוא היטל הטמנה, הנגבה מהרשויות המקומיות. היטל הטמנה הוא מנוע השינוי שבאמצעותו ניתן להפחית את פליטות גזי החממה בתחום הטיפול באשפה.

הכלי שהחוקרים מציעים הוא כלי משלים מצוין, שיכול ליצור דירוג של הרשויות המקומיות ואיגודי הערים על פי שיעור הפחתת פליטות בשלבי הטיפול בפסולת בקרבם, וכך לעודד תחרות לשיפור הביצועים. לחלופין, הכלי יכול לסייע ביצירת שיקוף של התרומה הכלכלית הלאומית של הפחתת הפליטות ולתמוך בדרישה מהמדינה לשיפוי או לפיצוי על טיפול שלהם באשפה. לצערי, זה לא המצב כיום. הכלי אינו רלוונטי, אם לא יוצמד לו תמריץ כלכלי, שיגרום לרשויות המקומיות שאינן חברות באיגוד ערים דן לעשות את השינוי המיוחל – לצמצם את כמות האשפה המוטמנת.

## מקורות

1. המשרד להגנת הסביבה. 2021. מרשם פליטות לסביבה – דו"ח שנתי 2020.
2. המשרד להגנת הסביבה. 2021. אסטרטגיה למשק פסולת בר-קיימא 2021–2030.
3. עיריית תל-אביב-יפו. 2020. [תכנית פעולה – היערכות לשינויי אקלים תל-אביב-יפו](#).
4. רונן א. 2017. עדכון התכנית האסטרטגית לעיר תל-אביב-יפו, תחום סביבה וקיימות.

- Bayar Y, Gavriletea MD, Sauer S, and Paun D. 2021. [Impact of municipal waste recycling and renewable energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions across the European Union \(EU\) member countries](#). *Sustainability* **13**(2): 656 .5
- Bogner J, Pipatti R, Hashimoto S, et al. 2008. Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: Conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). *Waste Management and Research* **26**(1): 11–32 .6
- Couth R and Trois C. 2010. Carbon emissions reduction strategies in Africa from improved waste management: A review. *Waste Management* **30**(11): 2336–2346 .7
- International Solid Waste Association (ISWA). 2019. [Climate benefits due to dumpsite closure: Three case studies](#) .8
- Marmo L. 2008. [EU strategies and policies on soil and waste management to offset greenhouse gas emissions](#). *Waste Management* **28**(4): 685–689 .9
- Towprayoon S, Ishigaki T, Chiemchaiaisri C, et al. 2019. [Chapter 3: Solid waste disposal](#). In: IPCC. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories .10
- [Advancing sustainable materials management: 2018 Fact sheet assessing trends in materials generation and management in the United States](#) .2020 .11
- USEPA Center for Corporate Climate Leadership. 2022. [Emission factors for greenhouse gas inventories](#) .12

## קריאה נוספת

### מאמר המתמקד בגישה חדשה להערכת ההשפעה של טיפול בפסולת ומתמקד בהיבט של החתימה האקלימית.

בן-ששון מ, רווח א, זלטיקין א ודומב א. 2022. [הררי פלסטיק וגזי חממה – אתגר הטיפול בפסולת ללא הטמנה וללא פליטה](#). *אקולוגיה וסביבה* **13**(1): 40–48.

### עבודה מפורטת המנתחת חלופות טיפול בפסולת בניתוח מחזור חיים, כולל ניתוח פליטות גזי חממה.

אילון א, קן ע ושגב ט. 2010. ניתוח מחזור חיים של הטיפול בפסולת העירונית המוצקה: מקרה בוחן – רשויות מייצגות בישראל. מחקר 7-401 המדען הראשי, המשרד להגנת הסביבה.

### תרגום מחקר של ארגון הפסולת העולמי על אודות ההשפעה האקלימית של סגירת מזבלת חירייה והקמת פארק מחזור.

בסיגר ר. 2019. [תועלות אקלימיות מסגירת מטמנות – מקרה בוחן אתר חירייה](#). דסקל ש (תרגום). רוטרדאם (הולנד): ISWA.

נספח 1. מקורות  
פליטה רלוונטיים

[להורדה](#)