

חישוב פליטות מתאן משרשרת האספקה של הגז הטבעי

פרופ' אילון אופירה
ד"ר מרים לב און
ד"ר פרי לב און
נעמה שפירא
ד"ר אורנה רביב

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית





מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

מיזם משותף משרד האנרגיה – מוסד שמואל נאמן

חישוב פליטות מתאן משרשרת האספקה של הגז הטבעי

עורכי המסמך

פרופ' אופירה אילון, ד"ר מרים לב און, ד"ר פרי לב און, נעמה שפירא, ד"ר אורנה רביב

ספטמבר 2023

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 המחברים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

תקציר מנהלים

גז המתאן, המרכיב העיקרי של הגז הטבעי, הינו גז החממה השני בהיקף השפעתו על פליטות גזי החממה העולמיות ממקורות אנתרופוגניים, אחרי הפחמן הדו חמצני, ובו מתמקדים כיום (יחד עם עוד גזי חממה קצרי-חיים) המאמצים לצמצום ההתחממות הגלובלית של האטמוספירה. המתאן, כתורם לאפקט החממה, מאופיין במקדם פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP) של מעל לפי 25 בהשוואה לפחמן דו חמצני לטווח של 100 שנים.

על מנת שישראל תוכל להעריך נכונה את התועלות של השימוש בגז הטבעי, להפחית את מצאי הפליטות השנתי של גזי חממה, ולעמוד בהתחייבויותיה הבין-לאומיות להפחתת פליטות גזי חממה, יש חשיבות רבה להערכה מקצועית של היקף הפליטות משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל.

מטרת עבודה זו הינה חישוב פליטות המתאן מתעשיית הגז הטבעי בישראל מקצה לקצה, כולל הפקה, עיבוד, הולכה, חלוקה ומשתמשי קצה, ובתוך כך, הערכת מידע ונתונים קיימים ביחס למתודולוגיה המיטבית, והגדרה של נתונים נוספים הנחוצים ואופן האיסוף שלהם.

מקובל לייחס פליטות ממערכות גז לשלוש קטגוריות:

- פליטות לא מוקדיות – כולל דליפות מרכיבי ציוד, אידוי, שרפת גז בלפידים או נישוב כתוצאה מתהליך מבוקר;
- פליטות כתוצאה משרפת דלקים – פליטות מתאן הנגרמות עקב בעירה לא מושלמת בעת שרפת דלקים (גז טבעי, אך גם סולר, או דלקים אחרים) לשם הפקת אנרגיה במתקנים נייחים הנחוצים להפעלת האתרים;
- פליטות כתוצאה מתקלות.

ההנחיות לכימות פליטות גזי חממה עבור מצאיי פליטות לאומיים (national greenhouse gas inventories) אומצו על ידי הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי האקלים (IPCC) של האו"ם ב-2006, והן עודכנו בשנת 2019. עבודה זו מסתמכת על המקדמים הזמינים המעודכנים ביותר לכל מקטע או פעילות, כולל שינויים במקדמי הפליטה בהתאם להיקף יישום של טכנולוגיות ונוהלי עבודה דלי פליטות עבור הפקת גז טבעי ונפט ביבשה, וכן עבור אימוץ תוכניות LDAR לאפיין פליטות ותיקונם במקטעי העיבוד וההולכה. חשוב לציין שעבור הפקה בים פורסם מקדם יחיד אשר אינו מפריד בין הפליטות הנובעות כתוצאה מטכנולוגיות מתקדמות ונוהלי עבודה התורמים להפחתת פליטות.

השיטות לכימות הפליטות המוצגות בהנחיות האו"ם מבוססות על נדבכים שונים (tiers) המייצגים מורכבות מתודולוגית שונה – נדבך 1 מבוסס על שימוש במקדמי ברירת מחדל לחישוב הפליטות עבור כל מקטע ותת-מקטע בהסתמך על ממוצעים עולמיים; נדבך 2 מבוסס על מקדמים המותאמים למדינה שבה מבצעים את החישוב; ונדבך 3 מבוסס על שימוש במקדמים מפורטים עבור כל סוג של מקור פליטה ברמת המתקן או כלל המערכות באתר הספציפי, בתנאי שקיימים נתונים נאותים וזמינים לכימות הפליטות.

הנחיות האו"ם מעודדות את המדינות לעשות שימוש במקדמי פליטה ספציפיים (נדבך 3), באם נתונים אלו זמינים בקלות. בהיעדר נתונים מקומיים זמינים, יש לבדוק באם ניתן ליישם מקדמי פליטה של מדינות עם טכנולוגיה דומה (נדבך 2) היות ומאפייני המפעלים והמתקנים עשויים להיות שונים באופן מהותי, הן בין מדינה למדינה והן במתקנים שונים בתוך המדינה עצמה. השימוש במקדמי הפליטה הגנריים (נדבך 1) מומלץ רק באם אין נתונים זמינים לצורך חישוב הפליטות בהתאם לנדבכים 3 או 2, והפליטות מהמגזר אינן בעלות היקף משמעותי במצאי הפליטות הלאומי.

גיבוש מקדמי פליטה ספציפיים למערכות ההפקה, ההולכה והחלוקה של הגז הטבעי בישראל, דורש הקפדה על שימוש בשיטות מדידה מאומתות ובקרת איכות של הנתונים. התהליך צריך להתבצע על ידי גוף בלתי תלוי ובפיקוח הרגולטור, לכלול עבודת שטח מעמיקה ומקצועית ולא להסתמך בלעדית על דיווחי הארגונים האחראים לפליטות.

סיכום הממצאים

הטבלה להלן מציגה את **דיווחי הפליטות בישראל** הכוללות את הדיווחים למפל"ס, וממצאי דו"ח WOOD. הנתונים המקומיים לגבי מקטע ההולכה והשימוש הינם חלקיים, ואילו לגבי מקטע החלוקה אין כלל נתונים פומביים לגבי פליטות. בהיעדר חלק מהנתונים, החישוב נעשה בהתאם לשיטות הכימות שמפורטות להלן.

בנוסף, מוצג בטבלה סיכום חישובי הפליטות מכלל שרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל, בנדבכים השונים, **לשנת 2021**, שבוצעו על ידי צוות המחקר.

הפליטות בנדבך 1 מתארות חישוב בהתאם למקדמים הממוצעים של ה-IPCC לפליטות לא מוקדיות. במקטע ההפקה והעיבוד מתוארות הפליטות בהתאם למקדם ההפקה בים, וכן למקדם מופחת שמשקלל התייחסות לטכנולוגיות דלות פליטה. במקטעי ההולכה והחלוקה מתוארות הפליטות הן בהתאם לכמות הגז המסופק דרך הצנרות והן בהתאם לאורך הצנרות. במקטע השימוש מתוארות הפליטות בהתאם לכמות הגז שסופקה.

הפליטות בנדבך 2 מתארות חישוב בהתאם למקדמים אזוריים ומדינתיים לפליטות לא מוקדיות. לגבי פליטות מתקלות אין אחידות בגישות הננקטות. בארה"ב, למשל, סך הפליטות הלא מוקדיות כוללות נתוני תקלות, ואילו מדינות אחרות אינן אוספות נתוני פליטה כתוצאה מתקלות. בכל המקרים, החישוב אינו כולל פליטות בגין שרפת דלקים המחושבים בנפרד מנתוני המקור של המדינה עבור צריכת דלקים. במקטע ההפקה והעיבוד מוצגות הפליטות בהתאם למקדם אמריקאי. במקטע ההולכה מוצגות הפליטות בהתאם למקדם אמריקאי (ערך נמוך) ולמקדם אירופאי (ערך גבוה). במקטע החלוקה מוצגות הפליטות בהתאם למקדם אמריקאי. בסך כל הפליטות מוצג סך הפליטות בהתאם למקטעים השונים שהוצגו, וכן טווח פליטות מחושבות בישראל ב-2021, בהתאם למקדמי פליטה של ארבע מדינות בדיווחיהן לאו"ם (הולנד, אירלנד, בריטניה ונורבגיה).

הפליטות בנדבך 3 מתארות חישוב בהתאם למקדמים המפורסמים או מומלצים על ידי המשרד להגנת הסביבה, ובהסתמך על נתונים או דיווחים של החברות המפעילות. **במקטע ההפקה והעיבוד** מוצגות פליטות לא מוקדיות, פליטות מתקלות ופליטות כתוצאה משרפת דלקים, באסדות הימיות ובמתקן הקליטה באשדוד. **במקטע ההולכה** מוצגות פליטות (לא מוקדיות ומתקלות) חלקיות הקשורות לתחזוקה ולהוספת ציוד, אך לא פליטות התלויות בהפעלת ציוד לאורך הצנרת (מחברים, אוגנים, בודים, וסתיים פניאומטיים וכדומה), או פליטות ממסוף ה-LNG (אשר פעל בשנים 2013-2022), כן נכללות בחישוב פליטות כתוצאה משרפת דלקים. **במקטע השימוש** מוצגות פליטות כתוצאה משרפת גז טבעי בלבד בהתאם להיקף הגז שסופק למשתמשי הקצה.

הטבלה להלן מרכזת את ממצאי החישובים ואומדן הפליטות בנדבכים השונים.

פליטות מתאן בישראל ב-2021 – דיווחים מקומיים וחישובים על פי נדבכים שונים (טון מתאן)

סך הכול	שימוש	חלוקה	מסוף ימי	הולכה	הפקה ועיבוד (לוויתן, תמר, AOT)	
727	350 ³	-	-	56 (חלקי)	321 ^{2 1 3}	פליטות מדווחות
54,504- 99,509	4,800 ¹	בהתאם לכמות הגז ¹ 184 בהתאם לאורך צנרת ¹ 132	1,660 ¹	בהתאם לכמות הגז ¹ 25,115 בהתאם לאורך צנרת ¹ 1,726	מקדם כללי ¹ 67,750 מקדם דל פליטות ¹ 46,186	חישוב נדבך 1 ערכים ממוצעים
182,039- 182,187		10 ^{2 1}		323-471 ¹	181,706 ¹	חישוב נדבך 2 מקדמים אזוריים
927-3,641 ⁴		25-821 ¹		891-1,236 ¹	11-1,584 ¹	חישוב נדבך 2 מקדמים מדינתיים
726	421 ³			59 (חלקי)	246 ^{3 2 1}	חישוב נדבך 3
7,187	4,800	10	1,660	471	246	אומדן פליטות על פי עבודה זו (בהתאם לנדבך)

מקרא:

¹ כולל פליטות לא מוקדיות.

² כולל פליטות מתקלות.

³ כולל פליטות משרפת דלקים.

⁴ הפער בין הפירוט במקטעים השונים לסך הכול, נובע מכך שבמקרים מסוימים לא היה דיווח תחת כל המקטעים (למשל, הפליטות במקטע ההפקה הופיעו תחת קטגוריה אחרת) – במקרה זה הטווח התחתון שמוצג במקטע הוא לפי המקרה שבו דווח היקף הנמוך ביותר (ולא אפס). בנוסף, במקרה אחר הפליטות מדווחות תחת קטגוריית 'אחר' – מקרה זה לא שויך לפליטות תחת המקטעים השונים, אך סך הפליטות המדווחות מוצגות בעמודת 'סך הכול'.

מקדמים שבהם נעשה שימוש בחישובי הצוות מסומנים בהתאם למידת ההתאמה שלהם למשק הישראלי – תאים בעלי רקע ירוק כוללים מקדמים ברמת התאמה גבוהה, רקע צהוב מסמן רמת התאמה בינונית, ורקע אדום מסמן רמת התאמה נמוכה.

הניסיון להשתמש בנתונים מקומיים לגבי פליטות במקטעי החלוקה והשימוש של הגז הטבעי נתקל בקושי בשל היעדר מידע מלא לגבי מאפייני המערכת במקטעים אלו, כמפורט בפרק 7 להלן. חשוב לציין שעבור כל אחד ממקטעי שרשרת האספקה חישוב הפליטות נעשה בהתאם להנחות שמפורטות בכל אחד מהפרקים.

ניתן לראות שישנם פערים בין דיווחי הפליטות בישראל לבין חישובים שבוצעו בהתאם למקדמים ממקורות שונים. נקודה זאת מדגישה ששימוש במקדמים של פליטות המקובלים בארגונים בין-לאומיים ובמדינות אחרות לא יכולים לתת מענה חד משמעי להערכת היקף הפליטות בישראל, שכן מאפייני תעשיית הגז

הטבעי שונים באופן מהותי בין מדינה למדינה – הן בשל גיל המתקנים, השיטות והחומרים המשמשים בבנייתם, והן בשל הטכנולוגיות ואמצעי הבקרה המיושמים בהם.

כדי לאמת את הפער בין סדרי הגודל השונים של הפליטות אשר חושבו במחקר זה, נדרשת בדיקה שקופה, מקיפה ועצמאית של המרכיבים השונים של הציוד והיקף הפעילות עבור כל המקטעים בשרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל והיקף הפליטות הנגזר מהם. **כאשר הפער בין הנתונים המקומיים לחישובים על פי נדבכים 1 או 2 הוא גדול, למשל, במקטעי ההפקה והעיבוד וההולכה, יש לשאוף לבסס ולטייב את החישוב בהתאם לנדבך 3 על ידי איסוף נתונים מפורטים ואימותם באמצעות גורם מקצועי בלתי תלוי. כאשר חסרים נתונים מקומיים ומדובר על מקטע בעל השפעה זניחה על מצאי הפליטות הלאומי, למשל, במקטע החלוקה, ניתן לעשות שימוש בשיטות על פי נדבך 1.**

מחקרים (המובאים בנספח לדו"ח זה) מצביעים על כך שההערכות ההנדסיות שעליהן מבוססים מצאי פליטות עשויות להעריך בחסר ולהביא לכימות נמוך מדי של הפליטות לאטמוספירה. הגורמים להערכות החסר, כפי שעלו מהמחקרים, כוללים שימוש במקדמי פליטה שאינם מתאימים לפעילות, הערכה שאינה כוללת את כל המתקנים או מקורות הדליפה הרלוונטיים, או הערכה שאינה כוללת אירועים לא שגרתיים של פליטות גבוהות.

מטרת ההמלצות במסמך זה הינה לשפר באופן כולל את ארגז הכלים לאפיון נתוני הפליטות לאוויר, לשפר את איכות הנתונים באמצעות שימוש משולב בשיטות המבוססות על היקף הפעילות בפועל לצד שיטות המבוססות על אינטרפולציה של מדידות באטמוספירה, וכן להגביר את זמינות הנתונים ושקיפות המידע.

המלצות לשיפור ניטור ודיווח על מצאי הפליטות

שיפור ניטור ודיווח על מצאי הפליטות תלוי בנגישות הנתונים ואמינות השיטות לאפיון נתוני הפליטות בהתאם לשישה מדדי איכות: עיבוד נתונים פשוט ומהיר, שקיפות הנתונים, אפשרות להערכה ואימות של הנתונים, גישה לנתוני תפעול מלאים (המאפשרת בדיקת חישובי הפליטות), הכללת כל מקורות הפליטות ואפשרות לפרסום התוצאות.

הקריטריונים החשובים לשם הפקת ממצאים עבור הערכת פליטות מתאן בנדבך 3:

- יש לאסוף את הנתונים, מידע על השיטות והגורמים לאי-ודאות של הנתונים;
- יש לתעד את מהלך תקופת איסוף הנתונים ואת התחום המרחבי שהם מייצגים;
- יש לוודא שמקור הנתונים ושיטות האיסוף והתוצאות המופקות הינם אמינים;
- יש לפרסם בשקיפות מלאה את שילוב המקורות השונים ושיטות המדידה שבהם השתמשו להפקת התוצאות וקבלת ההמלצות;
- יש לוודא שהתוצאות שנתקבלו עברו בקרה על ידי גופים בלתי תלויים בשיתוף פעולה עם מומחים מקומיים ובעלי עניין.

המלצות

לאור הממצאים העיקריים מעבודה זו ההמלצות כוללות:

1. הגברת נגישות ושקיפות מידע

1.1. בשלב הפקה

- הגברת השקיפות והנגישות של נתוני כל אסדות ההפקה בדומה לפרסומם של נתוני אסדת לויתן.
- דיווח פליטות נפרד לגבי תחנת הפחתת הלחץ בחוף דור.

- הרחבת הדיווחים כך שיכללו את הפליטות הנובעות מנישובים, תחזוקה ותקלות בדיווחים שנתיים ובנתוני המפל"ס.

1.2. בשלב ההולכה

- בעבור חברה ממשלתית, הרואה במחויבות לסביבה ערך עליון ודוגלת במדיניות פיתוח בר קיימא, מומלץ שנתג"ז תיישם דיווח מפורט של פליטות גזי החממה מפעילות החברה ולא תסתפק בהצהרות בדומה להצהרה המופיעה בדו"ח 2018-2019: "מידע על זיהום אוויר ושחרור פליטות: מערכת ההולכה הארצית לגז טבעי הנה מערכת סגורה אשר אינה פולטת גז טבעי לאוויר. הגז הטבעי הנו ידידותי לסביבה והחברה אינה מוגדרת כמפעל מזהם".
- מומלץ כי רשות הגז, כרגולטור של נתג"ז, תדרוש מנתג"ז דיווח על פליטות גזי חממה מפעילותה השוטפת, ובתוך כך, תאכוף קיומם של נהלים מסודרים לניטור ואיתור פליטות, כולל תדירות הבדיקות ומאפייניהן, ודיווח פומבי של תוצאותיהן.
- פרסום נתוני פליטות ממערכת החלוקה, אפילו אם הן מהוות אחוז קטן מכלל פליטות גזי החממה במשק. גם במקרה זה, הטיעון שאלה מערכות חדשות העשויות מצנרת פלסטיק, אינו מפחית את הצורך לדווח.
- המשרד להגנת הסביבה פרסם נוהל חדש כטיטה להערות הציבור בעניין פליטות מתאן מרכיבי ציוד ומתקנים, כולל התייחסות למיפוי רכיבים, חישוב פליטות, זיהוי, איתור ותיקון דליפות ודיווח, והוא אמור לחול גם על מקטע ההולכה והחלוקה. נוהל זה יכול לתת מענה למרבית ההיבטים שעלו מעבודה זו, עם זאת, חשוב להדגיש מספר נושאים חשובים:
 - יש לקבוע תדירות לביצוע הסקירה לאיתור דליפות (1-4 פעמים בשנה);
 - יש לבצע מדידות לכימות פליטות אחת למספר שנים (כל 2-3 שנים או בעקבות שינוי מהותי במערך הרכיבים העלולים לדלוף);
 - את המדידות יש לבצע באמצעות צד שלישי בלתי תלוי המבוקר על ידי הרגולטור.
- מינהל בטיחות צנרת וחומרים מסוכנים של ארה"ב (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration) פרסם במאי האחרון טיוטת הנחיות לביצוע LDAR לצנרות גז. מוצע שמשרדי האנרגיה והגנת הסביבה יעקבו אחרי ההנחיות, כאשר יאושרו, ויבחנו התאמה לישראל.

1.3. בשלב השימוש

- הכללת פליטות מדליפות לא מוקדיות בחצרות המפעלים לאפיון אמין של הפליטות הקשורות לשימוש בגז טבעי.
- שינוי סף פליטות גזי החממה המחייב דיווח בכדי להגביר את שקיפות הנתונים.

2. חישובים ומדידות

- מקדמי הפליטה בהם נעשה שימוש במפל"ס ובדו"ח זה (הנחשבים כנדבך 3), מסתמכים על מקדמי הפליטה שמפרסם המשרד להגנת הסביבה שמקורם בבסיס נתונים אמריקאי AP-42 (מקדמי פליטה ישירים למקורות פליטה ספציפיים, לרבות תעשיית הגז). מומלץ לבצע תהליך יסודי לבחינת התאמת מקדמים אלו למשק הגז הישראלי.
- פרק 8 בעבודה מספק מידע ראשוני לגבי שיטות זיהוי וכימות פליטות מתאן בשרשרת האספקה של הגז טבעי, אשר יכול לשמש בסיס להחלטה איזו שיטת מדידה כדאי לאמץ.

המלצות ספציפיות ליישום בישראל

- יש לציין, כי מצאי הפליטות הלאומי של ישראל, כפי שהוא מאוגם על ידי הלמ"ס, אינו כולל פליטות מתאן ממגזר הגז הטבעי, אך חלקים ממגזר זה מדווחים למפל"ס. חשוב לוודא את ההתאמה של

מקדמי הפליטה המשמשים לחישוב מצאי פליטות עם המדידות בפועל, עבור כל מקטע משרשרת האספקה של תעשיית הגז, כאשר המטרה היא שניתן יהיה לחשב את מצאי הפליטות בהתאם לנתונים מקומיים כפי שמובא בשיטות של נדבך 3 המומלצות בהנחיות ה-IPCC.

- **יש להגביר** את שיתוף הפעולה בין המשרד להגנת הסביבה ומשרד האנרגיה לשם קידום אחידות בדיווחי הפליטות מתעשיית הגז הטבעי.
- **נדרשת הקמת** מנגנון ברור שיאגם ויאגד סוגי נתונים שונים ויאפשר שילוב של מגוון סוגי הנתונים לשם הנגשתם למקבלי ההחלטות באופן שתואם את ציפיותיהם. המנגנון אמור לכלול את נתוני הפעילות במקור הפליטות, פרטי מקורות הפליטות והמדידות האטמוספריות בהתאמה. עיצוב המנגנון צריך להתבצע בהתאם לסטנדרטים בין-לאומיים.
- **יש לנהל** מאגר מידע מאוחד, המתעדכן באופן שוטף, הכולל תקנים ונהלים שיאפשרו למקבלי ההחלטות לאסוף מידע נחוץ במהירות ובהתאם לדרישה מיידית ממוקדת, בשקיפות, בפשטות ובאופן מהימן הכולל ציטוט של מקור הנתונים ואיכותם.
- **מוצע לפתח** בסיס נתונים הכולל מקדמי פליטה רלוונטיים, המעודכנים תקופתית, עבור המקטעים השונים בשרשרת האספקה של הגז הטבעי בישראל המאפשר השוואה בין חלקים שונים של בסיסי הנתונים.
- **יש לוודא התעדה** של שיטות ונהלים המתאימים לאיסוף ולאספקת מידע עבור תחום מרחבי מצומצם או תקופת זמן קצרה. מוצע להרחיב את הניסיונות להפקת נתונים, במטרה למקסם את השפעת איסוף הנתונים והשימוש בהם.
- **יש להכשיר אנשי מקצוע** בתעשייה העוסקים בתפעול שוטף תוך שימת דגש על מניעה או הפחתה של פליטות מתאן. כמו כן יש לוודא שמפעילי ציוד המדידה עבור פליטות וריכוזי מתאן באטמוספירה מוסמכים לתפעל את הציוד הנדרש.
- **יש לפתח ולוודא קיום** מדדי-בקרה איכותניים (סיכונים ומגבלות) ו/או כמותיים (אי-ודאות ואפיון טעויות).
- **וכן, יש לפעול לשיקוף** הנתונים לצרכי הכשרה וחינוך לשם הרחבת קהל המשתמשים במערכת דיווח הפליטות ולשם הגברת שיתוף מידע בין-תחומי של בעלי עניין ומדענים.

3	תקציר מנהלים
11	רשימת קיצורים ומושגים
12	מטרת העבודה
14	1. מקטעי שרשרת האספקה של מגזר הגז הטבעי
15	2. מתודולוגיות לכימות פליטות בהתאם להנחיות האו"ם
21	3. פליטות מתאן – נתונים מדווחים בישראל
21	מקטעי ההפקה והעיבוד (upstream)
22	מקטעי ההולכה והחלוקה
23	מקטע השימוש – אתרי ייצור חשמל ושימוש תעשייתי בגז טבעי
25	4. חישוב פליטות מתאן בישראל על פי מקדמים בין-לאומיים (נדבך 1)
25	מקטעי ההפקה והעיבוד
26	מקטעי ההולכה והחלוקה
28	מקטע השימוש – אתרי ייצור חשמל ושימוש תעשייתי בגז טבעי
29	סיכום חישוב פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל (נדבך 1)
31	5. חישוב פליטות מתאן בישראל על פי מקדמים אזוריים ומדינתיים (נדבך 2)
31	מקדמים אזוריים
33	מקדמים מדינתיים
36	6. חישוב פליטות מתאן בישראל על פי מקדמים מקומיים (נדבך 3)
36	מקטעי ההפקה והעיבוד
38	מקטעי ההולכה והחלוקה
40	מקטע השימוש – שימוש בגז טבעי באתרי ייצור חשמל, בתעשייה ובאמצעות רשתות החלוקה
41	סיכום חישוב פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל (נדבך 3)
42	7. סיכום הממצאים
46	8. שיטות זיהוי וכימות פליטות מתאן בשרשרת האספקה של הגז טבעי
47	שיטות זיהוי
48	שיטות כימות
48	השוואה בין התקני מדידה שונים
50	9. סיכום והמלצות לשיפור ניטור ודיווח על מצאי פליטות מתאן מתעשיית הגז
50	רקע כללי
51	שיפור ניטור ודיווח על מצאי הפליטות
52	המלצות לאור הממצאים העיקריים מעבודה זו
53	המלצות ספציפיות ליישום בישראל

55.....	נספח – דוגמאות למדידת פליטות מתאן מאסדות נפט וגז הפועלות בים
55	פליטות מתאן מאסדות נפט וגז בים הצפוני (בריטניה)
55	פליטות מתאן מאסדות נפט וגז במפרץ מקסיקו (ארה"ב)
56.....	הערכת פליטות מתאן מאסדות במפרץ מקסיקו (ארה"ב) מדגימות אוויריות
58	פליטות מתאן מהפקת נפט וגז בים וביבשה (מקסיקו)
59.....	מדידת פליטות מתאן מאסדות נפט וגז בים (הולנד)

רשימת קיצורים ומושגים

מסמך זה מתייחס למקורות מידע שונים אשר עושים שימוש בשמות ויחידות מידה מגוונים. לאורך המסמך הנתונים מופיעים בהתאם למקור שלהם. להלן, רשימת מושגים וקיצורים שבהם נעשה שימוש.

BCM – Billion Cubic Meter – מיליארד מטר מעוקב

CCAC – Climate & Clean Air Coalition – השותפות הבין-לאומית לשינויי אקלים ואוויר נקי

CM – Cubic Meter – מטר מעוקב (מ"ק)

GWH – Giga Watt Hour – ג'יגה-ואט שעה

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי האקלים

Kg – Kilogram – קילוגרם (ק"ג)

Km – Kilometer – קילומטר (ק"מ)

LDAR – Leak Detection and Repair – גילוי דליפות ותיקון

LNG – Liquefied Natural Gas – גז טבעי נוזלי (גט"ן)

MCM – Million Cubic Meter – מיליון מטר מעוקב

MMcf – Million cubic feet – מיליון רגל מעוקב

mmBTU – Metric Million British Thermal Unit – מיליון יחידות תרמיות בריטיות

PJ – Peta Joule – קוודריליון (10¹⁵) ג'אול

PRMS – Gas Pressure Regulating and Metering Station – מתקן מנייה והפחתת לחץ

PRTR – Pollutant Release and Transfer Register – מרשם פליטות והעברות לסביבה (מפל"ס)

Tier – נדבך

Tonne – טון

להלן טבלת ההמרה של גז טבעי ליחידות שונות, שבהן נעשה שימוש במחקר:

BCM	MCM	mmBTU	GWH	PJ	Tonne	MMcf
1	1,000	35,982,081.32	10,546	34.4	717,000	35,310.7

מטרת העבודה

"גזי חממה" הוא שם המתכלל תרכובות בפאזה גזית הכוללות בין השאר: אדי מים, פחמן דו חמצני, מתאן, תת-תחמוצת החנקן, אוזון וגזי קירור (פריאונים). תרכובות אלה ואחרות בולעות ופולטות קרינה תרמית (אינפרא אדומה) ותורמות לעלייה בטמפרטורה הממוצעת על פני כדור הארץ על ידי מניעת פליטה יעילה לחלל של החום המצטבר באטמוספירה התחתונה.

גז המתאן, המרכיב העיקרי של הגז הטבעי, הינו גז החממה השני בהיקף השפעתו על פליטות גזי החממה העולמיות ממקורות אנתרופוגניים, אחרי הפחמן הדו חמצני, ובו מתמקדים כיום – יחד עם עוד גזי חממה קצרי-חיים – המאמצים לצמצום ההתחממות הגלובלית של האטמוספירה. המתאן, כתורם לאפקט החממה, מאופיין במקדם פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP) של מעל לפי 25 בהשוואה לפחמן דו חמצני לטווח של 100 שנים¹. בנוסף, המתאן נוטל חלק בתהליכים אטמוספריים ותורם להיווצרות ערפיח פוטו-כימי, כולל היווצרות אוזון בטרופוספירה ומכאן ההתמקדות המוגברת על פליטותיו מצד רגולטורים, אמצעי תקשורת, תעשייה וארגונים סביבתיים.

על מנת שישראל תוכל להעריך נכונה את התועלות של השימוש בגז הטבעי, להפחית את מצאי הפליטות השנתיות של גזי חממה, ולעמוד בהתחייבויותיה הבין-לאומיות להפחתת פליטות גזי חממה, יש חשיבות רבה להערכה מקצועית של היקף הפליטות משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל.

מטרת עבודה זו הינה חישוב פליטות המתאן מתעשיית הגז הטבעי בישראל מקצה לקצה, כולל הפקה, עיבוד, הולכה (נתג"ז), מערכת החלוקה, צרכנים / משתמשי קצה.

לצורך ביצוע העבודה גובשה ועדת היגוי אשר כוללת בנוסף לחוקרי מוסד נאמן גם נציגים ממשד האנרגיה – אילן נסים, ד"ר ערן ברוקוביץ, ד"ר שחר דולב, ד"ר שרית ברנד קליבנסקי וחיים מלמד, ונציגי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה – ד"ר משה ינאי ורואי עבודי.

תכולת העבודה

1. סקירה של מתודולוגיות מיטביות לחישוב ולהערכה של פליטות המתאן, בהסתמך על העבודות הקודמות שבצענו בתחום, כולל עדכונים מתודולוגיים שכבר התבצעו (בעיקר לגבי ההפקה בים) במידת הצורך.
2. הערכת מידע ונתונים קיימים ביחס למתודולוגיה המיטבית, והגדרה של נתונים נוספים הנחוצים ואופן האיסוף שלהם. על סמך הערכות אלה יוצעו כלים נוספים הנדרשים לביצוע מדידות רציפות או ביצוע של בדיקות מדגמיות מקובלות בתעשייה לרבות, בדיקות LDAR, שימוש במצלמות תרמיות, בדיקה וכיול שעוני מדידה וכו'. הגדרת הנתונים הנדרשים נועדה כדי להשתמש במתודולוגיה המיטבית המבקשת להימנע משימוש במקדמים של פליטות המקובלים במדינות אחרות, כגון, ארה"ב, אנגליה או צרפת, בהן מאפייני תעשיית הגז הטבעי שונים באופן מהותי מאלה של התעשייה בישראל.
3. הערכה איכותנית של אמינות הדיווחים המועברים למפל"ס ולרשות הגז הטבעי לרבות משתמשי הקצה. לאחר אפיון שיטות הדיווח למפל"ס (על סמך מקדמים גנריים, חישובים הנדסיים, מדידות מזדמנות ומדידות רציפות) הממצאים הושאו למצאי הפליטות האירופאי ולזה האמריקאי (שהתפרסמו באתר של האו"ם באפריל 2022) שבהם כלולים נתונים חדשים עבור פליטות ממתקני קצה בהשוואה למערכות

¹ בהתאם לספר הירוק נלקח טווח זמן של 100 שנים.

ומתקנים דומים לאלה הקיימים ופועלים בישראל כדי לעמוד על ההבדלים ולהציג מי מהשיטות טובה, אמינה ומדויקת יותר.

4. חישוב והערכה של פליטות המתאן מתעשיית הגז הטבעי בישראל – מקצה לקצה (מהבאר ועד לצרכנים או למשתמשי הקצה). החישוב מתייחס הן לפליטות כתוצאה מעבודה שגרתית לרבות עבודות תחזוקה עיתיות, שגרתיות, מיוחדות ומתקלות.

5. גיבוש המלצות וצעדי מדיניות להפחתת פליטת מתאן מתעשיית הגז הטבעי בישראל.

מבנה המסמך:

הפרק הראשון מציג מבנה סכמטי של מגזר הגז הטבעי ואת מבנה שוק הגז בישראל. הפרק השני מציג את הנחיות האו"ם לחישוב פליטות מתאן ממערכות גז טבעי במצאי פליטות לאומיים, בהתאם לנדבכים השונים ואת עץ ההחלטה לגבי הנדבך המיטבי המומלץ ליישום במקטעים השונים. בפרק השלישי מוצגים נתוני פליטות המתאן במגזר הגז הטבעי המדווחים בישראל.

בפרקים 4-6 מוצגים חישובי פליטות המתאן בהתאם למקדמי פליטה בנדבכים 1-3, ובהתחשב בנתונים המקומיים – היקף ההפקה, העיבוד, ההולכה, החלוקה והשימוש בישראל. **חישוב הפליטות בישראל בהתאם לנדבכים השונים מאפשר לבדוק את מרווח אי-הוודאות של מצאי הפליטות, ובמיוחד פליטות בטווח הקיצון של עקומת התפלגות הפליטות, שכן מקדמי פליטה ממוצעים לא משקפים את כלל הפליטות.** טווח התוצאות המתקבל בין החישובים בנדבכים השונים, עשוי לסייע בקבלת ההחלטה באיזה מקטע משרשרת האספקה של הגז הטבעי נדרש איסוף נתונים מפורטים לצורך שיפור הערכת הפליטות, שכן מאפייני משק הגז הישראלי לא מקבלים ביטוי הולם במקדמים גנריים, ובאיזה מקטע ניתן להסתמך על מקדמי הפליטה המומלצים על ידי האו"ם עבור חישובים מנדבך מסוים. בפרק 7 מוצגת השוואה בין הממצאים השונים שהוצגו לאורך העבודה.

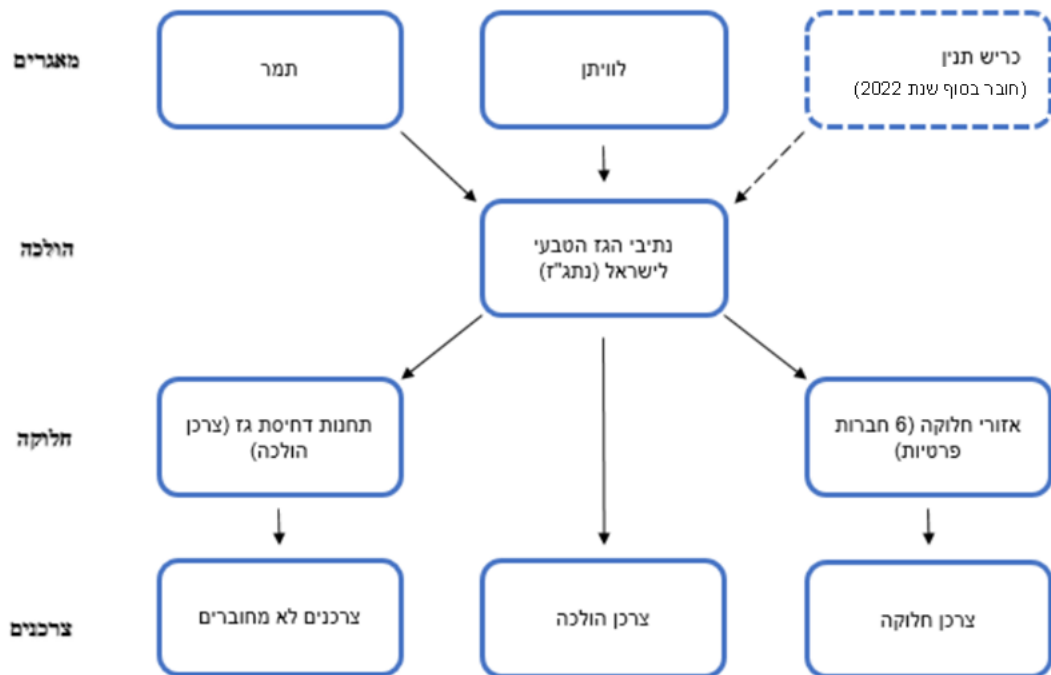
פרק 8 מציג סקירה קצרה של טכנולוגיות לזיהוי דליפות מתאן ולכימותן, ופרק 9 מפרט המלצות ראשוניות לשיפור הניטור והדיווח על מצאי פליטות מתאן במשק הגז הטבעי בישראל.

1.1 מקטעי שרשרת האספקה של מגזר הגז הטבעי

מגזר תעשיית הגז הטבעי שונה ממדינה למדינה אבל בעיקרו הוא מורכב ממערכות משולבות במקטעים הבאים:²

- הפקה בים וביבשה – הוצאת גז טבעי גולמי ממאגרים במעמקי הים או היבשה.
- איסוף – איסוף הגז ממקורות הפקה שונים והעברתו לעיבוד או לאגירה.
- עיבוד – הסרת זיהומים ופרקציות נוזליות (ובתוכן מים, קונדנסט (תעבית), ונוזל נגד קיפאון) בכדי שהגז יעמוד בתקן הנדרש להולכה בצנרת ולשימוש צרכני קצה.
- הולכה – העברת הגז הטבעי ברשת של צנרת בלחץ גבוה (בישראל, לחץ של 70 באר) לצרכני תעשייה או תחנות כוח.
- אחסון תת-קרקעי/הנזלה – אחסון הגז הטבעי במאגרים תת-קרקעיים או הנזלה של גז טבעי (נכון לשנת כתיבת הדו"ח, אין במערכת הגז הטבעי בישראל אחסון או הנזלה).
- חלוקה – העברת גז טבעי לצרכני קצה בלחץ נמוך.

הצגה סכמטית של מבנה משק הגז הטבעי בישראל מוצגת באיור 1.1.



איור 1.1: מבנה משק הגז הטבעי בישראל³

² לב-און מרים, לב-און פרי, אילון אופירה, זרביב ציון מעיין. הערכות גלובליות של פליטות מתאן ממתקני קידוח בים וחשיבותם חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2016. <https://www.neaman.org.il/Global-Estimates-Of-Methane-Emissions-from-Off-Shore-Drilling-Plants-and-Their-Importance>

³ משרד האנרגיה (2021). סקירת מבנה נשק האנרגיה במדינת ישראל. משק הגז הטבעי. https://www.gov.il/BlobFolder/reports/israel_energy_sector/he/israel_energy_sector.pdf

2. מתודולוגיות לכימות פליטות בהתאם להנחיות האו"ם

מערכות נפט וגז טבעי מהוות את כלל התשתיות הנדרשות בכדי לייצר, לאסוף, לעבד או לזקק ולספק גז טבעי ומוצרי נפט לשוק. המערכת מתחילה בראש הבאר, או במקור הנפט והגז הטבעי, ומסתיימת בנקודת המכירה הסופית לצרכן. מקובל לייחס פליטות ממערכות גז לשלוש קטגוריות – פליטות לא מוקדיות, פליטות כתוצאה משרפת דלקים (גז טבעי, אך גם סולר, או דלקים אחרים הנצרכים בהפעלת המערכות) ופליטות כתוצאה מתקלות.

המונח פליטות לא מוקדיות מוגדר בהנחיות האו"ם (שיפורטו להלן) בהרחבה כאשר הוא כולל את כל פליטות גזי החממה ממערכות נפט וגז טבעי למעט תרומות משרפת דלקים להפקת אנרגיה.

המקורות העיקריים לפליטות לא מוקדיות כוללים דליפות מרכיבי ציוד, איזוי, שרפת גז בלפידים או נישוב כתוצאה מתהליך מבוקר.

- פליטות לא מוקדיות הן מקור ישיר לפליטת גזי חממה עקב דליפות של גז טבעי ממערכות התפעול;
- נישוב הוא שחרור מבוקר של גז טבעי לאטמוספירה וכולל הזרמות חירום בעת תקלה;
- שרפה בלפיד כוללת כל שרפה של עודפי גז טבעי ותעבית כאשר השרפה משמשת לסילוק הגז אך לא ליצירת חום או להפקת אנרגיה לשימוש עצמי.

במקרה של תקלה, יש להוסיף את היקף הפליטות שנגרמו כתוצאה ממנה, לחישוב של הפליטות הלא מוקדיות. בנפרד צריך גם לכמת את פליטות המתאן הנגרמות עקב בעירה לא מושלמת בעת שרפת דלקים לשם הפקת אנרגיה במתקנים נייחים הנחוצים להפעלת האתרים.

ההנחיות לכימות פליטות גזי חממה עבור מצאיי פליטות לאומיים (national greenhouse gas inventories) אומצו על ידי הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי האקלים (IPCC) של האו"ם ב-2006⁴. השיטות המפורטות בהנחיות מבוססות על מתודולוגיה טכנית אמינה אשר אינה מצריכה שינוי יסודי. אולם, בכדי לשמר את התוקף המדעי של שיטות הכימות הוחלט על ידי הוועדה המייעצת שיתכן ונדרשים עדכונים מסוימים, לאור הקידום המדעי והטכנולוגי מאז 2006. בשנת 2019 פרסם ה-IPCC עדכון של ההנחיות⁵. **עבודה זו מסתמכת על המקדמים הזמינים המעודכנים ביותר לכל מקטע או פעילות.**

כל העדכונים המתודולוגיים שנעשו בעדכון של 2019 עבור מגזר האנרגיה⁶ מתייחסים לפליטות לא מוקדיות הכוללות בהתאם להנחיות האו"ם גם נישוב ושרפת גז בלפידים. לא בוצעו עדכונים מתודולוגיים עבור פליטות כתוצאה משרפת דלקים במקורות נייחים או נייחים להפקת אנרגיה. העדכון של 2019 עבור מגזר הנפט והגז הטבעי כולל שינויים במקדמי הפליטה האמורים לשקף את מגוון הטכנולוגיות והנהלים הנמצאים בשימוש במקטעים השונים של מגזר זה. כך למשל, גובשו מקדמים שונים בהתאם להיקף יישום של טכנולוגיות ונוהלי עבודה דלי פליטות עבור הפקת גז טבעי ונפט ביבשה, וכן עבור אימוץ תוכניות LDAR לאפיון פליטות ותיקונם במקטעי העיבוד וההולכה. כמו כן פורסמו מקדמים גנריים שונים המאפשרים חישוב הן על פי כמות הגז המסופקת והן על פי אורך הצנרת במקטעי ההולכה והחלוקה. חשוב לציין שעבור הפקה בים פורסם מקדם יחיד המייצג ממוצע של פליטת מתאן המתבסס על הסקירה של נתוני הפעילות האמריקאית במפרץ מקסיקו

⁴ IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

⁵ IPCC, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

⁶ IPCC 2019 Refinement, Volume 2 Energy. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>

לשנת 2017. בניגוד למקדמי הפליטה מהפקה ביבשה, מקדם פליטת מתאן מהפקה בים אינו מפריד בין הפליטות הנובעות כתוצאה מטכנולוגיות מתקדמות ונוהלי עבודה התורמים להפחתת פליטות.

דירוג שיטות כימות הפליטות בהתאם לנדבכים

השיטות לכימות הפליטות המוצגות בהנחיות האו"ם מבוססות על נדבכים שונים (tiers) המייצגים מורכבות מתודולוגית שונה.

נדבך 1 מבוסס על שימוש במקדמי ברירת מחדל לחישוב הפליטות עבור כל מקטע ותת-מקטע בהסתמך על ממוצעים עולמיים; נדבך 2 מבוסס על מקדמים המותאמים למדינה שבה מבצעים את החישוב; ונדבך 3 מבוסס על שימוש במקדמים מפורטים עבור כל סוג של מקור פליטה ברמת המתקן או כלל המערכות באתר הספציפי, בתנאי שקיימים נתונים נאותים וזמינים לכימות הפליטות.

ישום המתודולוגיות בנדבכים השונים תלוי בנתונים הקיימים בכל מדינה לשם אפיון הטכנולוגיות ונוהלי העבודה הקיימים במגזר הנפט והגז טבעי ובשיטות לכימות פליטות גזי החממה. היות וזמינות הנתונים עשויה להשתנות לאורך זמן, השיטות המומלצות על ידי ה-IPCC מאפשרות מעבר בין שלושת הנדבכים בהתאם להיקף הנתונים הקיימים עבור כל מקטע. לשם כימות הפליטות, סביר להניח שמדינות רבות ישתמשו בשילוב של נדבכים שונים – בהתאם לנתונים המצויים במקטעים השונים, כאשר המטרה היא להגיע לדיוק מירבי של הערכת הפליטות באמצעות השיטות המפורטות בנדבך 3.

נדבך 1

שיטות הכוללות את השימוש במקדמי פליטה המוגדרים כברירת מחדל עבור מקדם פעילות מייצגת (בדרך כלל תפוקה) עבור כל מקטע רלוונטי של תעשיית הגז הטבעי במדינה.

TIER 1: Estimating Fugitive Emissions from an Industry Segment

$$E_{gas, industry segment} = A_{industry segment} * EF_{gas, industry segment}$$

TIER 1: Total Fugitive Emissions from Industry Segments

$$E_{gas} = \sum E_{gas, industry segment}$$

When,

$E_{gas, industry segment}$ = Annual emissions of CO₂, CH₄, or N₂O (tonnes)

$EF_{gas, industry segment}$ = Emission Factor for CO₂, CH₄, or N₂O (tonnes / unit of activity)

$A_{industry segment}$ = Activity value (units of activity)

מקדמי פליטה גנריים לחישוב פליטות מתאן לא מוקדיות בנדבך 1, המומלצים על ידי האו"ם בהתאם להנחיות של 2006 וההנחיות המעודכנות של 2019, מובאים בטבלה 1 להלן עבור המקטעים השונים של מגזר הגז הטבעי. לא כל המגזרים יופיעו/יכללו בהכרח במצאי הפליטה של כל מדינה. לדוגמה, מדינה שרק מייבאת גז טבעי ואינה מפיקה אותו תהיה כנראה בעלת פליטות במקטעי הקליטה, ההולכה והחלוקה של גז טבעי בלבד (אך לא תדווח על פליטות במקטע ההפקה). הטבלה מציגה את הערכים השונים עבור מקדמי פליטה המייצגים טכנולוגיות מתקדמות דלות פליטה אשר אמורות לשקף בצורה נכונה יותר מערכות גז טבעי חדשות ומתקדמות (כמו מערכת הגז הטבעי בישראל, שהוקמה ברובה רק בעשור האחרון).

חישוב הפליטות נעשה באמצעות הכפלת מקדם הפליטה בנתוני הפעילות המייצגת, כך למשל, מקטעי ההפקה והעיבוד מחושבים על פי היקף הגז המיוצר, ואילו במקטעי ההולכה והחלוקה, נעשה שימוש במקדמים אחרים כאשר החישוב נעשה בהתאם לכמות הגז המסופקת דרכן (מסומן בצהוב), לעומת חישוב בהתאם לאורך הצנרת (מסומן בכתום).

טבלה 1: השוואת מקדמי פליטות לא מוקדיות על פי פרסומי ה-IPCC

Segment	IPCC 2019 Refinement			Units of measure	IPCC 2006 Guidelines			
	Subsegment	Average EF (Tonnes CH ₄ per MCM, km or unit)	Uncertainty		Subsegment	Average EF (Tonnes CH ₄ per MCM, km or unit)	Uncertainty	Units of measure
Gas Production	Offshore ^a	2.94	±20%	Tonnes / MCM offshore gas production	Well drilling, testing, servicing, production fugitives and flaring	0.32	±25%-100%	Tonnes / MCM offshore gas production
Processing	Extensive LDAR, and around 50% or more of centrifugal compressors have dry seals	0.57	±10%	Tonnes / MCM gas produced	Fugitives and flaring	0.59	±25%-100%	Tonnes / MCM gas produced
Gas Transmission and Storage	<u>Transmission:</u> Extensive LDAR, and around 50% or more of centrifugal compressors have dry seals	1.29*	-20% to +30%	Tonnes / MCM gas consumption	Fugitives and venting	1.00	±75%-100%	Tonnes / MCM gas consumption
		2.08*	-20% to +30%	Tonnes / kilometre of pipeline				
	<u>LNG:</u> Import/Export	1660.00	-20% to +30%	Tonnes/station				
Gas Distribution	Greater than 50% plastic pipelines, and leak detection and repair programs are in use	0.62*	-20% to +120%	Tonnes / MCM gas consumption	All	1.10	±20%-500%	Tonnes / MCM gas consumption
		0.23*	-20% to +120%	Tonnes / kilometre of pipeline				
Post-meter	Leakage at industrial plants and power stations	0.40	±60%	Tonnes / MCM Non-residential and commercial gas consumed				

- בצהוב – מקדמי פליטה המאפשרים חישוב בהתאם לכמות הגז.
- בכתום – מקדמי פליטה המאפשרים חישוב בהתאם לאורך הצנרת.

הפליטות המחושבות בהתאם למקדמי הפליטה בטבלה 1 לעיל כוללות רק פליטות לא מוקדיות, כלומר, דליפות מרכיבי ציוד ופליטות מנישוב ומלפידים. פליטות אחרות כגון אלה המאפיינות מחממים או גנרטורים הצורכים גז טבעי או דלק מחצבי אחר או פליטות מתקלות יש לחשב בנפרד, שכן הן אינן מוגדרות כפליטה לא מוקדית.

נדבך 2

שיטות כימות בנדבך 2 כוללות שימוש במשוואות שלעיל עבור נדבך 1 אבל עם מקדמי פליטה ספציפיים למדינה המדווחת במקום מקדמי ברירת המחל. המקדמים הספציפיים למדינה אמורים להיות מבוססים על מחקרים לאפיון מפורט יותר של הפעילות ומדידת פליטות עבור מקורות פליטה עיקריים.

אם נתונים מדינתיים אינם בנמצא, ניתן להשתמש במקדמים אזוריים או במקדמים ממדינות אחרות שיש בהן תעשייה דומה (להרחבה ראו פרק 5).

נדבך 3

שיטות חישוב הכוללות את השימוש במקדמים מפורטים המבוססים על מדידות באתרי התפעול עבור כל סוג עיקרי של מקור פליטה והצבת המקדמים במשוואות שלעיל. למשל, חישוב פרטני עבור נישוב, בעירה בלפיד, דליפות מציד, הפסדים מאידוי ושחרורים בשוגג, השבת גז, כאשר משתמשים במקדמי פליטה ברמת המתקן הבודד או במקדם פליטה משוקלל עבור כלל המערכות באתר.

סוגי הנתונים העיקריים החשובים לשם הערכת הפליטות בנדבך 3 כוללים:

1. הערכת הפליטות מכל מתקן רלוונטי, כולל הערכה של סוג וכמות הציוד או יחידות התפעול בכל מתקן וטכנולוגיות עיקריות המיושמות לבקרת פליטות (למשל, השבת אדים, שרפת עודפי גז טבעי וכו').
2. מצאי בארות הפקה ומתקני ההפקה בשדה לקליטה או טיפול בגז הטבעי (כגון, ייבוש גז, מחממי קו, וכו').
3. ניתוח השימוש בלפידים, נישוב גזים ואפיון תכולת תרכובות הפחמן השונות בגזים המעובדים.
4. דיווחים על שחרור גז טבעי לאטמוספירה עקב שחרור לחצים או פגמים לרבות קרעים בצנרת.
5. מקדמי פליטה ספציפיים למדינה עבור דליפות מרכיבי ציוד, נישוב ושרפת גז בלפידים.

בהיעדר נתונים טובים יותר, ייתכן שלעיתים יהיה צורך ליישם מקדמי פליטה הנמצאים בשימוש באזורים אחרים באם סוגי הציוד דומים ורמת הטכנולוגיה המותקנת דומה.

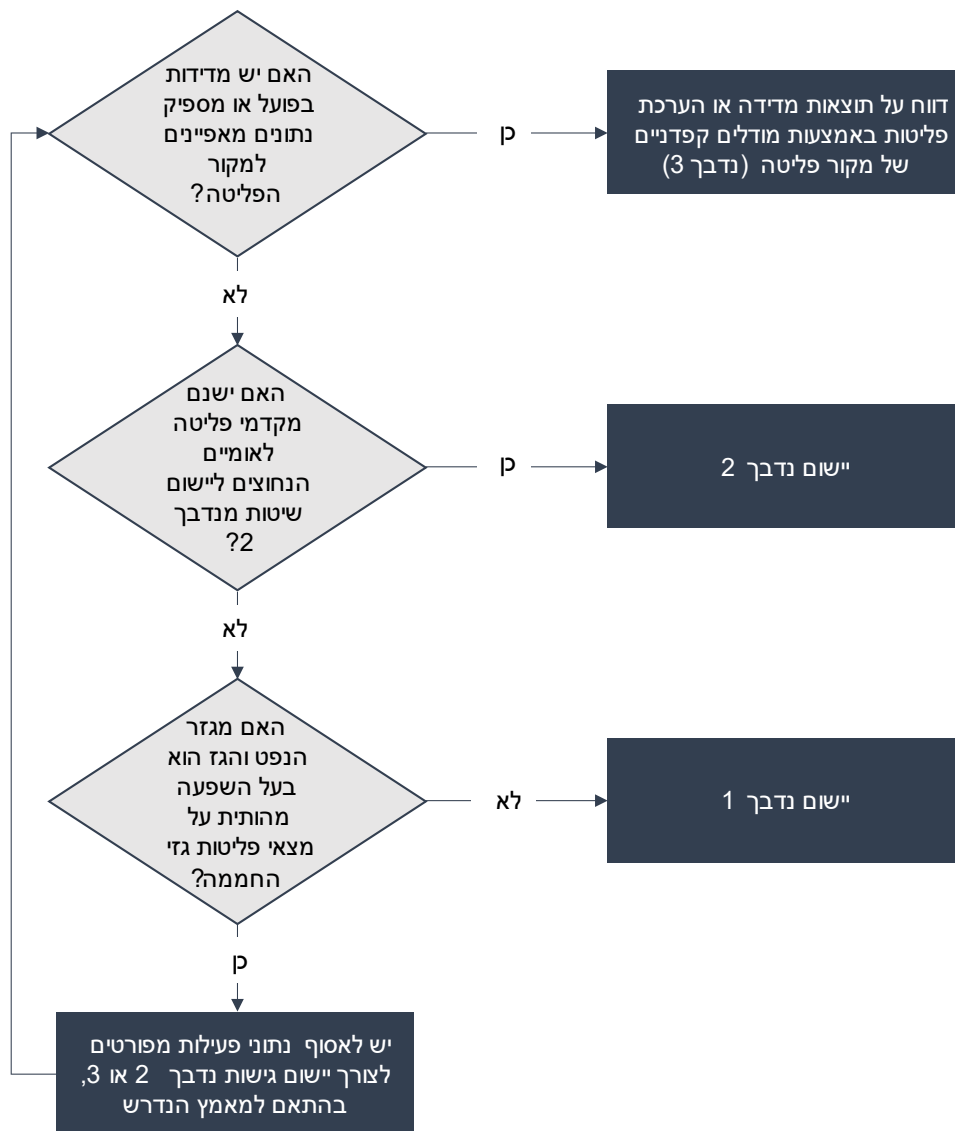
המלצות ליישום הנדבכים השונים

הנחיות האו"ם מעודדות את המדינות לעשות שימוש במקדמי פליטה ספציפיים (נדבך 3), באם נתונים אלו זמינים בקלות. בהיעדר נתונים מקומיים זמינים, יש לבדוק באם ניתן ליישם מקדמי פליטה של מדינות עם טכנולוגיה דומה (נדבך 2) היות ומאפייני המפעלים והמתקנים עשויים להיות שונים באופן מהותי, הן בין מדינה למדינה והן במתקנים שונים בתוך המדינה עצמה. השימוש במקדמי הפליטה הגנריים (נדבך 1) מומלץ רק באם אין נתונים זמינים לצורך חישוב הפליטות בהתאם לנדבכים 3 או 2, והפליטות מהמגזר אינן בעלות היקף משמעותי במצאי הפליטות הלאומי.

כאשר מתבצעות מדידות לחישוב מקדמי פליטה חדשים יש להקפיד על שימוש בשיטות מדידה מאומתות ובקרת איכות הנתונים בכדי לקבוע את מרווח אי הוודאות הסטטיסטי של התוצאות. יש לקחת בחשבון שגיבוש מקדמי פליטה מזויקים ואמינים שישקפו בצורה נכונה את היקף הפליטות האמיתיות, מצריך עבודת שטח מעמיקה ומקצועית על ידי גוף בלתי תלוי בפיקוח הרגולטור והשקעת משאבים רבים, ואינו יכול להסתמך בלעדית על דיווחי הארגונים האחראים לפליטות.

תהליך ההחלטה הבסיסי ליישום הנדבכים מתואר להלן ובאיור 2. תהליך ההחלטה מבוצע בנפרד לכל מקטע
 בשרשרת האספקה, והוא תלוי בזמינות הנתונים לאותו מקטע.

- האם נתונים מפורטים הנחוצים ליישום שיטות מנדבך 3 זמינים (ללא קשר אם מדובר בקטגוריית מפתח, או אם הפליטות ממנה משמעותיות)? אם כן, יש לבצע את ההערכה בהתאם לנדבך 3.
- האם נתונים הדרושים ליישום שיטות מנדבך 2 זמינים? אם כן, יש לבצע את ההערכה בהתאם לנדבך 2.
- האם מגזר הנפט והגז הוא בעל השפעה מהותית על המצאי הלאומי של פליטות גזי החממה? אזי יש לאסוף נתונים המאפשרים כימות פליטות בשיטות מנדבך 2 או 3.
- באם מגזר הנפט והגז אינו בעל השפעה מהותית על המצאי הלאומי של פליטות גזי החממה ניתן להעריך את הפליטות באמצעות שיטות מנדבך 1.



איור 2: תהליך ההחלטה הבסיסי ליישום שיטות בנדבכים השונים⁷

⁷ IPCC 2019 Refinement, Volume 2 Energy. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>

3. פליטות מתאן – נתונים מדווחים בישראל

פרק זה מציג את הנתונים המדווחים בישראל לגבי פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל, בהתאם לנתונים המפורסמים לציבור, וכן נתונים שהתקבלו ישירות מהחברות הרלוונטיות. **המקטעים המפורטים להלן מתייחסים למצב הקיים במשק בשנים 2020-2021, שאליהן מתייחס הדו"ח.**

מקטעי ההפקה והעיבוד (upstream)

מקטעי ההפקה והעיבוד בישראל כוללים את האסדות תמר ולוויתן ואת מתקני הקליטה החופיים באשדוד (AOT) ובחוף דור.

צינורות האיסוף של הגז הטבעי מאסדת תמר ועד למתקן הקליטה והטיפול באשדוד, והחיבור של אסדת לוויתן למתקן בחוף דור, קיבלו רישיונות נפרדים לפי חוק משק הגז הטבעי. חשוב להדגיש, שבמקדמים בין-לאומיים הנוגעים להפקת נפט וגז טבעי בים, אין התייחסות נפרדת (מקדמי פליטה ספציפיים) לצנרת הימית. ולכן גם עבודה זו לא בחנה פליטות מהצנרת הימית – מהבארות לאסדות, ומהאסדות לחוף.

הבעלים של כל מפעל המקיים פעילות מסוג הפעילויות המופיעות בתוספת השנייה לחוק המפל"ס⁸ צריך לדווח על פליטות והעברות של חומרים מזהמים ופסולות לסביבה. התוספת השנייה כוללת רשימה של 74 סוגי פעילויות שונים שלהם פוטנציאל השפעה על הסביבה, לרבות זיקוק גז ודלקים, הפקתם, וכן פעילות שנעשה בה שימוש במתקני ניזול, ללא סייגים ביחס להיקף הפעילות. לכן, מתקני ההפקה והעיבוד נדרשים בדיווח שנתי למפל"ס. מתקן הקליטה באשדוד, הקולט את הגז הטבעי מאסדת תמר, ובו מתבצע טיפול משלים בגז (ייבוש והפרדת נוזלים), בנוסף להפחתת הלחץ, מחויב גם הוא בדיווח למפל"ס. לעומת זאת, מתקן המגופים בחוף דור, המקבל את הגז הטבעי מאסדת לוויתן ובו מתבצעת הפחתת לחץ בלבד והעברה למערכת ההולכה, אינו נדרש לחישוב ודיווח פליטות.

במקביל, בהתאם לדרישת סעיף "דיווח" בהיתר הפליטה שלהם, נדרשים המפעלים להגיש למשרד להגנת הסביבה דו"ח שנתי המסכם את פעילות המפעל בשנת הדיווח, הכולל דיווח בגין פליטות ממקורות נייחים, פליטות לא מוקדיות ופליטות מתקלות. הדו"חות השנתיים של אסדת לוויתן מפורסמים בשקיפות באתר הפרויקט⁹, הדו"חות השנתיים של אסדת תמר מפורסמים באתר של חברת שברון¹⁰, אך הפרסום אינו מתויג ולכן קשה לאתר. מתקן הקליטה באשדוד, בדומה למפעלים רבים אחרים, מגיש דו"ח שנתי למשרד להגנת הסביבה אך אינו נדרש בפרסום פומבי של הדו"חות. עם זאת, הדו"חות השנתיים של המתקן לשנים 2020-2021 הועברו לצוות המחקר על ידי חברת שברון. מתקן הקליטה בחוף דור אינו נדרש לדיווח שנתי.

צוות המחקר השווה בין הדיווחים למפל"ס לדו"חות השנתיים, והם נמצאו זהים, למעט בשני היבטים:

- הפליטות המדווחות בדו"ח השנתי של אסדת תמר לשנת 2020 נמוכות מהפליטות המדווחות למפל"ס וזאת כיוון שהנתונים בדו"ח השנתי מתייחס רק לתקופה החל מיום קבלת היתר פליטה לאסדה, קרי לתקופה של 4 חודשים בלבד, החל מסוף חודש אוגוסט ועד סוף שנת 2020.

⁸ חוק הגנת הסביבה (פליטות והעברות לסביבה – חובות דיווח ומרשם), התשע"ב-2012.

https://www.gov.il/he/departments/legalInfo/prtr_law_2012

⁹ לוויתן הפרויקט הלאומי. שקיפות – דו"חות שנתיים. <https://leviathanproject.co.il/transparency>

¹⁰ שברון ישראל. חדשות – עדכוני אסדת תמר 29.04.22. <https://israel.chevron.com/news/latest-updates/2022/tamar-platform-update-042922>

▪ הדיווח בגין תקלות אינו זהה לחלוטין. הפערים נובעים מהגדרות שונות בהנחיית המשרד להגנת הסביבה להגשת דיווח למפל"ס אל מול ההנחיות להגשת הדיווחים השנתיים.

טבלה 2 מציגה את הנתונים עבור אסדות תמר ולוויתן ומתקן הקליטה החופי באשדוד עבור השנים 2020 ו-2021, כפי שהם מדווחים במפל"ס. הדיווח כולל את סך הפליטות, ומתוך הסך הכול כמה פליטות הן כתוצאה מתקלות.

טבלה 2: נתוני המפל"ס עבור פליטות מתאן במקטעי ההפקה והעיבוד (טון מתאן לשנה)

		2020				2021			
	Segment	Leviathan*	Tamar	AOT	Total	Leviathan	Tamar	AOT	Total
PRTR data	Malfunction	26.81	לא נפלט בתקלה	לא נפלט בתקלה		11.09	מתחת לסף דיווח	לא נפלט בתקלה	
	TOTAL (Tonnes/year)	308.63	61.08	81.54	451.26	106.54	72.7	141.91	321.15

* חברת שברון ביקשה לציין כי שנת 2020 הייתה שנת ההרצה של אסדת לוויתן, ועל כן איננה מייצגת ומשקפת את השגרה ואת העתיד לבוא.

מקטעי ההולכה והחלוקה

מקטע ההולכה בישראל כולל את רשת ההולכה הארצית, אשר מנוהלת באמצעות החברה הממשלתית – חברת נתיבי הגז הטבעי לישראל (נתג"ז); ואת מסוף הגז הטבעי הנוזלי (LNG) הימי בחדרה (אשר פעל בשנים 2013-2022), שנוהל על ידי חברת החשמל¹¹. מקטע החלוקה (רשתות החלוקה) מתוכנן, מוקם ומופעל באמצעות יזמים פרטיים בשישה אזורי חלוקה שנקבעו על ידי משרד האנרגיה. מערכת ההולכה והחלוקה היא מערכת חדשה יחסית הנמצאת בשימוש מאז 2003 והיא הורחבה ללא הרף לשם אספקת גז טבעי ברחבי ישראל. **מקטעים אלו אינם מחויבים בדיווח למפל"ס.**

נתג"ז התבקשה לספק הערכה שנתיית של כמות הגז המשתחררת לסביבה מרשת ההולכה בישראל. דו"ח של חברת הייעוץ ההנדסי WOOD¹² מתווה את תקני התכנון והתפעול של רשת הולכת הגז ומאפיין את מקורות פליטת הגז הטבעי. הדו"ח מספק הערכה הנדסית של כמות הגז הנפלטת או דולפת בשנה ומשתחררת לסביבה. על פי הדו"ח, נישוב ודליפה של גז לאטמוספירה במקטעי ההולכה והחלוקה נגרם מפעילויות תפעול ותחזוקה רגילות כגון:

- תחזוקה תקופתית של PRMS (מתקן מנייה והפחתת לחץ).
- בדיקות צנרת.
- פעילויות הקשורות להתקנת צנרות גז ו-PRMS חדשים.
- דליפות גז אקראיות (לא מוקדיות).

¹¹ מסוף הגז הטבעי הנוזלי שימש לאספקת גז טבעי מיובא, כגיבוי לייצור המקומי, במהלך כעשור עד שנת 2022. במסוף בוצעה פעילות של גיזוז – הפיכת הגז ממצב צבירה נוזל לגז. פעילות זו (בשונה מפעולת הנזלה), אינה חוסה תחת הפעילויות המחויבות בדיווח בהתאם לחוק המפל"ס.

¹² Wood, Report Title: INGL Estimated Annual Gas Release to the Environment 2020 (Ref: 430462)

על פי נתג"ז¹³ אין ממערכת ההולכה דליפות גז אקראיות, וזאת לפי מערכות הבקרה הקיימות – מערכת לאיתור דליפות הפעילה באופן רציף, ובקרת המתקנים של החברה בהתאם לתדירות הקבועה בתקני DVGW ואף יותר מכך.

המקדמים שבהם נעשה שימוש בדו"ח WOOD הינם מקדמים בהתאם לנדבכים 2-3, שכן הם ספציפיים למערכת ההולכה בישראל, אך רק עבור שנת 2020.

על פי דו"ח WOOD היקף הפליטות ממערכת ההולכה בשנת 2020 עומד על 77,575 מ"ק, שהם 55.6 טון מתאן (המהווים 0.00048% מכלל הגז המוזרם במערכת ההולכה).

החל משנת 2021 חברת נתג"ז מפרסמת באתר החברה דו"חות רבעוניים¹⁴ של הפרשי מדידה.

נתג"ז מגדירה פער מדידה (UFG – Unaccounted for Gas) כהפרש חיובי או שלילי בין סך כל הכמות הנמדדת בחודש מסוים בכל המונים בכל הכניסות למערכת ההולכה הארצית, לבין סך כל הכמות הנמדדת באותו חודש בכל המונים של בעל רישיון ההולכה הנקודות היציאה ממערכת ההולכה הארצית, ובלבד שההפרש האמור לא נגרם, כולו או חלקו כתוצאה מצריכה עצמית של בעל רישיון ההולכה, אי-תקינות המערכת או המונים או בעיה תפעולית במערכת ההולכה הארצית.

סיכום הדו"חות הרבעוניים מעלה כי פערי המדידה בשנת 2021 הסתכמו ב-874,190 mmBTU (כמחצית האחוז מצטבר שנתי) שהם 17,420 טונות של גז טבעי, ואילו בשנת 2020 הסתכמו הפערים ב-1,984,094 mmBTU (1.34% מצטבר שנתי) שהם 39,536 טונות של גז טבעי. חלק מפערי המדידה עלול להוות פליטות לאוויר, אך לפי הנתונים הקיימים, אין לדעת מה שיעור הפליטות מתוך סך כל הפערים¹⁵. בדו"חות הרבעוניים מצוין כי בשנת 2021 לא היו תקלות במערכת המדידה, אך אין מידע לגבי תקלות בכלל המערכת.

מקטע השימוש – אתרי ייצור חשמל ושימוש תעשייתי בגז טבעי

מקטע השימוש בישראל כולל עשרות מתקנים העושים שימוש בגז טבעי, ובהם תחנות כוח לייצור חשמל של חברת החשמל ויצרני חשמל פרטיים, ומפעלי תעשייה. עם זאת, רק מתקנים ספורים דיווחו למפל"ס על פליטות מתאן מפעילותם, במרבית המתקנים האחרים הפליטות הינן בהיקף נמוך מסף הדיווח. זאת ועוד, דיווחי המתקנים מתארים פליטות מתאן כתוצאה משרפת דלקים ומתקלות, אך רובם ככולם אינם כוללים התייחסות לדליפות לא מוקדיות.

מתוך דיווחי החברות למפל"ס בשנים 2020-2021 נמצאו דיווחי פליטות מתאן מ-10 תחנות כוח הפועלות על גז טבעי¹⁶, ומפעלים תעשייתיים בודדים (שניים בשנת 2020, ו-3 בשנת 2021). כמתואר בטבלה 3.

¹³ התייחסות נתג"ז לדו"ח זה כפי שהתקבלה במייל משלומי זעירא, סמנכ"ל תפעול בנתג"ז, ביום 3/5/23.
¹⁴ נתג"ז (2022). צריכה בפועל, ביקושים והפרשי מדידה של גז טבעי. [דו"חות הפרשי מדידה רבעוניים ב-2021](#).
¹⁵ נציגי חברת נתג"ז ביקשו לציין כי אין פליטות לאוויר ממערכת ההולכה.
¹⁶ שתי תחנות הכוח הפחמיות של חברת החשמל לא נכללות בספירה, על אף שדיווחיהן כוללים פליטות מתאן.

טבלה 3: נתוני המפל"ס עבור פליטות מתאן במקטע השימוש (טון מתאן לשנה)

2020	2021	
284.1	281.4	פליטות מתחנות כוח גזיות
46.7	68.4	פליטות ממפעלים תעשייתיים
330.8	349.8	סה"כ (טון מתאן לשנה)

4. חישוב פליטות מתאן בישראל על פי מקדמים בין-לאומיים (נדבך 1)

פרק זה מציג חישובים לגבי פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל, שבוצעו על ידי צוות המחקר, בהתאם לנתונים המפורסמים לציבור, וכן נתונים שהתקבלו ישירות מהחברות הרלוונטיות, וזאת בהסתמך על מקדמי פליטה בין-לאומיים (נדבך 1), כפי שפורסמו על ידי ה-IPCC בשנת 2019 (טבלה 1). נדבך 1 מתבסס על ממוצעים עולמיים עם מרווח אי ודאות גבוה ואינו משקף את הפליטות במתקן ספציפי. יש לציין כי ה-IPCC ממליצים להשתמש בנדבך 3 ולא בנדבך 1 במידה וישנם נתונים זמינים.

הפליטות המחושבות בהתאם למקדמי הפליטה הבין-לאומיים של ה-IPCC כוללות רק פליטות לא מוקדיות, כלומר, דליפות מרכיבי ציוד ופליטות מנישוח ומלפידים. פליטות אחרות כגון אלה המאפיינות מחממים או גנרטורים הצורכים גז טבעי או דלק מחצבי אחר או פליטות מתקלות יש לחשב בנפרד.

מקטעי ההפקה והעיבוד

טבלה 4 מציגה תוצאות חישוב פליטות מתאן בישראל במקטע ההפקה והעיבוד כאשר נעשה שימוש במקדמי הפליטה הגנריים של ה-IPCC, אשר הוצגו בטבלה 1 לעיל.

טבלה 4: חישוב פליטות מתאן לא מוקדיות ממקטעי ההפקה והעיבוד על פי מקדמי ה-IPCC (טון מתאן לשנה)

	Emission Factor	Units of measure	2020		2021	
			Gas produced (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)	Gas produced (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)
Gas Production – Offshore	2.94	Tonnes / MCM offshore gas production	15,442	45,398	19,302	56,748
Processing – Extensive LDAR	0.57	Tonnes / MCM gas produced	15,442	8,802	19,302	11,002
TOTAL IPCC production and processing (Tonnes/year)				54,200		67,750
TOTAL IPCC lower production emission factor (Tonnes/year)				36,949		46,186

▪ חישוב הפליטות בוצע בהתאם לכמות הגז שהופקה בישראל.

המקדם להפקת גז בים (offshore) הינו מקדם ממוצע של פליטת מתאן המתבסס על סקירת נתוני הפעילות האמריקאית במפרץ מקסיקו לשנת 2017. בניגוד למקדמי הפליטה מהפקה ביבשה, מקדם פליטת מתאן מהפקה בים אינו נותן מענה נפרד לפליטות הנובעות כתוצאה מטכנולוגיות מתקדמות ונהלי עבודה התורמים להפחתת פליטות, כגון שימוש במערכות ייבוש סגורות, איסור נישוח ואיסור שרפה שגריתית בלפיד. **לאור העובדה שמערכת הפקת הגז בישראל הינה חדשה יחסית והוקמה תוך יישום של טכנולוגיות מתקדמות, מוצג בחלק התחתון של טבלה 4 חישוב נוסף אשר מייצג הפחתה של המקדם הגנרי למקדם המשקלל יישום טכנולוגיות ונהלים להפחתת פליטות.** ההפחתה מתבססת על פער של 38% בין שני מקדמי הפליטה

להפקה ביבשה – מקדם אשר משקלל טכנולוגיות ונהלים המקדמים הפחתת פליטות לעומת מקדם שאינו כולל יישום פעולות כאלו (טבלה 4.2.4G להנחיות ה-IPCC).

המקדם לעיבוד הגז במקטע זה (כולל תהליכי ייבוש והפרדה נוספים בכדי שהגז יעמוד בתקן הנדרש על ידי מערכת ההולכה) שבו נעשה שימוש בחישוב זה כבר משקלל יישום של טכנולוגיות מתקדמות, כגון ביצוע תוכנית LDAR מקיפה לאיתור ותיקון דליפות.

תוצאות חישוב פליטות המתאן ממקטעי ההפקה והעיבוד באמצעות מקדמי הפליטה הגנריים (נדבך 1) גבוהות ביותר משלושה סדרי גודל מהנתונים המדווחים על ידי שברון בישראל (451 ו-321 טון מתאן, בשנים 2020 ו-2021, בהתאמה). ההבדלים נובעים מכמה סיבות:

- החישוב המופיע בטבלה 4 בוצע באמצעות מקדמי נדבך 1, ואילו הדיווחים של חברת שברון נעשים באמצעות מקדמים ספציפיים יותר המתאימים לנדבך 2 או 3 (ראו הרחבה בנושא בפרק 6 להלן).
- מקדם הפליטה הגנרי של ה-IPCC עבור הפקה בים אינו לוקח בחשבון יישום של טכנולוגיות ונהלי תפעול המפחיתים או לוכדים את פליטות המתאן הפוטנציאליות, כגון, איסור נישוב, איסור שרפה שגרתית בלפיד, מערכות ייבוש סגורות וכן דחיסה של הגז הנלכד והשבתו למערכת הגז לשם שימוש בהפעלת האסדה במקום שייפלט לאטמוספירה. עם זאת, גם חישוב באמצעות מקדם מופחת המשקלל התייחסות לטכנולוגיות מתקדמות/משופרות אינו משנה את סדר הגודל של הפליטות המחושבות בהתאם לנדבך 1 (כמודגם בשורה האחרונה בטבלה 4 לעיל).
- שיטת ה-IPCC ממליצה על חישוב נפרד עבור מקטע ההפקה בים ומקטע עיבוד הגז המופק, שכן מדובר על שתי פעולות שונות – ההפקה כוללת את פעילות הבארות ואת ההפרדה הראשונית של הפאזה הנוזלית (קונדנסט ומים) מתוך התערובת המופקת, והעיבוד כולל תהליכי ייבוש ותהליכי הפרדה נוספים בכדי שהגז יעמוד בתקן הנדרש על ידי מערכת ההולכה. יישום השיטה בישראל עלול להביא לכפילות בחישוב הפליטות היות והתהליך באסדות בישראל מבוסס על אינטגרציה של ההפקה ועיבוד הגז, אך לא ניתן לפסוח על הערכת פליטות מכל אחד מהתהליכים. בחינה מעמיקה של המערכות במקטע ההפקה והעיבוד תאפשר שיפור הערכת הפליטות בישראל באמצעות נדבכים 2 או 3.

מקטעי ההולכה והחלוקה

טבלה 5 מציגה הערכה לדליפות לא מוקדיות של מתאן במקטע ההולכה בישראל, המסתמכת על חישובים על פי המקדמים הגנריים של ה-IPCC. הטבלה מציגה שני חישובים **חלופיים**, הראשון בהתאם לכמות הגז המסופקת והשני בהתאם לאורך צנרת ההולכה.

טבלה 5: חישוב פליטות מתאן לא מוקדיות ממקטע ההולכה על פי מקדמי ה-IPCC (טון מתאן לשנה)

	Emission Factor	Units of measure	2020		2021	
			Pipeline length ¹⁷ (mile or km) / gas consumption (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)	Pipeline length (mile or km) / gas consumption (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)
Gas Transmission and Storage	1.29	Tonnes / MCM gas consumption	16,055	20,711	19,469	25,115
	2.08	Tonnes / kilometer pipeline	815	1,695	830	1,726
LNG	1,660	Per unit		1,660		1,660
TOTAL (gas consumption)				22,371		26,775
TOTAL (pipelines length)				3,355		3,386

- בצהוב – חישוב פליטות ברשת ההולכה שבוצע בהתאם לכמות הגז המסופקת דרכה.
- בכתום – חישוב פליטות ברשת ההולכה שבוצע בהתאם לאורך צנרת ההולכה.

שיטת החישוב של ה-IPCC כוללת חישוב לפי כמות הגז המסופקת בצנרת ההולכה וגם בהתאם לאורך הצנרת. החישוב עבור מקטע ההולכה בישראל על פי מקדמי ה-IPCC נמוך פי 7-8 כאשר הוא מבוצע בהתאם לאורך הצנרת לעומת חישוב בהתאם לכמות הגז המסופקת באמצעות מערכת ההולכה. החישוב שבוצע בהתאם למקדם נדבך 1 המתייחס לאורך הצנרת, גבוה פי 60 מהפליטות המדווחות בדו"ח WOOD (55.6 טון מתאן בשנת 2020). החישוב שבוצע בהתאם למקדם נדבך 1 המתייחס לכמות הגז שסופקה, גבוה פי למעלה מ-400 מהפליטות המדווחות בדו"ח WOOD.

דו"ח WOOD כולל רק תחזוקה שוטפת ותוספת רכיבים למערכת ההולכה ולא חישוב למערכת כולה, ואינו עוסק כלל במסוף ה-LNG הימי. המסוף הימי אמנם לא נמצא תחת סמכותה של נתג"ז (ולכן לא נכלל בדו"ח WOOD), אך הוא היווה בשנים 2020-2021 חלק ממערכת ההולכה בישראל, ולכן פליטות אפשריות מפעילותו צריכות להיכלל בהערכת הפליטות ממקטע זה.

הפער בין התוצאות נובע בחלקו מכך שבישראל הגז מועבר בצנרת קצרה יחסית שאינה כוללת מערכות, כגון אגירת גז טבעי, המיושמות בצנרת ארוכת טווח, שעליהן מבוססים מקדמי נדבך 1 של האו"ם. לכן, נדרשת בחינה מעמיקה של המערכות במקטע ההולכה, כולל כלל הצנרת וכן מתקני גיזוז והנזלה, במידה וקיימים, שתאפשר שיפור הערכת הפליטות בישראל באמצעות נדבכים 2 או 3.

¹⁷ נתונים לגבי אורך צנרת ההולכה לקוחים מתוך: משרד האנרגיה, רשות הגז הטבעי. סקירת ההתפתחויות במשק הגז הטבעי, סיכום לשנת 2020 ולשנת 2021.

טבלה 6 מציגה הערכת פליטות ממקטע החלוקה בישראל המסתמכת על חישובים על פי מקדמי ה-IPCC. הטבלה מציגה שני חישובים **חלופיים**, הראשון בהתאם לכמות הגז המסופקת והשני בהתאם לאורך צנרת ההולכה.

טבלה 6: חישוב פליטות מתאן לא מוקדיות ממקטע החלוקה בישראל על פי מקדמי ה-IPCC (טון מתאן לשנה)

			2020		2021	
	Emission Factor	Units of measure	Pipeline length ¹⁸ (mile or km) / gas consumption (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)	Pipeline length (mile or km) / gas consumption (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)
Gas Distribution	0.62	Tonnes / MCM gas consumption	253.81	157.4	297.1	184.2
	0.23	Tonnes / kilometer of pipeline	414	95.2	575	132.3

- בצהוב – חישוב פליטות ברשת החלוקה שבוצע בהתאם לכמות הגז המסופקת דרכה.
- בכתום – חישוב פליטות ברשת החלוקה שבוצע בהתאם לאורך צנרת החלוקה.

בישראל צנרת החלוקה הינה חדשה, עשויה ברובה פוליאיתילן וללא חיבורים מכניים, הלחצים בה נמוכים וכמות הגז העוברת בה היא בהיקף זניח (כ-2% מצריכת הגז הטבעי במשק), אך כיוון שלא קיים דיווח פומבי או תהליך מדידה כלשהו של פליטות במקטע זה, ניתן לעשות שימוש בחישוב הפליטות במקדם הגנרי של האו"ם בנדבך 1.

מקטע השימוש – אתרי ייצור חשמל ושימוש תעשייתי בגז טבעי

בהתאם להנחיות האו"ם בוצע חישוב לגבי פליטות המתאן הנובעות מדליפות שאחרי מדי הבקרה כאשר גז טבעי מועבר לאתרי ייצור חשמל ו/או לשימוש בתעשייה.

טבלה 7 מציגה הערכת פליטות לא מוקדיות ממקטע השימוש בישראל המסתמכת על חישובים על פי מקדמי ה-IPCC. לצורך החישוב נעשה שימוש בנתונים שהתקבלו מנתג"ז לגבי היקף הגז הטבעי שסופק לצרכנים השונים.

¹⁸ נתונים לגבי אורך צנרת החלוקה לקוחים מתוך: משרד האנרגיה, רשות הגז הטבעי. סקירת ההתפתחויות במשק הגז הטבעי, סיכום לשנת 2021

טבלה 7: חישוב פליטות מתאן לא מוקדיות ממקטע השימוש בישראל על פי מקדמי ה-IPCC (טון מתאן לשנה)

	Emission Factor	Units of measure	2020		2021	
			Gas consumption (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)	Gas consumption (MCM)	Israel Emissions (Tonnes/year)
Post-meter	0.4	Tonnes / MCM Non-residential and commercial gas consumed	11,516	4,606	12,001	4,800

▪ חישוב הפליטות בוצע בהתאם לכמות הגז שסופקה לצרכנים השונים.

סיכום חישוב פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל (נדבך 1)

טבלה 8 מציגה את סך פליטות המתאן המתקבלת באמצעות שתי שיטות החישוב החלופיות המשתמשות במקדמי פליטה גנריים (נדבך 1 בהתאם להנחיות האו"ם). בשיטה אחת מקדם הפליטה מוכפל בכמות הגז המסופקת בצנרת ההולכה והחלוקה (בצהוב), ואילו בשיטה השנייה מקדם הפליטה מוכפל באורך הצנרת (בכתום). בנוסף, הטבלה מציגה גם את סך פליטות המתאן הנובעות מדליפות שאחרי מדי הבקרה כאשר גז טבעי מועבר לאתרי ייצור חשמל ו/או לשימוש בתעשייה (בכחול). הנתונים משתי השיטות מציגים את פליטות המתאן הלא מוקדיות המחושבות עבור כלל המקטעים בשרשרת האספקה של הגז הטבעי, אך אינן כוללות פליטות כתוצאה מתקלות, ופליטות כתוצאה משרפת דלקים לצורך הפקת אנרגיה.

הערך הממוצע מבטא את היקף הפליטות בהתאם למקדמי הפליטה של ה-IPCC, והטווחים – טווח נמוך וטווח גבוה – מבטאים את אי הוודאות (uncertainty) בקביעת המקדמים, כפי שצוינה בטבלה 1.

טבלה 8: סך פליטות מתאן לא מוקדיות בישראל משרשרת האספקה של הגז הטבעי ושימושיו (חישוב על פי מקדמי ה-IPCC)

	2020			2021		
	טווח גבוה	טווח נמוך	ערך ממוצע	טווח גבוה	טווח נמוך	ערך ממוצע
סה"כ פליטות על פי כמות גז (טון מתאן לשנה)	93,588	62,263	76,728	115,414	76,868	94,710
סה"כ פליטות על פי אורך צנרת (טון מתאן לשנה)	68,731	47,001	57,650	84,894	58,116	71,269
פליטות משימושים נוספים (חשמל ותעשייה) (טון מתאן לשנה)	7,370	1,843	4,606	7,681	1,920	4,800

הפליטות המחושבות על פי המקדמים הגנריים של ה-IPCC (נדבך 1) גבוהות ביותר משלושה סדרי גודל (יותר מפי 100) מהנתונים המדווחים פומבית בישראל (727 טון מתאן בשנת 2021, ראו טבלה 20 להלן) – כאשר

בחלק מהמקטעים נעשה שימוש במקדמים ספציפיים יותר, אך עדיין חסר מידע מדויק יותר לגבי מקטעים או פעילויות מסוימים.

הפרק הבא יבחן את האפשרות לשפר את הערכת הפליטות על ידי יישום שיטות מנדבך 2. כפי שהוסבר בפרק המתודולוגיה בתחילת הדו"ח ניתן ליישם שיטות אלה באמצעות השימוש במקדמי פליטה אזוריים ולאומיים, של מדינות עם קווי דמיון מסוימים לישראל – מדינות אשר מפיקות גז בים בסדר גודל דומה לזה של ישראל.

5. חישוב פליטות מתאן בישראל על פי מקדמים אזוריים ומדינתיים (נדבך 2)

פרק זה מציג חישובים של פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל, שבוצעו על ידי צוות המחקר, בהסתמך על נתונים המפורסמים לציבור, וכן נתונים שהתקבלו ישירות מהחברות הרלוונטיות, וזאת בהתאם למקדמי פליטה מנדבך 2, ובתוך כך, מקדמי פליטה אזוריים, כגון מקדמי פליטה מארה"ב ומאירופה, ומקדמי פליטה מדינתיים כפי שהופיעו בדיווחי המדינות לאו"ם.

מקדמים אזוריים

טבלה 9 מציגה הערכה של פליטות מתאן במקטע ההפקה כתוצאה מנישוב, דליפות ולפידים בהתאם להיקף הפקת הגז טבעי בישראל. ההערכה אינה כוללת פליטות כתוצאה משרפת דלקים או תקלות. ההערכה מסתמכת על מקדמי פליטה שהתפרסמו במצאי הפליטות של ארה"ב לשנת 2020¹⁹, בעבור הפקת גז טבעי במים הטריטוריאליים של מדינות מפרץ מקסיקו (אסדות הממוקמות בקרבת החוף).

טבלה 9: פליטות מתאן במקטע ההפקה – השוואת חישובים על פי מקדמים אזוריים (נדבך 2)

	Emission Factor	Units of measure	2020		2021	
			Gas production (MMcf)	Israel Emissions (Tonnes/year)	Gas production (MMcf)	Israel Emissions (Tonnes/year)
US GHGI						
Vent/Leak	0.2662	Tonnes/MMcf	545,254	145,161	681,574	181,452
Flaring	0.00037	Tonnes/MMcf	545,254	203	681,574	253
TOTAL (Tonnes/year)				145,363		181,706

▪ חישוב הפליטות בוצע בהתאם לכמות הגז שהופקה בישראל.

החישוב על פי מקדמים אלו מניב הערכות גבוהות ביותר משלושה סדרי גודל מהפליטות המדווחות בישראל (451 ו-321 טון מתאן בשנים 2020 ו-2021, בהתאמה) ופי 3 מהערכות על פי מקדמי נדבך 1 של ה-IPCC (54,200 ו-67,750 טון מתאן בשנים 2020 ו-2021, בהתאמה). לפיכך המקדמים האמריקאיים הם בקצה הגבוה של התפלגות המקדמים התורמים לממוצע ה-IPCC. את הפערים בין התוצאות ניתן להסביר בחלקם בכך שבאשראי נישוב אסור, ולכן המקדם המיושם להערכת נישוב ודליפות ביחד, אינו מתאים למצב בישראל, עם זאת, גם המקדם המיושם לשרפה בלפיד, מניב תוצאה גבוהה פי 10 מחישוב הפליטות בישראל – 23 טון מתאן משרפה בלפיד בשנת 2021²⁰ (טבלה 15 להלן).

טבלה 10 מציגה שתי הערכות חלופיות, לדליפות לא מוקדיות של מתאן במקטע ההולכה בישראל, בהתאם לאורך צנרת ההולכה בישראל. ההערכה הראשונה (בחלק העליון של הטבלה) מסתמכת על מקדמי פליטה

¹⁹ EPA (2022). Annex 3.6 of USGHGI Report. <https://www.epa.gov/ghgemissions/natural-gas-and-petroleum-systems-ghg-inventory-additional-information-1990-2020-ghg>

²⁰ בשנת 2020 כ-90% מפליטות ה-flaring מקורן בתהליך ה-start up של אסדת לווייתן, פעילות חד פעמית שאינה מייצגת את אופי הפעילות השגרתית באסדה.

של צנרת הולכת גז טבעי במצאי הפליטות הלאומי בארה"ב (GHGI). ההערכה השנייה (בחלק התחתון של הטבלה) מסתמכת על מקדמים בסקירה שבוצעה על ידי איגוד חברות הולכת גז טבעי ב-28 המדינות של האיחוד האירופי (EU-28, MARCOGAZ)²¹.

טבלה 10: פליטות מתאן במקטע ההולכה – השוואת חישובים על פי מקדמים אזוריים (נדבך 2)

			2020		2021	
	Emission Factor	Units of measure	Pipeline length ²² (mile or km) / gas consumption	Israel Emissions (Tonnes/year)	Pipeline length (mile or km) / gas consumption	Israel Emissions (Tonnes/year)
US GHGI						
Pipeline leak	0.0109	Tonnes / mile of pipeline	510	5.6	520	5.7
Pipeline Venting (Maintenance & Blowdown)	0.6096	Tonnes / mile of pipeline	510	310.9	520	317
TOTAL				316.5		322.7
EU-28 (2018)						
Survey average - Method 1	0.568	Tonnes / km of pipeline	815	462.9	830	471.4

▪ חישוב הפליטות בוצע בהתאם לאורך צנרת ההולכה.

חישוב פליטות המתאן עבור מקטע ההולכה בישראל מניב תוצאות בהפרשים של כ-35-40%, בין הפליטות המחושבות על פי המקדם האמריקאי לבין הפליטות המחושבות בהתאם למקדם האירופאי. אולם תוצאות אלו הינן גבוהות פי 6-8 (בהתאמה) מהפליטות המדווחות בדו"ח WOOD (55.6 טון מתאן בשנת 2020), שכאמור, אינו נותן ביטוי מלא לפליטות ממקטע ההולכה.

טבלה 11 מציגה הערכת פליטות ממקטע החלוקה בישראל, בהתאם לאורך צנרת החלוקה, ובהסתמך על מקדם פליטה ממצאי הפליטות הלאומי בארה"ב (GHGI), שהינו מקדם פליטה ספציפי עבור צנרת מפלסטיק (בדומה למאפייני צנרת החלוקה בישראל).

²¹ Marcogaz: Survey Methane Emissions for Gas Transmission in Europe (2018).

<https://www.marcogaz.org/wp-content/uploads/2021/04/WG-ME-17-09.pdf>

²² נתונים לגבי אורך צנרת ההולכה לקוחים מתוך: משרד האנרגיה, רשות הגז הטבעי. סקירת ההתפתחויות במשק הגז הטבעי, סיכום לשנת 2020 ולשנת 2021.

טבלה 11: פליטות מתאן במקטע החלוקה – השוואת חישובים על פי מקדמים אזוריים (נדבך 2)

	Emission Factor	Units of measure	2020		2021	
			Pipeline length ²³ (mile or km) / gas consumption	Israel Emissions (Tonnes/year)	Pipeline length (mile or km) / gas consumption	Israel Emissions (Tonnes/year)
US GHGI						
Distribution mains – plastic	0.0288	Tonnes / mile of pipeline	260	7.5	360	10.4

■ חישוב הפליטות בוצע בהתאם לאורך צנרת החלוקה.

החישוב באמצעות מקדם זה מניב פליטות נמוכות, ביחס לחישוב שבוצע על פי מקדמי נדבך 1 לאורך צנרת (95 ו-132 טון מתאן לשנים 2020 ו-2021, בהתאמה). כאמור, בישראל אין כל דיווח פומבי לגבי פליטות ממערכת החלוקה. ולכן, ניתן לבצע את ההערכה על פי נדבך 1 (כפי שמובא לעיל עם נתוני ה-IPCC) או על פי נדבך 2 (כפי שמוצג עם הנתונים האמריקאיים עבור צנרת פלסטית).

מקדמים מדינתיים

בכדי לבדוק את השימוש של מקדמי הפליטה המאפיינים הפקה בים מתוך דיווחי המדינות לאו"ם²⁴, נבחרו לבחינה דיווחיהן של בריטניה, אירלנד, הולנד ונורבגיה לשנת 2020 (הדיווח האחרון שהועבר לאו"ם באפריל 2022), בדבר פליטות ממגזר הנפט והגז (מגזר 1.B.2)²⁵.

טבלה 12 מתארת את מאפייני הדיווחים של המדינות ביחס לפליטות ממגזר הגז הטבעי בלבד, ובתוך כך, כמות הגז המסופקת במדינה לעומת הכמות המיוצרת, המקור המרכזי של הפליטות המדווחות, היקף הגז המוזרם במערכת החלוקה ביחס להיקף הגז המוזרם במערכת ההולכה, וסימון המקטעים או הפעולות בגיבן דווחו פליטות – דיווח פליטות באמצעות מקדמי פליטה (מסומן כ-EF), ודיווח שבוצע ללא מקדמי פליטה מוצהרים (מסומן כ-N). בישראל, לשם השוואה, כמות הגז הטבעי המסופקת לשוק המקומי מהווה 76% מהיקף הייצור (אך מלוא היקף הייצור וכן גז שסופק באמצעות מסוף ה-LNG, מועברים דרך מערכת ההולכה). הפליטות המדווחות למפל"ס הן מאסדות ההפקה ותחנת קליטת הגז החופית באשדוד, אשר בהן מתבצעים הפקה וטיפול/עיבוד של גז טבעי. אין דיווחים למפל"ס בגין פליטות ממערכות ההולכה והחלוקה.

²³ נתונים לגבי אורך צנרת החלוקה לקוחים מתוך: משרד האנרגיה, רשות הגז הטבעי. סקירת ההתפתחויות במשק הגז הטבעי, סיכום לשנת 2021

²⁴ UNFCCC. National Inventory Submissions 2022. <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2022>

²⁵ המדינות מדווחות בהתאם למקדמי הפליטה שהן בוחרות עבור מצאי הפליטות הלאומי. המצאי מסתמך לרוב על מקדמים בנדבך 2

flare	vent	אחר	חלוקה	הולכה	עיבוד	הפקה	היקף גז בחלוקה לעומת הולכה	מקור הפליטות	כמות מסופקת לעומת כמות מיוצרת	
EF	N		EF	EF	EF	EF	זהה	88% מחלוקה	גבוהה ב-12%	בריטניה
EF	EF		EF	EF		EF	47%	80% מחלוקה	יותר מפי 3	אירלנד
N	N		EF	EF			הפליטות בחלוקה מחושבות לפי אורך צנרת	25% מהולכה, 34% מחלוקה, 41% מ-venting / flaring	גבוהה פי 4	הולנד
EF	EF	EF	EF				0.4%	כ-80% venting / flaring	קטנה מ-1%	נורבגיה

מקרא: EF – דיווח פליטות במקטע הרלוונטי בהתאם למקדמי פליטה
N – דיווח פליטות במקטע הרלוונטי ללא מקדמי פליטה מוצהרים

באמצעות הנתונים בדיווחי המדינות חושב נתון המנרמל את הפליטות ביחס להיקף הייצור בכל מדינה (טבלה 13). בנוסף, נעשה שימוש במקדמי הפליטה המשמשים במדינות השונות, לצורך הערכת היקף פליטות המתאן כאשר מיישמים את המקדמים הללו עבור היקף ההפקה בישראל (טבלה 14).

ניתן להבחין כי בבריטניה ואירלנד הפליטות המנורמלות הן הגבוהות ביותר. בשתי המדינות, מרבית הפליטות המדווחות הן בגין רשת החלוקה, וכמות הגז המסופקת דרכה היא אף גבוהה מהיקף הייצור (בגלל ייבוא גז). בישראל, לעומת זאת, היקף הגז המסופק ברשת החלוקה מהווה כ-1.6% מהיקף הייצור, ולכן חישוב היקף פליטות בישראל, בהסתמך על המקדמים הבריטיים והאיריים, אינו נותן את הערך הגבוה ביותר. אף על פי כן בחישוב הפליטות בישראל באמצעות המקדמים הבריטיים והאיריים מתקבל ערך הגבוה פי 6 מהפליטות המדווחות במפל"ס לשנת 2020 (אשר אינן כוללות פליטות מרשתות ההולכה והחלוקה).

בהולנד, 34% מהפליטות מקורן ברשת החלוקה, שכאמור מהווה רכיב זניח במשק הגז בישראל. כמו כן, פליטות אלו מחושבות לפי אורך צנרת, ושיטה זו (כפי שהדגמנו לעיל בטבלאות 5,6,8) מניבה ערכי פליטות נמוכים מחישוב על סמך כמות הגז בשימוש. בנוסף, כ-40% מהפליטות הן בגין venting ו-flaring (עבור גז ונפט ביחד), אך הן מדווחות כערך ללא ציון מקדמי פליטה ולכן לא ניתן היה לחשב פליטות דומות לגבי המערכת בישראל (כלומר, סך הפליטות המוצג הינו חלקי). מכאן נובע ש**סך הפליטות המחושבות בישראל באמצעות המקדמים ההולנדים הביא לערך הנמוך ביותר, הדומה לערך המדווח בישראל.**

הפליטה המנורמלת בנורבגיה היא הנמוכה מכל המדינות הנבחנו, שכן נורבגיה מייצאת כמעט את כל הגז הטבעי המיוצר בה והפליטות מחושבת רק בגין הגז המסופק במדינה (שימוש במקדמים הנורבגיים על כל היקף ההפקה במדינה מניב ערך הגבוה פי 73 מהפליטות המדווחות בפועל). בדיווח הנורבגי מירב הפליטות מיוחסות ל-venting, אך כיוון שמקדם הפליטה מתייחס לגז ונפט ביחד, לא נעשה בו שימוש בחישוב בישראל. לעומת זאת, המקדם שכן הניב פליטות ניכרות כאשר מיישמים אותו לנתוני ישראל מוגדר כ'אחר', ולא ניתן לדעת בוודאות מה טיבו, על אף שהוא עושה שימוש בנתון של כמות הגז המעובד. מכאן נובע ש**חישוב**

הפליטות בישראל על סמך המקדמים הנורבגיים, בהסתמך על היקף השימוש בגז בישראל, מביא לפליטה המנורמלת הגבוהה ביותר, הגבוהה פי 277 מהפליטות המדווחות בישראל.

טבלה 13: פליטות מתאן לא מוקדיות משרשרת האספקה של הגז הטבעי לשנת 2020 (דיווחים לאו"ם)

פליטות ליחידת ייצור (Tonnes) (CH ₄ / BCM)	פליטות מתאן / מדווחות / מחושבות (טון)	היקף ייצור גז טבעי ב- BCM	יחידות מידה לדיווח	היקף ייצור גז טבעי על פי הדיווח	
3,507	144,787	41.28	PJ	1,420	בריטניה
1,451	2,921	2.01	PJ	69	אירלנד
706	16,111	22.83	MCM	22,831	הולנד*
113	12,652	112.30	MCM	112,296	נורבגיה**
29	451	15.44			ישראל נתוני מפל"ס (הפקה ועיבוד בלבד)

* הנתונים ל-flaring ו-venting כוללים גם הפקת נפט
** הנתונים ל-venting כוללים גם הפקת נפט

טבלה 14: מקדמים מדינתיים שבהם נעשה שימוש לצורך חישוב פליטות בישראל

חישוב פליטות בישראל בהתאם למקדמים מדינתיים (טון מתאן לשנה)	מקדם flare	מקדם vent	מקדם 'אחר'	מקדם חלוקה	מקטע הולכה	מקטע עיבוד	מקטע הפקה	
2,987.47	12.93 kg/t			260.3 kg/GWh	6.02 kg/GWh	1,203 kg/PJ	1,182 kg/PJ	מקדמי בריטניה
2,784.52	1,000 kg/PJ	3,073 kg/PJ		23,502 kg/PJ	1,693 kg/PJ		15.88 kg/PJ	מקדמי אירלנד
755.40				43,378 kg/10 ³ km	1,331 kg/PJ			מקדמי הולנד
124,827.63	153,853 kg/PJ		234,260 kg/PJ	44,354 kg/PJ				מקדמי נורבגיה

המסקנה מתוצאות החישוב באמצעות המקדמים של מדינות שונות מצביע על העובדה שקשה לאפיין את הפליטות בישראל על סמך מקדמים של מדינות אחרות בגלל מספר סיבות:

- השוני בגיל המתקנים וכן הטכנולוגיה ושיטות התפעול המיושמות;
- היקף ההפקה במדינה לעומת יבוא ויצוא של הגז;
- נתוני הפליטות (במיוחד הפליטות משרפת גז בלפיד ומנישוב) אינם מאפשרים הפרדה בין הפליטות שהן תוצאה של הפקת נפט וגז נלווה או הפקת גז טבעי.

לפיכך יש לקדם איסוף נתונים ממוקד שיאפשר הערכת פליטות המבוססת על מקדמי פליטה מפורטים (נדבך 3) המייצגים את שיטות התפעול המיושמות בישראל.

6. חישוב פליטות מתאן בישראל על פי מקדמים מקומיים (נדבך 3)

פרק זה מציג חישובים של פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל, שבוצעו על ידי צוות המחקר, בהסתמך על מקדמי פליטה מקומיים (נדבך 3), המפורסמים או המומלצים על ידי המשרד להגנת הסביבה, נתונים המפורסמים לציבור, או נתונים שהתקבלו ישירות מהחברות הרלוונטיות.

חשוב להדגיש, מקדמי פליטה אלו נחשבים כנדבך 3 כיוון שהם אומצו על ידי המשרד להגנת הסביבה, אך מקורם הוא בקובץ מקדמי הפליטה של ארה"ב (AP-42),²⁶ המקובל בעולם כמקור אמין למקדמי פליטה ספציפיים למקורות פליטה שונים. אולם, היות ולא בוצעו בפועל בדיקות המאמתות את התאמת המקדמים למשק הגז הישראלי, ניתן לטעון שאלו למעשה מקדמים מנדבך 2.

מקטעי ההפקה והעיבוד

טבלה 15 להלן מציגה פליטות צפויות מכלל המתקנים – אסדות תמר ולווייתן ותחנות קליטת הגז החופיות באשדוד ובדור, בהתאם לחישוב שביצע צוות המחקר, ובהסתמך על נתונים שהתקבלו ישירות מחברת שברון ועל פי מקדמי הפליטה המומלצים על פי השיטות לחישוב פליטות והעברות לסביבה במפל"ס²⁷.

כמות הרכיבים במתקנים ששימשה לצורך חישוב דליפות מבוססת על הערכה שבוצעה על פי תרשימים (P&ID) כהערכה שמרנית באמצעות חברת The Sniffers המבצעת את הסקירות התקופתיות לאיתור הדליפות. כיום, פועלים בחברת שברון, למיפוי של הרכיבים בפועל, וההערכה שלהם היא כי כמות הרכיבים שתתקבל תהיה נמוכה יותר מההערכה השמרנית. בנוסף, חשוב לציין שהסקר המבוצע באמצעות המצלמה התרמית מתייחס לכלל הצינורות של הגז טבעי במתקנים, בהתאם לנדרש בהיתרי הפליטה ובהתאם לתוכנית שאושרה על ידי המשרד להגנת הסביבה²⁸.

²⁶ EPA. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>

²⁷ המשרד להגנת הסביבה. שיטות לחישוב פליטות והעברות לסביבה במפל"ס. https://www.gov.il/he/departments/general/calculation_methodology

²⁸ חשוב להדגיש, שצוות המחקר אינו יכול לאמת את המידע שנמסר על ידי שברון.

טבלה 15: חישוב פליטות מתאן במקטע ההפקה והעיבוד בישראל על פי נתונים מקומיים (טון מתאן לשנה)

	2020	2021
Combustion	2.06	2.93
Flares	*253.38	22.97
Malfunction	26.81	11.09
Fugitive emissions platforms	75.25	90.01
Fugitive emissions receiving stations	11.43	119.12
TOTAL (Tonnes/year)	368.93	246.12

* פליטות אלו כוללות כ-226 טון מתאן שנשלחו ללפידים ונושבו ללא שרפה במסגרת תהליך start up מתוכנן של אסדת לווייתן. מדובר על פעילות חד פעמית שאינה מייצגת את אופי הפעילות השגרתית באסדה.

- i. **חישוב פליטות כתוצאה משרפת דלקים (Combustion)** – החישוב בוצע על סמך צריכת מקורות האנרגיה (גז טבעי וסולר) במתקנים השונים (תמר, לווייתן ואשדוד) כפי שהתקבלה משברון, ועל סמך מקדמי הפליטה במחשבון לחישוב פליטות לאוויר משרפת דלקים, של המשרד להגנת הסביבה.
- ii. **חישוב פליטות כתוצאה מ-flare** – החישוב בוצע על סמך כמות הגז שנשרפה בפילוטרים, וכמות הגז שנשלחה ללפידים (באסדות תמר ולווייתן), כפי שהתקבלו משברון, בהתבסס על יעילות שרפה של 98% המוצהרת על ידי היצרן.
- iii. **היקף הפליטות כתוצאה מתקלות (Malfunction)**, כפי שהופיע בדיווחים למפל"ס.
- iv. **חישוב פליטות לא מוקדיות מרכיבי ציוד באסדות תמר ולווייתן** – החישוב בוצע בהסתמך על כמות רכיבי הציוד ועל היקף הדליפות שאותרו ברכיבי הציוד באמצעות מצלמה תרמית, בכמה מועדים (3 קמפיינים בתמר ב-2020, 2 קמפיינים בתמר ב-2021, ובלווייתן ב-2020 וב-2021) שבהם נעשתה בדיקה, ועל מקדמי פליטה שמרניים²⁹ של השותפות הבין-לאומית לשינויי אקלים ואוויר נקי – CCAC³⁰ (המומלצים על ידי החברה שמבצעת את הבדיקות באמצעות המצלמה התרמית, וכן על ידי המשרד להגנת הסביבה).
- v. **חישוב פליטות לא מוקדיות מרכיבי ציוד בתחנות הקליטה החופיות באשדוד ובדור** – לגבי תחנת הקליטה בחוף דור (לגבי השנים 2020 ו-2021) ולגבי תחנת הקליטה באשדוד (לגבי שנת 2020), החישוב בוצע בהסתמך על כמות רכיבי הציוד ועל היקף הדליפות שאותרו ברכיבי הציוד באמצעות מצלמה תרמית, בשני מועדים שבהם נעשתה בדיקה, ועל מקדמי פליטה של השותפות הבין-לאומית לשינויי אקלים ואוויר נקי – CCAC. בשנת 2021 לא בוצעה בתחנת הקליטה באשדוד בדיקה באמצעות מצלמה תרמית, אלא בוצע סקר LDAR, ולכן החישוב בוצע בהסתמך על כמות רכיבי הציוד ועל סמך מקדמי הפליטה הממוצעים עבור הפאזה הגזית לגבי מתקני הפקת גז ונפט, טבלה 8 בהוראות לקביעת שיטת חישוב מיטבית לפליטות והעברות לסביבה (2021), והשלמה ממקדמי EPA.

²⁹ החישוב בוצע עם מקדמי פליטה מחמירים של 60 גר'/שעה.

³⁰ CCAC O&G Methane Partnership (2017). Technical Guidance Document Number 2: Fugitive Component and Equipment Leaks. Table 2.7 (Use factors that are based on camera sensitivity of 60g/hour). <https://www.ccacoalition.org/en/resources/technical-guidance-document-number-2-fugitive-component-and-equipment-leaks>

הפליטות שחושבו על ידי צוות המחקר, בהתבסס על נתוני חברת שברון, הינן נמוכות בכ-20% מהפליטות המדווחות על ידי חברת שברון למפל"ס – בשנת 2020 חישוב הפליטות על ידי הצוות הסתכם ב-368.93 טון מתאן (לעומת 451.26 טון בדיווח למפל"ס – ראו לעיל טבלה 2), ואילו בשנת 2021 חישוב הפליטות על ידי הצוות הסתכם ב-246.12 טון מתאן (לעומת 321.15 טון בדיווח למפל"ס).

מקטעי ההולכה והחלוקה

מחשבוני המשרד להגנת הסביבה אינם כוללים מקדמי פליטה מקומיים ייעודיים למקטעי ההולכה והחלוקה, למעט מקדמי פליטה בגין שרפת דלקים אשר ניתן לעשות בהם שימוש גם במקטעים אלו.

טבלה 16 מציגה חישוב שביצע צוות המחקר בהתאם למקדמי הפליטה ונתוני החישוב ההנדסי של פליטות מתאן לשנת 2020 כפי שהופיעו בדו"ח של WOOD. הטבלה גם מציגה הערכה של הפליטות עבור שנת 2021. החישובים המופיעים בטבלה מציגים את חישוב הפליטות מהצנרת על פי נתוני רכיבי הציוד שסופקו על ידי נתג"ז, בהתאם למה שבוצע בפועל בשנים 2020-2021. זאת הסיבה שהיקף הפליטות המחושב אינו זהה להיקף הפליטות המחושב על פי דו"ח WOOD (79,611 למול 77,575 מ"ק, בהתאמה), אך הוא דומה מאוד. בנוסף, דליפות ממתקן פלמחים, כפי שהוערכו בדו"ח WOOD, שימשו לצורך הערכת הפליטות בפלמחים ובחוף דור בשנת 2021. נציין כי ההערכה של הדליפות מאתר פלמחים היתה חד פעמית ולא במסגרת סקירות תקופתיות של דליפות.

עם זאת, הדו"ח של WOOD מציג רק פליטות הקשורות להוספת ציוד וחלקי צנרת, כמו גם לפליטות כתוצאה מפעולות תחזוקה של ה-PRMS והצנרת. אמנם צנרת מערכת ההולכה בישראל עשויה מפלדת אל-חלד עם מערכת הגנה קתודית, ורובה מרותכת, כך שיש פחות סיכויים לדליפות, אולם, בכל מקום בו ישנם מחברים נדרשת סקירת דליפות תקופתית. על פי נתג"ז סקירות כאלו מבוצעות על ידי החברה³¹.

נהלי נתג"ז אינם כוללים בדיקה ישירה של פליטות המתאן מרכיבי הציוד של המערכת. תקינות מערכות המדידה של הגז הטבעי – וחוסר אובדנים במערכת – נבדקים באמצעות שני מונים המותקנים בטור, בכל אתר, והמשמשים לבקרה על תקינות הציוד. המעקב השוטף על נתוני המדידה והפערים בין כל צמדי מונים מאפשר לוודא באופן שוטף כי אין חריגה מהסף שנקבע בתקן לכיול המונים ומכשור נלווה במערכת ההולכה. אולם נוהל זה אינו מאפשר איסוף נתונים המתאימים לכימות פליטות מתאן לאטמוספירה.

הדו"ח של WOOD אינו כולל התייחסות לפליטות מתאן מהפעלת מחממים לאורך צנרת ההולכה.

³¹ התייחסות נתג"ז לדו"ח זה כפי שהתקבלה במייל משלומי זעירא, סמנכ"ל תפעול בנתג"ז, ביום 3/5/23.

טבלה 16: פליטות מתאן במקטע ההולכה – חישובים בהסתמך על דו"ח WOOD

Source	Emissions Factor	Units of Measure	2020		2021		הערות
			Number	Emissions (CM)	Number	Emissions (CM)	
PRMS Maintenance - total gas release	1,046	CM/year	39	40,794	41	42,886	
Gas Release In-Line Pipeline Inspection				3,321		3,321	
18 inch pipeline	473	CM/year					
24 inch pipeline	1,009	CM/year					
30 inch pipeline	1,839	CM/year					
New Pipelines PRMS Commissioning	159	CM/year	2	318	2	318	
New Pipelines Hot Tie-In Connections				2,958		2,958	assumes 2 connections per year for each pipeline diameter
18 inch pipeline	142	CM/year					
24 inch pipeline	252	CM/year					
30 inch pipeline	1,051	CM/year					
36 inch pipeline	1,513	CM/year					
Gas Release from System Isolation Boundary	51	CM / boundary / year	30	1,530	30	1,530	assumes checks at 30 locations per year
Gas Release from Pipeline Purging	2,764	CM/vent	3	8,292	3	8,292	3 new pipelines segments commissioned per year
Subtotal Commissioning Activities				57,213		59,305	
Spurious Emissions PRMS	30	CM/Year	1	30	1	30	
Valve stations	11	CM/year	1	11	1	11	
Palmahim annual leakage*	11,357	CM/Year	1	11,357	1	11,357	
Hof Dor annual leakage	11,000	CM/Year	1	11,000	1	11,000	Estimate based on Palmahim
Subtotal Spurious Emissions				22,398		22,398	
TOTAL (CM/year)				79,611		81,703	
TOTAL (Tonnes/year)**				57.1		58.6	

* מאחר ואין בידינו נתונים לגבי אפיון הדליפות באתר פלמחים או מידע שהתקלה אותרה וטופלה, ההנחה שלנו היא כי דליפה כזו התרחשה גם ב-2020 וגם ב-2021.

** צפיפות המתאן (Methane density): 0.717 Kg/CM

חישוב נוסף שבוצע מתייחס לפליטות מצריכת גז טבעי לשם הפעלת מחממים וגנרטורים לאורך צנרת ההולכה, והוא מסתמך על מידע שהתקבל מנתג"ז לגבי היקף הגז שנצרך במחממים (645,000 mmBTU), ומקדם פליטה על פי המחשבון לחישוב פליטות לאוויר משרפת דלקים, של המשרד להגנת הסביבה, **ומסתכם בפליטה של 0.61 טון מתאן בשנת 2020** (לא התקבלו מנתג"ז נתונים מקבילים לגבי שנת 2021).

טבלה 17 להלן מציגה את סיכום חישובי הפליטות ממקטע ההולכה בישראל מתוך הנחה ששיעור הגז הטבעי לצריכה עצמית מסך כמות הגז הטבעי שסופק במערכת ההולכה הארצית ב-2021 זהה לזה שבשנת 2020.

טבלה 17: חישוב פליטות מתאן במקטע ההולכה בישראל על פי נתונים מקומיים (טון מתאן לשנה)

2020	2021	
57.1	58.6	פליטות הקשורות להוספת ציוד וחלקי צנרת, ולפעולות תחזוקה (בהסתמך על דו"ח WOOD)
0.61	0.73	פליטות כתוצאה מהפעלת מחממים
57.71	59.33	סה"כ (טון מתאן לשנה)

חשוב להדגיש כי סך הפליטות המוצגות בטבלה 17 אינו כולל הערכת פליטות התלויות במכשור העזר (מחברים, אוגנים, ברזים, וסתים פניאומטיים וכדומה) לתפעול המצוי לאורך צנרת ההולכה, ולא פליטות ממסוף ה-LNG הימי.

בנוסף, אין בישראל כל מידע לגבי פליטות ברשתות החלוקה. מקטע זה מהווה רק כ-2% מסך צריכת הגז המקומית, ולכן הוחלט ברשות הגז להתייחס לפליטות הנובעות ממנו כזניחות. ניתן לבצע את הערכת הפליטות ממקטע זה באמצעות מקדמים על פי נדבך 1 (כפי שמובא לעיל בטבלה 6) או על פי נדבך 2 (כפי שמוצג בטבלה 11).

מקטע השימוש – שימוש בגז טבעי באתרי ייצור חשמל, בתעשייה ובאמצעות רשתות החלוקה

שרפת גז טבעי בדוודים ובטורבינות אינה שרפה מושלמת, וכתוצאה מכך התהליך כרוך בפליטות מתאן. טבלה 18 להלן מציגה פליטות צפויים משרפת גז טבעי במקטע השימוש, בהתאם לחישוב שביצע צוות המחקר, ובהסתמך על נתונים שהתקבלו מנתג"ז על היקף הגז הטבעי שסופק למשתמשים השונים (תחנות כוח גזיות, מפעלים תעשייתיים וצרכני גז טבעי באמצעות רשתות החלוקה), ועל פי מקדמי הפליטה במחשבון לחישוב פליטות לאוויר משרפת דלקים, של המשרד להגנת הסביבה.

טבלה 18: חישוב פליטות מתאן משרפת גז טבעי במקטע השימוש בישראל על פי נתונים מקומיים (טון מתאן לשנה)

2020	2021	
317.7	332.2	פליטות מתחנות כוח גזיות
76.1	78.2	פליטות ממפעלים תעשייתיים
8.7	10.2	פליטות משתמשים ברשתות החלוקה
402.5	420.6	סה"כ (טון מתאן לשנה)

פליטות המתאן משרפת גז טבעי בתחנות כוח ומפעלים תעשייתיים (שתי השורות הראשונות בטבלה) שהתקבלו בחישובי הצוות מסתכמות ב-394, ו-410 טון מתאן לשנים 2020 ו-2021, בהתאמה. **היקף פליטות גבוה בכ-20% מהפליטות המדווחות במפל"ס על ידי משתמשים אלו** (331 ו-350 טון מתאן בשנים 2020 ו-2021, בהתאמה – ראו לעיל טבלה 3)³².

חשוב להדגיש, סך הפליטות המוצגות בטבלה 18 אינו כולל התייחסות לפליטות לא מוקדיות או פליטות כתוצאות מתקלות במקטע השימוש, היבטים שהינם בעלי פוטנציאל פליטות משמעותי שכיום לא מכומת. יש לתת את הדעת על כך שמצאי הפליטות הלאומי המבוצע על ידי הלמ"ס³³ כולל כבר התייחסות לפליטות מתאן כתוצאה משרפת דלקים, ולכן יש לוודא שלא נעשית מנייה כפולה של פליטות אלו.

סיכום חישוב פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל (נדבך 3)

טבלה 19 להלן מציגה את סיכום חישובי הפליטות מכלל שרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל, כפי שהוצגו לעיל בטבלאות 15, 17 ו-18.

טבלה 19: סיכום חישוב פליטות מתאן משרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל על פי נתונים מקומיים (טון מתאן לשנה)

2020	2021	
368.93	246.12	פליטות ממקטעי ההפקה והעיבוד
57.71	59.33	פליטות ממקטע ההולכה
402.5	420.6	פליטות ממקטע השימוש
829.14	726.05	סה"כ (טון מתאן לשנה)

פליטות המתאן המוצגות בטבלה 19 אינן כוללות הערכת פליטות התלויות במכשור העזר (מחברים, אוגנים, ברזים, וסתים פניאומטיים וכדומה) **לתפעול המצוי לאורך צנרת ההולכה ופליטות ממסוף ה-LNG הימי**³⁴, ואינן כוללות הערכת פליטות מרשתות החלוקה. כמו כן, הפליטות ממקטע השימוש אינן כוללות התייחסות לפליטות לא מוקדיות או פליטות כתוצאה מתקלות. פערים אלו נובעים מהיעדר מידע המאפשר כימות פליטות בהתאם לנדבך 3.

³² ההשוואה מתייחסת רק לתחנות כוח ומפעלים תעשייתיים (ארגונים המדווחים למפל"ס), ולא למקטע החלוקה שאינו מחויב בדיווח למפל"ס. כמו כן, חישובי צוות המחקר (המוצגים בטבלה 18) כוללים פליטות מתאן משרפת גז טבעי בלבד, ואילו הנתונים המדווחים במפל"ס כוללים פליטות מתאן משרפת מגוון דלקים.

³³ UNFCCC. Israel National GHG Inventory 2021. <https://unfccc.int/documents/370343>

³⁴ המסוף הימי פעל בשנים 2013-2022.

7. סיכום הממצאים

טבלה 20 להלן מציגה את דיווחי הפליטות בישראל ואת סיכום חישובי הפליטות מכלל שרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל, בנדבכים השונים, **לשנת 2021**, כפי שהוצגו בפרקים הקודמים של עבודה זו.

הפליטות המדווחות כוללות את הדיווחים למפל"ס, וממצאי דו"ח WOOD. הנתונים המקומיים לגבי מקטע ההולכה והשימוש הינם חלקיים, ואילו לגבי מקטע החלוקה אין כלל נתונים פומביים לגבי פליטות.

הפליטות בנדבך 1 מתארות חישוב בהתאם למקדמים הממוצעים של ה-IPCC לפליטות לא מוקדיות (בלי להתייחס לטווחי אי הוודאות המפורטים בטבלה 1). במקטע ההפקה והעיבוד מתוארות הפליטות בהתאם למקדם ההפקה בים, וכן למקדם מופחת שמשקלל התייחסות לטכנולוגיות דלות פליטה. במקטעי ההולכה והחלוקה מתוארות הפליטות הן בהתאם לכמות הגז המסופק דרך הצנרות והן בהתאם לאורך הצנרות. במקטע השימוש מתוארות הפליטות בהתאם לכמות הגז שסופקה.

הפליטות בנדבך 2 מתארות חישוב בהתאם למקדמים אזוריים ומדינתיים לפליטות לא מוקדיות. לגבי פליטות מתקלות אין אחידות בגישות הננקטות. בארה"ב, למשל, סך הפליטות הלא מוקדיות כוללות נתוני תקלות, ואילו מדינות אחרות אינן אוספות נתוני פליטה כתוצאה מתקלות. בכל המקרים, החישוב אינו כולל פליטות בגין שרפת דלקים המחושבים בנפרד מנתוני המקרו של המדינה עבור צריכת דלקים. במקטע ההפקה והעיבוד מוצגות הפליטות בהתאם למקדם אמריקאי. במקטע ההולכה מוצגות הפליטות בהתאם למקדם אמריקאי (ערך נמוך) ולמקדם אירופאי (ערך גבוה). במקטע החלוקה מוצגות הפליטות בהתאם למקדם אמריקאי. בסך כל הפליטות מוצג סך הפליטות בהתאם למקטעים השונים שהוצגו, וכן טווח פליטות מחושבות בישראל ב-2021, בהתאם למקדמי פליטה של ארבע מדינות בדיווחיהן לאו"ם (הולנד, אירלנד, בריטניה ונורבגיה).

הפליטות בנדבך 3 מתארות חישוב בהתאם למקדמים המפורסמים או מומלצים על ידי המשרד להגנת הסביבה, ובהסתמך על נתונים או דיווחים של החברות המפעילות. במקטע ההפקה והעיבוד מוצגות פליטות לא מוקדיות, פליטות מתקלות ופליטות כתוצאה משרפת דלקים, באסדות הימיות ובמתקן הקליטה באשדוד. במקטע ההולכה מוצגות פליטות (לא מוקדיות ומתקלות) חלקיות הקשורות לתחזוקה ולהוספת ציוד, אך לא פליטות התלויות בהפעלת ציוד לאורך הצנרת (מחברים, אוגנים, ברזים, וסתים פניאומטיים וכדומה), או פליטות ממסוף ה-LNG. כן נכללות בחישוב פליטות כתוצאה משרפת דלקים. במקטע השימוש מוצגות פליטות כתוצאה משרפת גז טבעי בלבד בהתאם להיקף הגז שסופק למשתמשי הקצה.

טבלה 20: פליטות מתאן בישראל ב-2021 – דיווחים מקומיים וחישובים על פי נדבכים שונים (טון מתאן)

סך הכול	שימוש	חלוקה	מסוף ימי	הולכה	הפקה ועיבוד (לוויתן, תמר, AOT)	
727	350 ³	-	-	56 (חלקי)	321 ^{3 2 1}	פליטות מדווחות
54,504-99,509	4,800 ¹	בהתאם לכמות הגז ¹ 184 בהתאם לאורך צנרת ¹ 132	1,660 ¹	בהתאם לכמות הגז ¹ 25,115 בהתאם לאורך צנרת ¹ 1,726	מקדם כללי ¹ 67,750 מקדם דל פליטות ¹ 46,186	חישוב נדבך 1 ערכים ממוצעים
182,039-182,187		10 ^{2 1}		323-471 ¹	181,706 ¹	חישוב נדבך 2 מקדמים אזוריים
927-3,641 ⁴		25-821 ¹		891-1,236 ¹	11-1,584 ¹	חישוב נדבך 2 מקדמים מדינתיים
726	421 ³			59 (חלקי)	246 ^{3 2 1}	חישוב נדבך 3
7,187	4,800	10	1,660	471	246	אומדן פליטות על פי עבודה זו (בהתאם לנדבך)

מקרא:

¹ כולל פליטות לא מוקדיות.

² כולל פליטות מתקלות.

³ כולל פליטות משרפת דלקים.

⁴ הפער בין הפירוט במקטעים השונים לסך הכול, נובע מכך שבמקרים מסוימים לא היה דיווח תחת כל המקטעים (למשל, הפליטות במקטע ההפקה הופיעו תחת קטגוריה אחרת) – במקרה זה הטווח התחתון שמוצג במקטע הוא לפי המקרה שבו דווח ההיקף הנמוך ביותר (ולא אפס). בנוסף, במקרה אחר הפליטות מדווחות תחת קטגוריית 'אחר' – מקרה זה לא שויך לפליטות תחת המקטעים השונים, אך סך הפליטות המדווחות מוצגות בעמודת 'סך הכול'.

מקדמים שבהם נעשה שימוש בחישובי הצוות מסומנים בהתאם למידת ההתאמה שלהם למשק הישראלי – תאים בעלי רקע ירוק כוללים מקדמים ברמת התאמה גבוהה, רקע צהוב מסמן רמת התאמה בינונית, ורקע אדום מסמן רמת התאמה נמוכה.

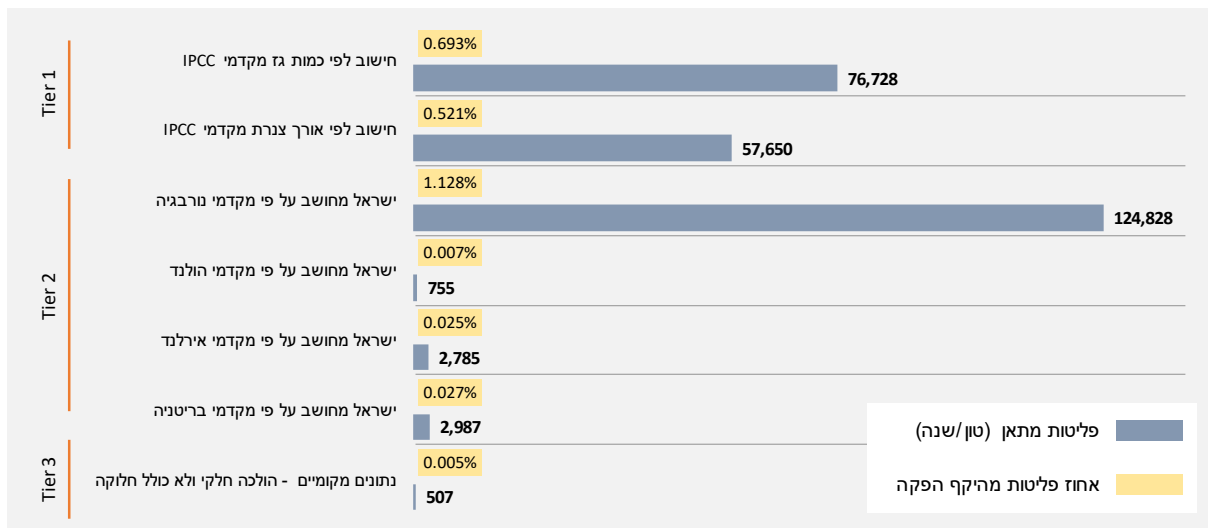
הנתונים בטבלה מתייחסים לשנת 2021, וכאמור, המסוף הימי פעל בשנה זו, אך הפסיק פעולתו ב-2022.

הניסיון להשתמש בנתונים מקומיים לגבי פליטות משרשרת האספקה של הגז הטבעי נתקל בקושי בשל היעדר מידע מלא לגבי מאפייני מערכת הגז הטבעי ותפקודה, כך למשל:

- אין דיווח פליטות נפרד לגבי תחנת הפחתת הלחץ בחוף דור. נתון זה לא נדרש מהתחנות, אולם קיומו עשוי לשפר את איכות המידע הנאסף;

- הדו"ח של WOOD מציג רק פליטות הקשורות לתחזוקה ולהוספת ציוד וקטעי צנרת אבל אינו כולל הערכת פליטות התלויות בהפעלת המכשור (מחברים, אוגנים, ברזים, וסתים פניאומטיים וכדומה) לאורך הצנרת;
- לגבי פליטות מתאן מהפעלת מחממים וגרטורים לאורך צנרת ההולכה – לא התקבל מידע לגבי אחוז הצריכה העצמית של גז טבעי בשנת 2021;
- לא התקבל כל מידע ישראלי לגבי פליטות ממסוף ה-LNG הימי;
- לא קיים מידע מקומי בישראל לגבי פליטות ממערכת החלוקה, אלא הוחלט שהן זניחות בשל היקף הגז הנמוך המועבר דרכה (כ-2%).

איור 3 מרכז את הממצאים השונים שהוצגו במסמך זה לגבי פליטות בשנת 2020 (לא כולל מקטע השימוש), ומצביע על הפערים בין החישובים המתבססים על מקדמי הפליטה השונים. הפליטות המוצגות בנדבכים 1 ו-2, מתייחסות למקטעי ההפקה, העיבוד, ההולכה והחלוקה. הפליטות המוצגות בנדבך 3 (הנתונים המקומיים) אינן כוללות את מקטע החלוקה כלל (וכוללות נתונים חלקיים לגבי מקטע ההולכה). בבחול מוצגות הפליטות השנתיות בטווח – הפליטות בנדבך 1 הינן פליטות לא מוקדיות בלבד, הפליטות בנדבך 2 כוללות גם פליטות כתוצאה מתקלות, והפליטות בנדבך 3 (נתונים מדווחים בישראל) כוללות לגבי מקטעי ההפקה והעיבוד פליטות לא מוקדיות, פליטות כתוצאה מתקלות ופליטות משרפת דלקים, ואילו במקטע ההולכה ישנם נתונים חלקיים בלבד. בצהוב מוצגת עצימות הפליטות המשקפת את היקף הפליטות ביחס להיקף ההפקה. כפי שהצגנו בעבודה קודמת³⁵, עצימות הפליטות העולמית הממוצעת עומדת על 1.7%, ואילו מחקרים חדשים מבריטניה וארה"ב הציגו עצימות של 0.04-1.4% ו-2.9%, בהתאמה (ראו נספח).



איור 3: פליטות בישראל בשנת 2020 בהתאם למקורות וחישובים שונים

ניתן לראות שישנם פערים בין דיווחי הפליטות בישראל לבין חישובים שבוצעו בהתאם למקדמים ממקורות שונים. נקודה זאת מדגישה ששימוש במקדמים של פליטות המקובלים בארגונים בין-לאומיים ובמדינות אחרות לא יכולים לתת מענה חד משמעי להערכת היקף הפליטות בישראל, שכן מאפייני תעשיית הגז הטבעי

³⁵ אילון אופירה, לב-און מרים, לב-און פרי, שפירא נעמה. סקר היתכנות - אומדן הפחת של גז טבעי בשרשרת האספקה מהבאר לרכב עבור דלקים מבוססי גז חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2020.

<https://www.neaman.org.il/Assessment-of-Natural-Gas-Loss-from-the-Well-to-Tank-Supply-Chain-of-Natural-Gas-Based-Transportation-Fuels>

שונים באופן מהותי בין מדינה למדינה – הן בשל גיל המתקנים, השיטות והחומרים המשמשים בבנייתם, והן בשל הטכנולוגיות ואמצעי הבקרה המיושמים בהם.

כמו כן, מחקרים שמבוצעים בשנים האחרונות במדינות אשר מפיקות גז טבעי, ואשר מיישמים טכנולוגיות ואסטרטגיות מדידה לאימות חישובי מצאי הפליטה, מוצאים פערים בין הפליטות הנמדדות לבין הדיווחים במצאי הפליטות הלאומיים – לעיתים הפליטות המדווחות קטנות מהפליטות הנמדדות, כך למשל, בבריטניה ובארה"ב נמצא כי מצאי הפליטות ה"אמיתי", הלוקח בחשבון את כל הפליטות, הוא למעלה מפי שניים מזה המופיע במצאי הפליטות הרשמי. מאידך, לעיתים הפליטות המדווחות גבוהות מהפליטות הנמדדות, לדוגמה במקסיקו נמצא כי תוצאות המדידות היו נמוכות בסדר גודל מההערכות הניתנות במצאי הפליטות הלאומי עבור הפקה בים המשתמש במקדמי פליטה של ברירת המחדל בנדבך 1 (להרחבה ראו את הדוגמאות בנספח).

כפי שצינו לעיל, סוגי הנתונים העיקריים הנחוצים לשם הערכת הפליטות בנדבך 3 כוללים:

1. הערכת הפליטות מכל מתקן רלוונטי, כולל סוג וכמות הציוד או יחידות התפעול בכל מתקן וטכנולוגיות עיקריות המיושמות לבקרת פליטות (למשל, השבת אדים, שרפת עודפי גז וכו').
2. מצאי בארות הפקה ומתקני שדה לקליטה או טיפול בגז (כגון, ייבוש גז, מחממי קו, וכו').
3. ניתוח השימוש בלפידים, נישוב גזים ואפיון תכולת תרכובות הפחמן השונות בגזים המעובדים.
4. דיווחים על שחרור גז לאטמוספירה עקב שחרור לחצים או קרעים בצנרת.
5. מקדמי פליטה ספציפיים למדינה עבור דליפות מרכיבי ציוד, נישוב ושרפת גז בלפידים.

כדי לאמת את הפער בין סדרי הגודל השונים של הפליטות אשר חושבו במחקר זה, נדרשת בדיקה שקופה, מקיפה ועצמאית של המרכיבים השונים של הציוד והיקף הפעילות עבור כל המקטעים בשרשרת אספקת הגז הטבעי בישראל והיקף הפליטות הנגזר מהם.

יש לבחון לגבי כל מקטע בשרשרת האספקה של הגז הטבעי מהן השיטות הנכונות (בהתאם לנדבכים השונים) לצורך חישוב הפליטות מאותו מקטע, בהסתמך על תהליך קבלת החלטה המומלץ על ידי האו"ם, כפי שהוא מתואר באיור 2, ובהתאם לכך, לפעול לאיסוף המידע החסר הרלוונטי ליישום השיטה.

כאשר הפער בין הנתונים המקומיים לחישובים על פי נדבכים 1 או 2 הוא גדול, למשל, במקטעי ההפקה והעיבוד וההולכה, יש לשאוף לבסס ולטייב את החישוב בהתאם לנדבך 3 על ידי איסוף נתונים מפורטים ואימותם באמצעות גורם מקצועי בלתי תלוי. כאשר חסרים נתונים מקומיים ומדובר על מקטע בעל השפעה זניחה על מצאי הפליטות הלאומי, למשל, במקטע החלוקה, ניתן לעשות שימוש בשיטות על פי נדבך 1.

8. שיטות זיהוי וכימות פליטות מתאן בשרשרת האספקה של הגז טבעי

בשנים האחרונות נערכו מספר רב של מחקרים לשיפור טכנולוגיות לאיתור וכימות פליטות מתאן. כתוצאה מכך, יש כיום היצע רחב של פתרונות טכניים לזיהוי פליטות מתאן ולכימותן. פרק זה כולל סקירה קצרה של טכנולוגיות לזיהוי דליפות מתאן ולכימותן המבוססות על הנחיות של CCAC והסוכנות להגנת הסביבה של ארצות הברית³⁶, ולאחר מכן מובאת השוואה בין התקני מדידה שונים.

הטכנולוגיות המנויות בטבלה 21 שלהלן הן טכנולוגיות בשלות לזיהוי דליפות הנמצאות בשימוש בתנאי שדה במגזר הנפט והגז, וביניהן:

1. הדמיה אופטית במצלמת אור אינפרה אדום (מצלמה תרמית);
2. קרן לייזר הפועלת עם דיודה אינפרה אדומה ומוחזרת מהאטמוספירה;
3. גלאים של ייבון בלהבה עבור חומרים אורגניים נדיפים;
4. ספקטרומטרים מוטסים הפעילים בתחום האינפרה אדום.

שיטת העבודה כוללת אפיון רכיבי הציוד הדולפים באתר היעד ואז יישום תהליך של כימות הפליטות באחת משיטות הכימות המפורטות בטבלה 22. בגלל השוני בין סף הזיהוי של השיטות השונות מומלץ להשתמש בשתי שיטות זיהוי באופן סימולטני באותו אתר ורק אז לכמת את הפליטות מרכיבי הציוד שנמצאו דולפים בכל אחת מהשיטות.

לדוגמה, בעת השימוש במצלמה תרמית מאפיינים פליטות הגבוהות יחסית לעומת אלו המזוהות בגלאים אורגניים נדיפים. אולם, כאשר מכמתים את הפליטות עבור כל אחת משיטות הזיהוי מתברר שסך פליטת המתאן המכוממתת היא כמעט זהה.

יש להדגיש כי בדיקות אלו צריכות להיעשות על ידי גוף בלתי תלוי בפיקוח הרגולטור.

³⁶ CCAC. CCAC Oil and Gas Methane Partnership: Methane Emissions Detection and Measurement Techniques, Equipment and Costs. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-04/documents/mon7ccacemissurvey.pdf>

שיטות זיהוי

טבלה 21: טכנולוגיות לזיהוי דליפות מתאן

שם הטכנולוגיה	צורת היישום	אפשרות ותנאים ליישום	שיקולי עלות (הקמה, תפעול, אורך חיים)
הדמיה אופטית במצלמת אור אינפרה-אדום Optical Gas Imaging ^{37 38}	צילום באופן ידני או מרחוק.	זיהוי מקור הפליטה במרחק אופטימלי של 1-3 מטר מהמצלמה, ובמרחב הנקי ממכשולים לתצפית. ניתן להפעלה עד מרחק של 200 מטר, בפליטות נרחבות. מזהה תוך כשעה סוגים שונים של פחמימנים (hydrocarbon) במאות מקומות דליפה מהצידוד. לזיהוי ודאי של מתאן – נדרש יישום של פילטר ברוחב הפס של בליעת קרינה אינפרה אדומה הספציפית למתאן. ניתן ליישום באזורים חמים וקרים, אך תנאי מזג אוויר כגון רוחות גבוהות וחושך ישפיעו על איכות הסריקה ועל ריכוז הסף לאיתור דליפות.	עלות גבוהה ברכישת המצלמה ותפעולה. קיים סיכון לשלמות המצלמה עקב חשיפה של סוללות המצלמה לכמות פליטות גבוהה במיוחד.
קרוני לייזר לחישה מרחוק Remote Methane Leak Detector ^{39 40}	ניטור מרחוק באמצעות קרוני לייזר מדיודה של אור אינפרה אדום החוזר למצלמה מהמטרה הנבחנת.	מכשיר נייד או קבוע בו הקרוני בודקת אזור אליו היא מכוונת, והאור שמוחזר מנתח בהתאם למרחק ומספק מידע לגבי ריכוז מתאן למטר מרובע (ppm-m). המכשיר מנתח תוך כשעה מידע של מאות מיקומים, אך לא מצביע על מיקום מדויק של מקור הפליטה לאורך מסלול הקרוני. לכן נדרשות מספר בדיקות מזוויות שונות להבנת המיקום של מקור הפליטה. ניתן לשימוש בתנאים שונים של טמפרטורה ולחות. מכשיר בטוח לשימוש לפי תו תקן וללא סיכון.	מחיר המכשיר נמוך יחסית אך עלויות התפעול גבוהות.
גלאי חומרים אורגניים נדיפים Organic Vapor Analyzers ^{41 42}	שימוש בגלאי פחמימנים ניידים, המבוסס על מדידת ריכוזי יונים בזרם הגז הנמדד.	הגלאי רגיש לתמהיל של פחמימנים כולל ריכוז המתאן בתמהיל. ניתוח הצפיפות נעשה בהתאם לריכוז הגזים שנשאב מאזור הדגימה. ריכוז מעבר לרמת סף מסוימת תסמן שיש דליפה. פחות יעיל במרחבים פתוחים ותדירות הדגימות תלויה בכוח האדם המודד את הריכוזים במקום הדגימה. ניתן לנתח כ-40 דגימות בשעה. פחות מתאים לניטור של מתאן בלבד. לא ניתן לשימוש בטמפרטורות מתחת לאפס מעלות צלזיוס.	עלויות נמוכות יחסית למכשיר, אך נדרשות שעות כוח אדם רבות.
ספקטרומטר אינפרה אדום מוטס Spectrometer Sensors ⁴³	ניתוח גלי אינפרה אדום שנבלעו במתאן עקב בליעת קרני שמש באוויר.	צילום אינפרה אדום של מרחבים גדולים לאורך זמן וניתוח התוצאות. ביום אחד ניתן לנטר עד 800 ק"מ של צנרת גז או 300,000 דונם של שטחים פתוחים. ניתוח התוצאות ייתכן ויארך שבוע. הגלאי מנטר רק ריכוזים גדולים של מתאן ומשווה אותם למפה הכוללת מיקום GPS מדויק. פחות יעיל לזיהוי דליפות קטנות ובימים ללא שמש ועם עננות מוגברת או ללא תנאים נאותים לטיסה.	צילום המרחב הנבדק נעשה בעזרת מטוס עם גלאי. יקר, אך מפחית דרישה לכוח אדם.

³⁷ <https://www.flir.eu/instruments/optical-gas-imaging/>

³⁸ <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.0c01285>

³⁹ <https://www.hwsensor.com/industrial-gas-detection/gas-leak-detector/hrid600.html>

⁴⁰ <https://www.hetek.com/products/methane-specific-gas-detectors/remote-methane-leak-detector-cs/>

⁴¹ <https://www.enviroequipment.com/rentals/thermo-tva-1000-fidpid-rental>

⁴² <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18949604/>

⁴³ Harig, R., Matz, G., Rusch, P., Gerhard, J. H., Schaefer, K. P., Jahn, C., ... & Beil, A. (2004). Remote detection of methane by infrared spectrometry for airborne pipeline surveillance: first results of ground-based measurements. In Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere VIII (Vol. 5235, pp. 435-446). SPIE.

שיטות כימות

טבלה 22: שיטות לכימות דליפות מתאן

שם הטכנולוגיה	צורת היישום	אפשרות ותנאים ליישום	שיקולי עלות (הקמה, תפעול, אורך חיים)
מיכל איסוף מכויל Calibrated Vent Bag	איסוף דגימות מהציוד הדולף בפרק זמן קצוב ומדידת נפח וטמפרטורת המתאן.	כולל עטיפת הרכיב הדולף במיכל איסוף ידני ומדידת המתאן בגז שנאסף. ניתן לבצע מספר דגימות בשעה באזור הדליפה. יעילות דגימה נמוכה ומתאימה רק לדליפות גדולות. מתאים רק בטמפרטורה של 0-49 מעלות צלזיוס.	עלות נמוכה. דורש שעות כוח אדם, מיכלים רב פעמיים שעלותם כ-50 דולר למיכל ושעון עצר.
דגימות אוויר בנפח גבוה High Volume Sampler ⁴⁴	משאבת אוויר עם זרבובית יניקה המאפשרת איסוף ומדידה של כמות הפחמימנים הנפלטים	המפעיל דוגם אוויר נקי ומשווה אותו לדגימות מהרכיבים באזור שבו יש חשד לדליפות. זרימת האוויר המכוילת וריכוז הפחמימנים שהמכשיר מזהה מומרים לקצב זרימה נפחי. מתאים לפליטות קטנות וניתן לדגום כמה מקומות בשעה בטמפרטורה של 0-50 מעלות צלזיוס.	נדרש מפעיל מקצועי לכיול תדיר ואחזקה. יקר יחסית עקב שעות עבודה רבות. מתאים יותר למחקר.

השוואה בין התקני מדידה שונים

דו"ח שפרסם ארגון Carbon Limits ב-2020 מספק מיפוי שיטתי של טכנולוגיות אלה ומעריך את אפשרות יישומן עבור מתקני הפקת נפט וגז בים⁴⁵. הדו"ח מסכם את האתגרים שטכנולוגיות לזיהוי מתאן חייבות להתגבר עליהם בכדי שתהיינה ישימות עבור אתרי הפקה בים.

איור 4 מציג השוואה בין התקני המדידה השונים שבהם החיישנים נישאים ידנית או מותקנים על גבי ספינות, מטוסים וכלי טיס בלתי מאוישים בכדי לאתר ולכמת פליטות מתאן. הסיכום מציג גם הערכה על מידת הדיוק הניתן להשגה עבור כל אחד מההתקנים ועלותם היחסית. ניתן לראות שמדידות באמצעות ספינות נחשבות בעלות רמת דיוק נמוכה, לעומת מדידות באמצעות מטוסים שהינן ברמת דיוק גבוהה. מדידות באמצעות כלי טיס בלתי מאוישים נחשבות יקרות פחות ממדידות באמצעות אחרים. תנאי מזג האוויר כגון משקעים ומצב הים, משפיעים מאוד על אפשרות היישום של הטכנולוגיות השונות. כמו כן, שימוש בלוויינים לא נחשב כרלוונטי להפקה בים. החלטה על יישום טכנולוגיות אלו בישראל צריכה לשקלל את כל ההיבטים בהתאם לתנאים המקומיים (מספר אתרים, תנאי מזג אוויר, תקציב ועוד), תוך מודעות למגבלות ולקושי בביצוע מדידות של פליטות מהפקה בים.

⁴⁴ Assessment of Uinta Basin Oil and Natural Gas Well Pad Pneumatic Controller Emissions.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6178829/>

⁴⁵ Carbon Limits AS (2020). Overview of methane detection and measurement technologies for offshore applications. https://www.carbonlimits.no/wp-content/uploads/2020/08/Methane-measurement-technologies-offshore_for-website.pdf

Name	Total emissions quantification	Component level detection	Measurement over time	Share of sites covered by minimum detection level (*)	Relative quantification accuracy (**)	Wind conditions (***) and other weather constraints	Approximate costs per offshore site (****)
 Handheld and fixed sensors	✗	✓	✓	 100%	Accuracy varies between technologies.	 14-99% Sensitivity varies	 Handheld: operator hours + transport. Fixed: high costs.
 Ship-based measurement	✓	✗	✗	 100%	 Low without tracer (-90, +1000%).	 96-99% Safe sea conditions	 Operators and day-rate for ship. Dependent on number of sites.
 Drones	✓	✗	✗	 100%	 Accuracy +/- 20%	 73-78% No precipitation	 Day-rate for drone and operator, plus transport.
 Aircraft	✓	✗	✗	 85%	 Accuracy +/- 12%	 73-78% No precipitation	 Day-rate for plane. Dependent on number of sites.
 Satellites	✓	✗	✓	Not expected to be relevant offshore	Not expected to be relevant offshore	Not expected to be relevant offshore	Not expected to be relevant offshore

* Share of sites covered is calculated from the technologies' lowest minimum detection level per hour, and how many percent of offshore sites would have emissions over this level.

** Relative quantification accuracy has been estimated by the consultant and ranked between the assessed technologies based on available research papers and information from suppliers.

*** Share of wind conditions applicable for measurement is calculated from the technologies' wind constraints, and the percentage of daily winds below this level at three offshore sites in 2019.

**** Costs are only estimates performed by the consultant based on available information. Costs may change over time. Company internal costs are not included. Approximate costs per offshore site are grouped into green (below 3000 USD per site), yellow (3000-5000 USD per site), and red (above 5000 USD per site).

Fixed and handheld sensors: measurement over time only possible for fixed sensors.

Operators of drone-, plane- and ship-based measurement services may have the possibility to identify and detect emissions from areas or certain components.

איור 4: סקירה כללית של הרלוונטיות של טכנולוגיות שונות עבור כימות פליטות מתאן מהפקה בים⁴⁶

⁴⁶ Carbon Limits AS (2020). Overview of methane detection and measurement technologies for offshore applications. https://www.carbonlimits.no/wp-content/uploads/2020/08/Methane-measurement-technologies-offshore_for-website.pdf

9. סיכום והמלצות לשיפור ניטור ודיווח על מצאי פליטות מתאן מתעשיית הגז

מטרת עבודה זו הינה חישוב פליטות המתאן מתעשיית הגז הטבעי בישראל מקצה לקצה, כולל הפקה, עיבוד, הולכה, חלוקה, ומשתמשי קצה, ולכן, ההמלצות המובאות להלן אינן עוסקות באמצעים הטכנולוגיים והתפעוליים להפחתת פליטות גזי חממה מתעשיית הגז והנפט אלא מציגות המלצות לגבי אופן ניטור פליטות אלה ודיווח רציף ואמין שלהן.

רקע כללי

על פי דו"ח האקדמיה הלאומית האמריקאית למדעים הן במדידות פליטות מתאן (2018)⁴⁷, כל תכנית מדידה צריכה להכיר בכך שעבור מגזרי הנפט והגז הטבעי, הגורמים התורמים לפליטת יתר ממקורות מסוימים, אינם ידועים במלואם. יש צורך להבין היטב מה הם מקורות הפליטות ולבסס שיטות מתאימות לניטור ולהערכת פליטות אלה. ניהול מערך של מדידות בתיאום בין הרשויות למפעילי המתקנים השונים יסייע להבטיח את זמינותו של מידע המאפיין בו זמנית את קצב הפליטות עם נתוני התפעול של המתקנים הנבחרים.

בשנת 2022 פרסמה האקדמיה הלאומית האמריקאית למדעים דו"ח עם המלצות למקבלי ההחלטות בדבר מסגרת לכימות פליטות גזי חממה⁴⁸. כימות פליטות גזי חממה נעשה כיום בשתי שיטות עיקריות – האחת מבוססת על נתוני פעילות (כלכלית או תעשייתית) כמדד שלפיו מחושבות הפליטות, השנייה מבוססת על מדידות אטמוספריות המבדילות בין ריכוזים שונים כתוצאה מקצב הפליטות של המקורות השונים. שתי השיטות פותחו בקהילת המחקר ונעשה בהן שימוש הן בדיווח פליטות והן בהמלצות למקבלי ההחלטות.

הידע והטכנולוגיות למדידת פליטות מתאן ממשיכים להתפתח וכל תוכניות המדידה צריכות לשקף את ההתפתחויות הללו וכן את ההיקף וחוסר הוודאות של שיטות המדידה השונות והערכת פליטות ממקורות שאינם נמדדים. לדוגמה, מחקר מאוניברסיטת קרלטון בקנדה, שהתפרסם ב-2022⁴⁹, מציג מסגרת חדשה לשילוב מדידות אוויריות של ריכוזי מתאן בסביבות אתרים שונים עם הערכות פרטניות של פליטות מתאן ממקורות שונים באתר. בנוסף, במחקר עדכני של אוניברסיטת פרינסטון⁵⁰ מצאו החוקרים שהנתונים שבהם השתמשו בבריטניה עבור המצאי הלאומי של פליטות גזי חממה מסתמכים על מקדמים לא תקפים ולפיכך שיפור נתונים להערכת פליטות מצריך תשומת לב מיוחדת. החוקרים מצאו כי בהרבה דיווחים של מצאי פליטות במדינות שונות בעולם, המקדמים המשמשים להערכת הפליטות נשארים "סטטיים" ואינם משתנים עם שינויים באופן תפעול האתרים. אולם, מקדמים אלה גם אינם לוקחים בחשבון שעלולות להיות דליפות לא מוקדיות מרכיבי ציוד גם בעת פעילות סדורה כאשר אין נישוב או בעירה בלפיד. אותו מחקר מצא שהיות

⁴⁷ National Academy of Sciences (2018). Improving Characterization of Anthropogenic Methane Emissions in the United States. Methane Emission Measurement and Monitoring Methods.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519293/>

⁴⁸ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022). *Greenhouse Gas Emissions Information for Decision Making: A Framework Going Forward*. Washington, DC: The National Academies Press.

<https://doi.org/10.17226/26641>.

⁴⁹ Johnson, M., Conrad, B., & Tyner, D. (2022). Creating Measurement-Based Oil and Gas Sector Methane Inventories using Source-Resolved Aerial Surveys. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2203868/v1>

⁵⁰ Riddick, S. N., & Mauzerall, D. L. (2023). Likely substantial underestimation of reported methane emissions from United Kingdom upstream oil and gas activities. *Energy & Environmental Science*, 16(1), 295-304. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ee/d2ee03072a>

ופליטות אקראיות ממקורות פליטה מהפקה בים נמשכים בדרך כלל רק לפרק זמן קצר, ככל הנראה, שיטות סקר ישירות כמו באמצעות לוויינים או רחפנים יצליחו לאפיין רק כ-25% מהפליטות בפועל.

דוגמאות ממחקרים אשר בוצעו בשנים קודמות מובאות בנספח לדו"ח זה. ממצאי המחקרים מצביעים על כך שההערכות ההנדסיות שעליהן מבוססים מצאי פליטות עשויות להעריך בחסר ולהביא לכימות נמוך מדי של הפליטות לאטמוספירה. הגורמים להערכות החסר, כפי שעלו מהמחקרים, כוללים שימוש במקדמי פליטה שאינם מתאימים לפעילות, הערכה שאינה כוללת את כל המתקנים או מקורות הדליפה הרלוונטיים, או הערכה שאינה כוללת אירועים לא שגרתיים של פליטות גבוהות.

הצורך העיקרי לשיפור הכימות של פליטות מתאן הוא מחויבות ישראל לתיעוד ופרסום אמינים של פליטות המתאן לאטמוספירה, אשר מהווים בסיס לקבלת ההחלטות וניהול נכון של הפחתת פליטת גזי חממה לאטמוספירה.

מטרת ההמלצות בפרק זה הינה לשפר באופן כולל את ארגז הכלים לאפיין נתוני הפליטות לאוויר, לשפר את איכות הנתונים באמצעות שימוש משולב בשיטות המבוססות על היקף הפעילות בפועל לצד שיטות המבוססות על אינטרפולציה של מדידות באטמוספירה, וכן, להגביר את זמינות הנתונים ושקיפות המידע.

שיפור ניטור ודיווח על מצאי הפליטות

שיפור ניטור ודיווח על מצאי הפליטות תלוי בנגישות הנתונים ואמינות השיטות לאפיין נתוני הפליטות בהתאם לשישה מדדי איכות:

- עיבוד נתונים פשוט ומהיר;
- שקיפות הנתונים;
- אפשרות להערכה ואימות של הנתונים;
- גישה לנתוני תפעול מלאים (המאפשרת בדיקת חישובי הפליטות);
- הכללת כל מקורות הפליטות;
- אפשרות לפרסום התוצאות.

קיימות שיטות שונות ליישום ששת המדדים, לדוגמה, הדיווח הכלול בהנחיות המעודכנות של ה-IPCC⁵¹ מאפשר יישום של מקדמי פליטה בנדבכי דיוק שונים. נדבך 1 מיישם מקדם פליטה אחיד התורם לשקיפות הנתונים אולם אינו מייצג את היקף הפליטות האמיתי בגלל האופי הגנרי של הנתונים המשמשים לחישוב והוא תורם להערכת יתר של היקף הפליטות. עבור חישובים המסווגים כנדבך 2 מומלצות שיטות המפותחות על ידי גופי התקינה במדינות שונות. שיטות אלה מתמקדות באתגרים של נגישות הנתונים ומדידת אי-הודאות בהן היות ולא כולן נבחנו באופן יסודי ולא ברור באם הן ניתנות ליישום במדינות אחרות מעבר למדינת המוצא. ההנחיות מעודדות שימוש מועדף בשיטות המסווגות כנדבך 3 באם יש מספיק נתונים מקומיים ליישום שיטות אלה לשם הערכה יותר מדויקת של פליטות מתאן. הקריטריונים החשובים לשם הפקת ממצאים עבור הערכת פליטות מתאן בנדבך 3:

- יש לאסוף את הנתונים, מידע על השיטות והגורמים לאי-ודאות של הנתונים;
- יש לתעד את מהלך תקופת איסוף הנתונים ואת התחום המרחבי שהם מייצגים;

⁵¹ 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

- יש לוודא שמקור הנתונים ושיטות האיסוף והתוצאות המופקות הינם אמינים;
- יש לפרסם בשקיפות מלאה את שילוב המקורות השונים ושיטות המדידה שבהם השתמשו להפקת התוצאות וקבלת ההמלצות;
- יש לוודא שהתוצאות שנתקבלו עברו בקרה על ידי גופים בלתי תלויים בשיתוף פעולה עם מומחים מקומיים ובעלי עניין.

המלצות לאור הממצאים העיקריים מעבודה זו

1. הגברת נגישות ושקיפות מידע

1.1. בשלב הפקה:

- הגברת השקיפות והנגישות של נתוני כל אסדות ההפקה בדומה לפרסומם של נתוני אסדת לויתן.
- דיווח פליטות נפרד לגבי תחנת הפחתת הלחץ בחוף דור.
- הרחבת הדיווחים כך שיכללו את הפליטות הנובעות מנישובים, תחזוקה ותקלות בדיווחים שנתיים ובנתוני המפל"ס.

1.2. בשלב ההולכה:

- בעבור חברה ממשלתית, הרואה במחויבות לסביבה ערך עליון ודוגלת במדיניות פיתוח בר קיימא, מומלץ שנתג"ז תיישם דיווח מפורט של פליטות גזי החממה מפעילות החברה ולא תסתפק בהצהרות בדומה להצהרה המופיעה בדו"ח 2018-2019: "מידע על זיהום אוויר ושחרור פליטות: מערכת ההולכה הארצית לגז טבעי הנה מערכת סגורה אשר אינה פולטת גז טבעי לאוויר. הגז הטבעי הנו ידידותי לסביבה והחברה אינה מוגדרת כמפעל מזהם".
- מומלץ כי רשות הגז, כרגולטור של נתג"ז, תדרוש מנתג"ז דיווח על פליטות גזי חממה מפעילותה השוטפת, ובתוך כך, תאכוף קיומם של נהלים מסודרים לניטור ואיתור פליטות, כולל תדירות הבדיקות ומאפייניהן, ודיווח פומבי של תוצאותיהן.
- פרסום נתוני פליטות ממערכת החלוקה אפילו אם הן מהוות אחוז קטן מכלל פליטות גזי החממה במשק. גם במקרה זה, הטיעון שאלה מערכות חדשות העשויות מצנרת פלסטיק, אינו מפחית את הצורך לדווח.
- המשרד להגנת הסביבה פרסם נוהל חדש כטייטה להערות הציבור⁵² בעניין פליטות מתאן מרכיבי ציוד ומתקנים, כולל התייחסות למיפוי רכיבים, חישוב פליטות, זיהוי, איתור ותיקון דליפות, ודיווח, והוא אמור לחול גם על מקטע ההולכה והחלוקה. נוהל זה יכול לתת מענה למרבית ההיבטים שעלו מעבודה זו, עם זאת, חשוב להדגיש מספר נושאים חשובים:
 - יש לקבוע תדירות לביצוע הסקירה לאיתור דליפות (4-1 פעמים בשנה);
 - יש לבצע מדידות לכימות פליטות אחת למספר שנים (כל 2-3 שנים או בעקבות שינוי מהותי במערך הרכיבים העלולים לדלוף);
 - את המדידות יש לבצע באמצעות צד שלישי בלתי תלוי המבוקר על ידי הרגולטור⁵³.

⁵² משרד המשפטים, אתר החקיקה הממשלתי, יולי 2022. [טייטת תנאים נוספים לעניין פליטות מתאן מרכיבי ציוד ומתקנים](#).

⁵³ לצד מדידות שמבוצעות על ידי החברות עצמן מספר פעמים בשנה, רצוי שהרגולטור יבצע קמפיין אחד בשנה באופן עצמאי בכדי לוודא שישנה התאמה עם התוצאות של המדידות של החברות.

- מינהל בטיחות צנרת וחומרים מסוכנים של ארה"ב (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration) פרסם במאי האחרון טיוטת הנחיות לביצוע LDAR לצנרות גז⁵⁴. מוצע שמשרדי האנרגיה והגנת הסביבה יעקבו אחרי ההנחיות, כאשר יאושרו, ויבחנו התאמה לישראל.

1.3. בשלב השימוש:

- הכללת פליטות מדליפות לא מוקדיות בחצרות המפעלים לאפיון אמין של הפליטות הקשורות לשימוש בגז טבעי.
- שינוי סף פליטות גזי החממה המחייב דיווח בכדי להגביר את שקיפות הנתונים.

2. חישובים ומדידות

- מקדמי הפליטה בהם נעשה שימוש במפל"ס ובדו"ח זה (הנחשבים כנדבך 3), מסתמכים על מקדמי הפליטה שמפרסם המשרד להגנת הסביבה שמקורם בבסיס נתונים אמריקאי AP-42 (מקדמי פליטה ישירים למקורות פליטה ספציפיים, לרבות תעשיית הגז). מומלץ לבצע תהליך יסודי לבחינת התאמת מקדמים אלו למשק הגז הישראלי.
- פרק 8 לעיל מספק מידע ראשוני לגבי שיטות זיהוי וכימות פליטות מתאן בשרשרת האספקה של הגז טבעי, אשר יכול לשמש בסיס להחלטה איזו שיטת מדידה כדאי לאמץ.

המלצות ספציפיות ליישום בישראל

- יש להגביר את שיתוף הפעולה בין המשרד להגנת הסביבה ומשרד האנרגיה לשם קידום אחידות בדיווחי הפליטות מתעשיית הגז הטבעי.**
- נדרשת הקמת** מנגנון ברור שיאגם ויאגד סוגי נתונים שונים ויאפשר שילוב של מגוון סוגי הנתונים לשם הנגשתם למקבלי ההחלטות באופן שתואם את ציפיותיהם. המנגנון אמור לכלול את נתוני הפעילות במקור הפליטות, פרטי מקורות הפליטות והמדידות האטמוספריות בהתאמה. עיצוב המנגנון צריך להתבצע בהתאם לסטנדרטים בין-לאומיים.
- יש לנהל** מאגר מידע מאוחד, המתעדכן באופן שוטף, הכולל תקנים ונהלים שיאפשרו למקבלי ההחלטות לאסוף מידע נחוץ במהירות ובהתאם לדרישה מיידידת ממוקדת, בשקיפות, בפשטות ובאופן מהימן הכולל ציטוט של מקור הנתונים ואיכותם.
- מוצע לפתח** בסיס נתונים הכולל מקדמי פליטה רלוונטיים, המעודכנים תקופתית, עבור המקטעים השונים בשרשרת האספקה של הגז הטבעי בישראל המאפשר השוואה בין חלקים שונים של בסיסי הנתונים.
- יש לוודא התעדה** של שיטות ונהלים המתאימים לאיסוף ולאספקת מידע עבור תחום מרחבי מצומצם או תקופת זמן קצרה. מוצע להרחיב את הניסיונות להפקת נתונים, במטרה למקסם את השפעת איסוף הנתונים והשימוש בהם.
- יש להכשיר אנשי מקצוע** בתעשייה העוסקים בתפעול שוטף תוך שימת דגש על מניעה או הפחתה של פליטות מתאן. כמו כן יש לוודא שמפעילי ציוד המדידה עבור פליטות וריכוזי מתאן באטמוספירה מוסמכים לתפעל את הציוד הנדרש.
- יש לפתח ולוודא קיום** מדדי-בקרה איכותניים (סיכונים ומגבלות) ו/או כמותיים (אי-ודאות ואפיון טעויות).

⁵⁴ [Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration](#) (2023). A Proposed Rule: [Pipeline Safety: Gas Pipeline Leak Detection and Repair](#).

- **יש לפעול לשיקוף** הנתונים לצרכי הכשרה וחינוך לשם הרחבת קהל המשתמשים במערכת דיווח הפליטות ולשם הגברת שיתוף מידע בין-תחומי של בעלי עניין ומדענים.

יש לציין כי מצאי הפליטות הלאומי של ישראל, כפי שהוא מאוגם על ידי הלמ"ס, אינו כולל פליטות מתאן ממגזר הגז הטבעי. חשוב לוודא את ההתאמה של מקדמי הפליטה המשמשים לחישוב מצאי פליטות עם המדידות בפועל, עבור כל מקטע משרשרת האספקה של תעשיית הגז, כאשר המטרה היא שניתן יהיה לחשב את מצאי הפליטות בהתאם לנתונים מקומיים כפי שמובא בשיטות של נדבך 3 המומלצות בהנחיות ה-IPCC.

נספח – דוגמאות למדידת פליטות מתאן מאסדות נפט וגז הפועלות בים

כימות פליטות מתאן מהפקת נפט וגז הינו מורכב ודורש מגוון של נתונים לשם תחשיב הנדסי מהימן. בשנים האחרונות גבר העניין בכימות מדויק של פליטות על ידי מדידות בשטח בכדי לפתח בסיס אמין עבור הפליטות ואסטרטגיה להפחתתן העתידיות.

נספח זה מציג חמש דוגמאות מהספרות המקצועית המתארות מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות לאיסוף נתונים בקרבת אסדות הפועלות בים. התוצאות מאפשרות השוואה בין מצאי פליטות המסתמך על מדידות לעומת מצאי פליטות המפותח בשיטות קונבנציונליות.

פליטות מתאן מאסדות נפט וגז בים הצפוני (בריטניה)

מחקרים שונים שהתבצעו לאחרונה מצביעים על כך שההערכות ההנדסיות שעליהן מבוסס מצאי הפליטות עשוי להיות הערכת חוסר ולהביא לכימות נמוך מדי של הפליטות לאטמוספירה.

מחקר⁵⁵ אחד מדד את הפרקציה המולארית של מתאן סביב שמונה אסדות הפקת נפט וגז בים הצפוני מול חופי אנגליה וסקוטלנד, בכדי לחקור באם אסדות נפט וגז בים דולפות בעת פעילות רגילה כאשר הלפידים לא בוערים ואין פריקת תוצרים נזליים. החוקרים העריכו את פליטות המתאן באמצעות מכשיר מדידה מבוסס-לייזר המותקן על סירות קטנות. בניגוד לציפיות, הם גילו דליפות לאטמוספירה מכל המתקנים שנדגמו בים גם כאשר לא בוצעו פעולות שצפויות לגרום לפליטת מתאן. בממוצע, פליטת מתאן המתרחשת במהלך פעולות רגילות נמצאה כיותר מכפולה מהפליטות המדווחות עבור כל אחד מהאתרים במצאי הפליטה האטמוספרי הלאומי של בריטניה.

תוצאות המחקר מראות שקצב הפליטות החציוני הוא 6.8 גרם מתאן לשנייה עבור כל אסדה וטווח הפליטות הוא 2.9 עד 22.3 גרם מתאן לשנייה. כאשר לוקחים בחשבון את היקף התפוקה בזמן המדידות מקבלים נתוני פחת בעת ההפקה הנעים בין 0.04% עד 1.4% כאשר פחת הגז הטבעי החציוני הוא 0.23%.

החוקרים ציינו כי הדליפות שדווחו בעבר מהפעלת אסדות נפט וגז, אשר על פי הערכות ממשלת בריטניה היוו כ-0.13% מהתפוקה, נראות נמוכות מדי. הסיבה לכך היא שמצאי הפליטות הרשמי של בריטניה מסתמך רק על הערכת פליטות בעת בעירת הלפידים או פריקת תוצרים נזליים. המדידות שביצעו החוקרים מראות שסך הפליטות הנוספות אשר נמדד בעת המחקר, עבור שמונה האסדות, הוא בהיקף של כ- 0.19% מהתפוקה במהלך פעולות רגילות ללא לפידים או פריקת נזלים. **תוצאות אלה מראות שמצאי הפליטות ה"אמיתי", הלוקח בחשבון את כל הפליטות, הוא למעלה מפי שניים מזה המופיע במצאי הפליטות הבריטי הרשמי, אשר לא מדווח על דליפות שגרתיות מרכיבי ציוד.**

פליטות מתאן מאסדות נפט וגז במפרץ מקסיקו (ארה"ב)

הסוכנות להגנת הסביבה של ארה"ב מחשבת מידי שנה את מצאי הפליטות הלאומי של גזי חממה. הנתונים עבור פליטות ממתקני הפקה בים אינם נובעים מדגימה ישירה אלא מהערכה הנדסית הכוללת מקדמי פעילות ומקדמי פליטה רלוונטיים. אמינות הנתונים האלה היא חשובה היות וההיקף העולמי של הפקה בים מהווה

⁵⁵ Riddick, S. N., Mauzerall, D. L., Celia, M., Harris, N. R., Allen, G., Pitt, J., ... & Manning, A. J. (2019). Methane emissions from oil and gas platforms in the North Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(15), 9787-9796. <https://doi.org/10.5194/acp-19-9787-2019>

כשליש מכלל הנפט והגז המופקים ברחבי העולם. מתקנים אלה פולטים מתאן ממקורות שונים ועד עתה רק קומץ של מדידות בוצעו בשטח.

בפברואר 2018 נערכו במפרץ מקסיקו שבארה"ב מדידות של פליטות מתאן מהפקת נפט וגז בים באמצעות מכשור מטאורולוגי ואנליטי שהותקן על סיפון ספינת המחקר טריידנט המופעלת על ידי אוניברסיטת טקסס בגלוסטון. המדידות של הריכוז האטמוספרי של מתאן באוויר שמעל האסדות התבצע על גבי האונייה וערך כשבועיים. מחקר זה שנוהל על ידי אוניברסיטת מישיגן הראה שאסדות אלה הפועלות במימי מפרץ מקסיקו פולטות פי שניים מתאן ממה שחשבו בעבר⁵⁶.

בסך הכול נאספו נתונים בקרבת 103 אתרים, כולל אסדות וספינות קידוח במים רדודים ועמוקים. שיעורי פליטת מתאן נעים בין 0-190 ק"ג/שעה עם פקטור אי ודאות של פי 10. למרות התפוקה הגבוהה יותר של המתקנים הפועלים במים עמוקים, היו להם שיעורי פליטה מתונים בהשוואה לאתרים במים הרדודים. המחקר מצא ששיעור הפחת האפקטיבי של הגז המופק הוא כ-2.9%, הדומה לזה המאפיין הפקת נפט באגנים גדולים ביבשה, והינו גבוה משמעותית מהערכות חישובי מצאי הפליטות הנוכחיות. המחקר זיהה שלוש סיבות עיקריות לפער בין הערכת הפליטות של הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה לבין ממצאי המחקר:

- טעויות במניית האסדות כולל מספר המתקנים הימיים שאינם בהכרח משמשים להפקת הנפט או הגז. המחקר מראה שלמעלה מ-1,300 מתקנים כאלה היו חסרים במצאי פליטות גזי החממה של ארה"ב.
- פליטות מתמשכות ממתקנים במים רדודים, במיוחד מהמתקנים העוסקים בהפקה ועיבוד של גז טבעי. נמצאו גבוהות מההערכה שבמצאי הפליטות הלאומי.
- מתקנים גדולים וישנים יותר הממוקמים במים רדודים נוטים לגרום לאפיזודות של פליטות מתאן הגבוהות באופן לא פרופורציונלי לעומת היקף ההפקה. מתקנים אלה, שלהם למעלה משבע פלטפורמות כל אחד, תורמים לכ-40% מהפליטות למרות שהם מהווים פחות מ-1% מכלל האסדות. באם ניתן היה לאפיין את תהליכי הפליטות החריגות ממתקנים מורכבים אלה אזי המידע הנאסף היה תורם רבות לתכנון אסטרטגיות להפחתת הפליטות.

הערכת פליטות מתאן מאסדות במפרץ מקסיקו (ארה"ב) מדגימות אוויריות

כימות פליטות מתאן מפעילות נפט וגז בשיטות המקובלות לחישוב מצאי פליטות גורם לרוב להערכת חסר, כפי שהובח במחקרים קודמים. מחקר אשר נערך בינואר 2018, מציג מדידות של פליטות מתאן באמצעות מטוסים אשר אספו נתונים מעל אסדות הפקת נפט וגז בים, באזור מפרץ מקסיקו שבארה"ב⁵⁷. המחקר כלל דגימות אוויריות מאתרים ספציפיים וכן מאזורים שלמים שבהם יש בין 5-70 מתקנים פעילים. החוקרים שילבו דגימות ברמת המתקן, נתוני ייצור, והערכות שונות לשם פיתוח מצאי פליטות מתאן המבוסס על המדידות האוויריות.

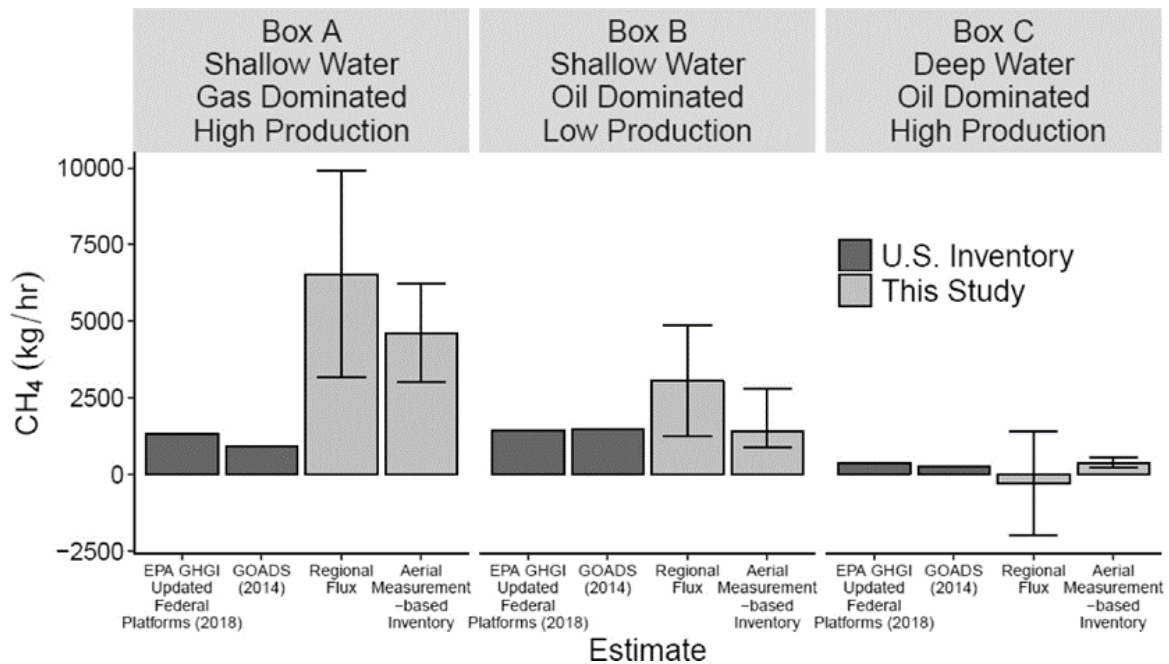
החוקרים השוו את מצאי הפליטות שלהם למצאי גזי חממה השנתי המפותח על ידי הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה. מצאי הפליטות המסתמך על הפליטות האוויריות עולה בקנה אחד עם ההערכות הרשמיות

⁵⁶ Yacovitch, T. I., Daube, C., & Herndon, S. C. (2020). Methane emissions from offshore oil and gas platforms in the Gulf of Mexico. *Environmental science & technology*, 54(6), 3530-3538. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b07148>

⁵⁷ Gorchoy Negron, A. M., Kort, E. A., Conley, S. A., & Smith, M. L. (2020). Airborne assessment of methane emissions from offshore platforms in the US Gulf of Mexico. *Environmental science & technology*, 54(8), 5112-5120. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c00179>

של מצאי הפליטות האמריקאי עבור הפקת נפט וגז במים עמוקים במפרץ מקסיקו. אולם הן גבוהות יותר מהערכת הפליטות עבור פעילות במים רדודים. תוצאות המחקר עבור כל מפרץ מקסיקו מראות שפליטת המתאן הן בהיקף של 0.53 טרה-גרם לשנה (0.40-0.71 מרווח 95% ודאות), המצביע על פחת של 2.9% (2.2-3.8%) מהפקת גז טבעי.

איור 5 מציג השוואה בין הערכת שטף פליטות המתאן מאסדות הפועלות במפרץ מקסיקו, ארה"ב. ההשוואה מוצגת בשלוש קטגוריות: הפקה גבוהה במים רדודים שהינה לרוב גז טבעי, הפקה נמוכה במים רדודים שהינה לרוב נפט, והפקה גבוהה במים עמוקים המורכבת לרוב מהפקת נפט.

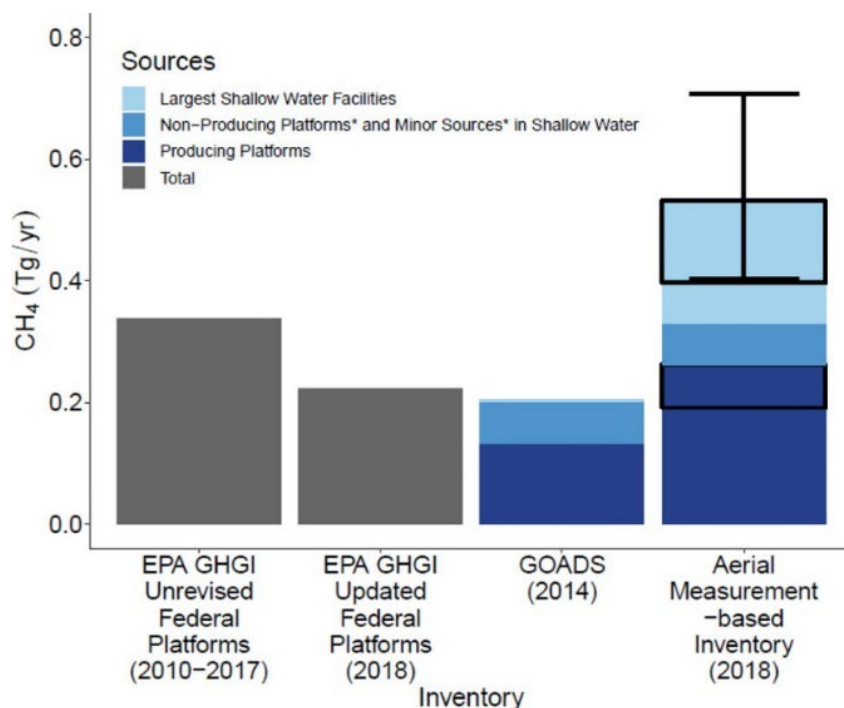


איור 5: השוואה בין קצב פליטת המתאן ממערכות הפקת נפט וגז טבעי במים רדודים ומים עמוקים במפרץ מקסיקו⁵⁸

תוצאות אלה מראות שאומדן פליטות המתאן המחושב במחקר זה הינו גבוה פי שניים מהמצאי הלאומי האמריקאי הכולל עדכון של מספר האסדות ב-2018. הבדל זה נובע ממנייה לא שלמה של מספר האסדות, מקדמי פליטה נמוכים במים רדודים ואי התייחסות לאירועי פליטות גבוהות (יחסית להפקה) ממתקנים מורכבים במים הרדודים של מפרץ מקסיקו בארה"ב.

איור 6 מציג השוואה בין מצאי הפליטות המחושבים על ידי הסוכנות להגנת הסביבה בארה"ב, האגף לאנרגיה בים שבמשרד הפנים בארה"ב, ותוצאות מחקר זה.

⁵⁸ Gorchoy Negron, A. M., Kort, E. A., Conley, S. A., & Smith, M. L. (2020). Airborne assessment of methane emissions from offshore platforms in the US Gulf of Mexico. *Environmental science & technology*, 54(8), 5112-5120. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c00179>



איור 6: השוואה בין הערכות שונות למצאי פליטות מתאן באסדות שבמפרץ מקסיקו בארה"ב⁵⁹

פליטות מתאן מהפקת נפט וגז בים וביבשה (מקסיקו)

מחקר זה עוסק בשימוש בתצפיות אטמוספריות בכדי לכמת את פליטת מתאן מאזורי הפקת הנפט וגז ביבשה ובים במדינת מקסיקו. אזורים אלה מהווים 95% מהפקת הנפט ו-78% מהפקת גז טבעי. המחקר מתבסס על מדידות אוויריות ממטוסים לחישוב פליטות ברמת מתקנים נפרדים וברמה אזורית⁶⁰. בנוסף החוקרים השתמשו במשך שנתיים במדידות מלווינים בכדי לקבל הערכה עצמאית של התוצאות⁶¹.

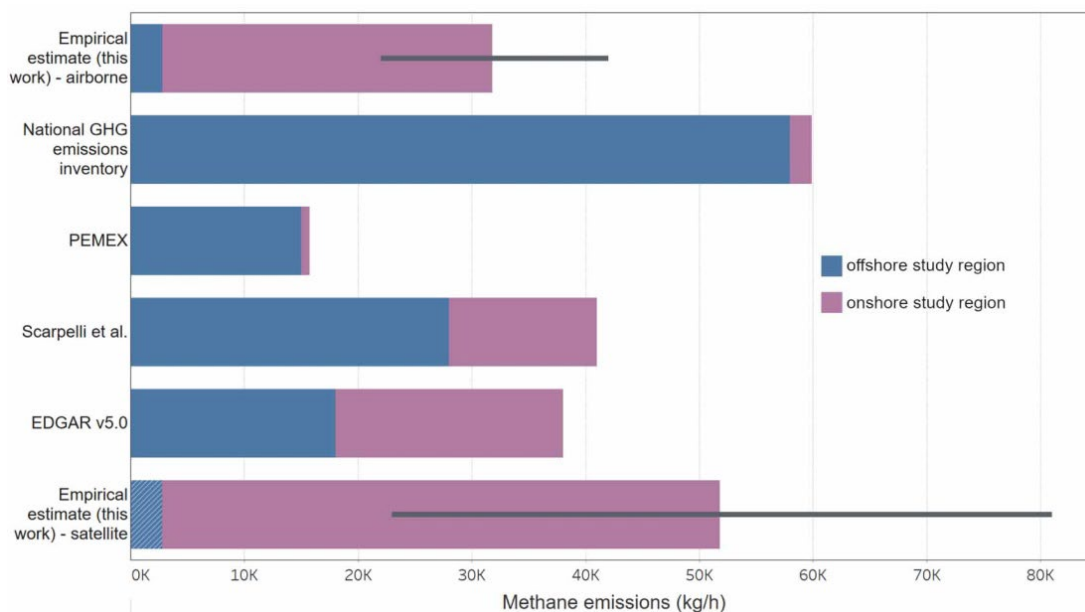
אומדן הפליטות מהפקה בים, בהסתמך על מדידות אוויריות, היא 2,800 ק"ג מתאן לשעה (1,700-3,900 עם טווח ודאות של 95%). תוצאות אלה נמוכות בסדר גודל מההערכות הניתנות במצאי הפליטות הלאומי של מקסיקו עבור הפקה בים. לעומת זאת, הפליטות עבור הפקה ביבשה הן 29,000 ק"ג מתאן לשעה (-19,000-39,000 עם טווח ודאות של 95%), הגדולות בסדר גודל בהשוואה למצאי הפליטות הלאומי. לדוגמה, מתקן אחד שהינו מתחם לעיבוד גז המגיע מהפקה בים מאופיין בפליטה של 5,700 ק"ג מתאן לשעה (3,500-7,900 עם טווח ודאות של 95%). למעלה ממחצית מפליטות אלה נובעות מפליטות לא יעילים. מנתוני המדידות מהלוויין נראה שהפליטות מפעילות ביבשה גבוהות עוד יותר (פי 20 מאשר במצאי הפליטות הלאומי).

איור 7 מציג השוואה של תוצאות המחקר והערכות שונות של פליטות מתאן בים וביבשה במקסיקו.

⁵⁹ Gorchoy Negron, A. M., Kort, E. A., Conley, S. A., & Smith, M. L. (2020). Airborne assessment of methane emissions from offshore platforms in the US Gulf of Mexico. *Environmental science & technology*, 54(8), 5112-5120. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c00179>

⁶⁰ Zavala-Araiza, D., Omara, M., Gautam, R., Smith, M. L., Pandey, S., Aben, I., ... & Hamburg, S. P. (2021). A tale of two regions: methane emissions from oil and gas production in offshore/onshore Mexico. *Environmental Research Letters*, 16(2), 024019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abceeb>

⁶¹ TROPOMI CH₄ data and VIIRS night-time flare data



איור 7: השוואת נתונים שנאספו ב-2018 עם חישובי מצאי פליטות מתאן מפעילות בים וביבשה⁶²

מחקר זה מראה שהערכת היתר הגדולה במצאי הפליטות הלאומי של מקסיקו, עבור הפקה בים, הוא תוצאה משימוש במקדמי פליטה גנריים שאינם ספציפיים לפעילות במקסיקו. ההבדל העיקרי בחישוב הפליטות נובע משרפת גז בלפידים המסתמך על הנחות שגויות בדבר יעילותם הנמוכה של הלפידים במים עמוקים. מחקר זה מדגיש את הצורך בפיתוח מקדמי פליטה מקומיים המשקפים נכונה את פליטות המתאן עבור יישום צעדים אפקטיביים להפחתתם.

מדידת פליטות מתאן מאסדות נפט וגז בים (הולנד)

מטרת מחקר זה למדידת פליטות המתאן היא להעריך באם הפליטות המדווחות בהתאם להוראות הדיווח זהות לאלו הנמדדות בשטח⁶³. המחקר מיישם מדידות של פלומת פיזור המזהמים מאסדות בים באמצעות מכשור נייד אשר פותח עבור אתרים ביבשה. המחקר לקח בחשבון שמאפייני פיזור המזהמים מעל הים שונים במהותם מפיזור מעל היבשה. הפיזור נמדד על ידי מדידת הריכוז באטמוספירה כתוצאה מנישוח מבוקר של חנקן-תת-חמצני המשמש כסמן לפליטות מתאן. עבור פלומות אלה, חוזק המקור ידוע וניתן "לכיל" את מודל הפיזור כדי לחקות את פיזור הפלומות מעל הים.

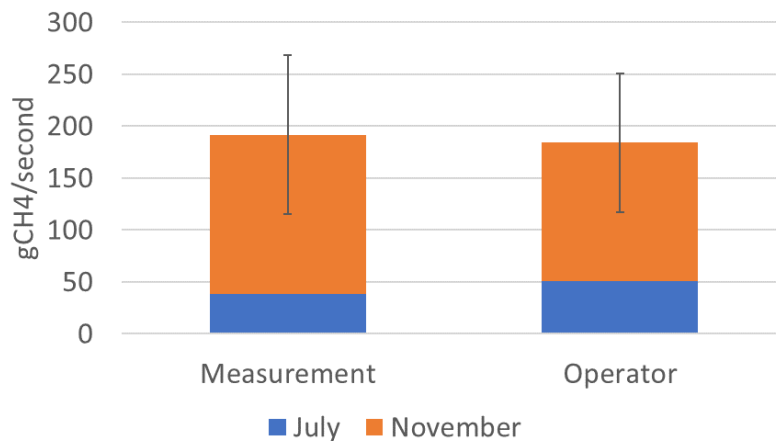
בכדי להשיג תוצאות אמינות התנאים המטאורולוגיים צריכים להיות בטווח מסוים עם מהירות רוח רצויה בין 2 ל-20 מטר לשנייה. בנוסף, המדידות מושפעות מאינברסיה של הטמפרטורה הגורמת להיווצרות שכבה גבולית באטמוספירה המשפיעה על פיזור המזהמים. בנוסף, צריך לוודא שגובה התורן לנישוח גז הסמן תואם את גובה האסדה כך שמדגמי המזהמים הנשאבים מהאטמוספירה הינם הלימים עם גובה הפליטה מהאסדה.

⁶² Zavala-Araiza, D., Omara, M., Gautam, R., Smith, M. L., Pandey, S., Aben, I., ... & Hamburg, S. P. (2021). A tale of two regions: methane emissions from oil and gas production in offshore/onshore Mexico. *Environmental Research Letters*, 16(2), 024019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abceeb>

⁶³ Hensen, A., Velzeboer, I., Frumau, K. F. A., van den Bulk, W. C. M., & van Dinther, D. (2019). *Methane emission measurements of offshore oil and gas platforms* (No. TNO 2019 R10895). TNO.

בגלל התנאים המטאורולוגיים החריגים שאירעו בעת המדידות בחודש יולי 2018 נאלצו לבצע עוד סדרת מדידות בחודש נובמבר 2018. במהלך הערכת הנתונים, בחודשים שלאחר הניסוי, נמצאה בעיה בלתי צפויה נוספת והיא המצאות גנרטורים ומדחסים גדולים המונעים על ידי טורבינת גז על האסדה. מתקנים אלה תורמים להיווצרות פלומות אוויר חמות הגורמות לעילוי אטמוספרי המשפיע על פיזור המזהמים.

תוצאות המחקר מראות שישנן אסדות שעבורן הפליטות הנמדדות גבוהות יותר מהפליטות המחושבות לעומת אסדות אחרות שפליטותיהן נמוכות יותר מהמחושבות. איור 8 מציג השוואה בין סך הפליטות שנמדדו עבור 32 אסדות (152 גרם מתאן/שנייה) לעומת אלה שחושבו על ידי מפעילי האסדות (139 גרם מתאן/שנייה) עבור סיבובי המדידות שבוצעו ביולי ובנובמבר 2018.



איור 8: השוואה בין סך הפליטות בהתאם למדידות ולחישובים הנדסיים⁶⁴

⁶⁴ Hensen, A., Velzeboer, I., Frumau, K. F. A., van den Bulk, W. C. M., & van Dinther, D. (2019). *Methane emission measurements of offshore oil and gas platforms* (No. TNO 2019 R10895). TNO.



neaman.org.il

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

אנרגיה וסביבה