

צמצום טביעת הרגל האקלימית של ענף התחבורה בישראל¹

- מקורן של כרבע מהפליטות של גזי חממה בישראל הוא בענף התחבורה, ומשקל הענף בסך הפליטות הולך וגדל ככל שמצטמצמות הפליטות מייצור החשמל.
- צמצום הפליטות יוכל להיעשות באמצעות מעבר לכלי רכב נטולי פליטה, באמצעות מעבר משימוש בכלי רכב פרטיים לציבוריים, או באמצעות שילוב בין השניים – ובפרט תוך מעבר לכלי רכב ציבוריים המונעים בחשמל.
- בחינת תרחישים שונים מראה כי במבנה הנוכחי של ייצור חשמל מעבר של אחוז אחד מכלי הרכב הפרטיים לכלי רכב נטולי פליטה יקטין את סך הפליטות של גזי חממה במשק בכחמש מאיות האחוז; הסטה של אחוז אחד מהנוסעים ברכב פרטי לתחבורה ציבורית תפחית את סך הפליטות בכשש מאיות האחוז; ואילו שילוב של השניים - מעבר לתחבורה ציבורית בד בבד עם חשמולה – יפחית את סך הפליטות בעשירית האחוז. המעבר לתחבורה ציבורית גם יתרום להפחתת הגודש בכבישים.
- שיעור הרכבים נטולי הפליטה מסך הרכבים בעולם צפוי להגיע בשנת 2030 ל-7%, ויש מקום להיערך להתפתחות דומה בישראל – ובכללה הרחבת אפשרויות הטעינה של הרכבים וקביעת תעריפי חשמל משתנים לאורך היממה. כן נדרש לגבש בהקדם מסגרת חוקית למיחזור סוללות של מכוניות חשמליות ולהחליט אם המיחזור ייעשה בארץ.

עבודה זו עוסקת בטביעת הרגל האקלימית של ענף התחבורה בישראל – פליטות גזי חממה. היא מתארת את האילוצים הבין-לאומיים המחייבים את ישראל להידרש לנושא, מציגה דרכי טיפול אפשריות ובוחנת את המסקנות הנגזרות מכך לגבי המשק הישראלי.²

כיום ענף התחבורה הוא מקור מרכזי לפליטת גזי חממה בישראל, ושני בהיקף הפליטות רק לייצור החשמל.³ בשנת 2019 נפלטו מכלי תחבורה 18.6 מיליוני טונות של גזי חממה, שהם כרבע מסך פליטות גזי החממה בישראל.⁴ בעשור האחרון הפליטות מענף זה גדלות בקצב שנתי של כ-2% בשנה. כדי להגיע לנייטרליות פחמנית עד 2050 ולעמוד בתנאים הסביבתיים שאליהם העולם מתכנס נדרשת ישראל, כמו שאר המדינות המפותחות, להפחית של כ-80% מפליטות גזי החממה במדינה. בישראל, בדומה לעולם, ייצור האנרגיה כולו הוא המקור ל-80% מסך הפליטות, ומתוכם ענף התחבורה הוא, כאמור, המקור לכרבע. נתונים אלו מלמדים שהטיפול בפליטות גזי חממה של ייצור האנרגיה בכלל, ובמסגרת זו של ענף התחבורה, הוא תנאי הכרחי ומספיק לעמידה בהתחייבויות הבין-לאומיות של ישראל, בדבר צמצום הפליטות של גזי חממה, שצפויות להפוך לתובעניות יותר

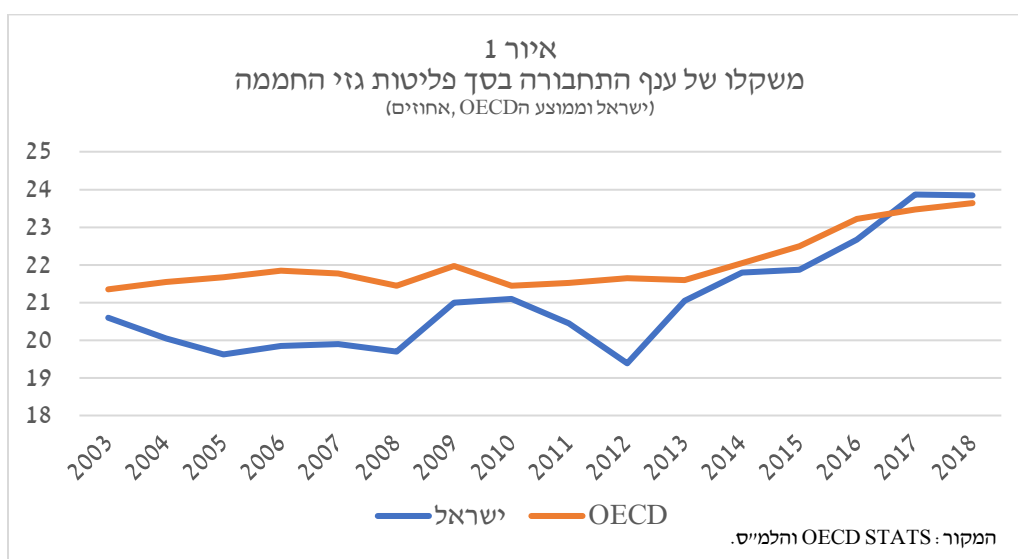
¹ הכותבים, ליאור גאלו ויוסי מרגוניסקי, מודים לאמיר זלצברג על הערותיו המהותיות לגרסאות הקודמות של העבודה וכן לאופירה איילון, ליאור אלבו, דוד בדל, שחר דולב, גלית פלצור, גדעון פרידמן, אריאל קפלן ועידו שוואב כמו גם לאייל ארגוב, לעדי ברנדר ולאבשלום ברנוביץ' על הערותיהם המועילות. תודות מיוחדות לתומר וייס, שסייע רבות באיתור הנתונים, ניתוחם והצגתם.

² לפי החלטת הממשלה 542, שאושרה בוועידת האקלים ב-2015, ישראל מחויבת להפחית משמעותית של הפליטות, בין היתר באמצעות הפחתת הנסועה. 542-policies/pmo_542 https://www.gov.il/he/departments/policies/pmo_542
³ לניתוח של משק החשמל והשפעתו על הפליטות ראו:

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/10-6-2020.aspx>
⁴ https://www.cbs.gov.il/he/publications/doclib/2021/22.shnatonenvironment/st22_07.xls

ככל שהמאמץ הבין-לאומי בנושא מתגבר.⁵ ואכן, לאחרונה התקבלה החלטת ממשלה מספר 171, העוסקת במעבר לכלכלה דלת פחמן ומתייחסת, בין השאר, לענף התחבורה.⁷

מאז הסטת רוב ייצור החשמל בישראל מפחם לגז טבעי (שפליטת הפחמן שלו בייצור יחידת אנרגיה נמוכה יותר) ובמקביל להגדלת שיעור ייצור החשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות, יורד משקלו של ייצור החשמל בסך הפליטות, ובמקביל עולה משקלם של הרכיבים האחרים, ובפרט משקל התחבורה (איור 1). אף שהעבודה אינה עוסקת בהשפעת הפליטות על תושבי ישראל, ראוי להזכיר כי שריפת הדלקים על ידי כלי תחבורה כרוכה בפליטת רעלים נוספים, שהשפעתם על האקלים אמנם מצומצמת, אך הם מזיקים מאוד לבריאות התושבים. הנזק הבריאותי בשל פליטות מענף התחבורה חמור במיוחד, שכן הרעלים נפליטים לאוויר בגובה פני הקרקע ובתוך ריכוזי האוכלוסין. השוואה בין-לאומית של רמת הרעלים באוויר מעלה שהחשיפה למזהמים בישראל גבוהה ביחס למדינות המפותחות ורמתה היא כזו של מדינות שהכלכלה בהן מבוססת על תעשיות פחם, נחושת ואלומיניום (איור 2)



כדי להתמודד עם סוגיה זו המליצו כלכלני ה-OECD לאחרונה לטפל בבעיית הגודש בכבישים.⁸ המלצה זו ממחישה את חשיבות הטיפול בזיהום האוויר הנובע מענף התחבורה. פתרונות אפשריים לזיהום זה הם מעבר

⁵ לחישוב ראו:

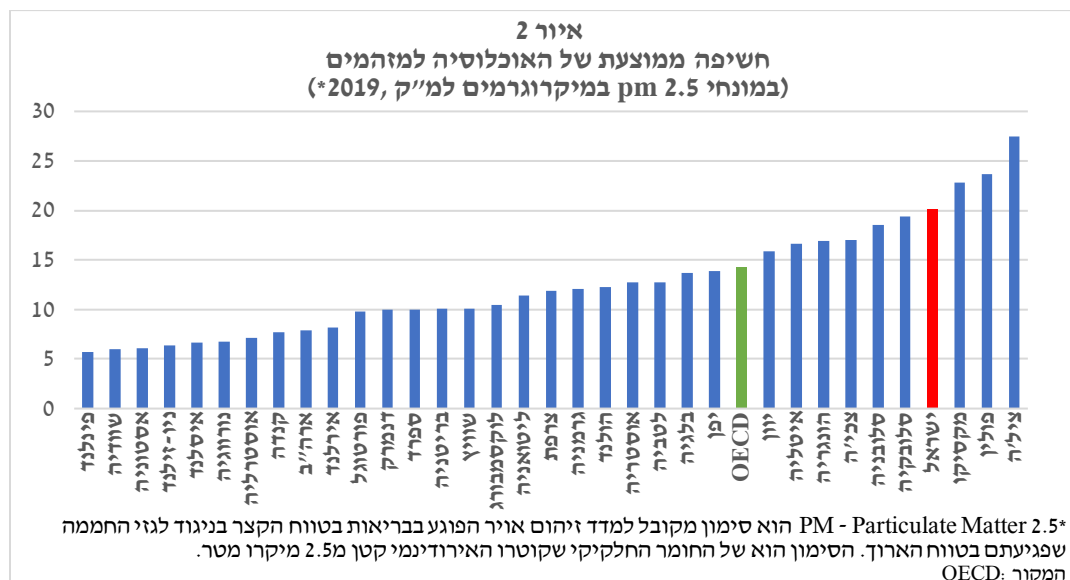
<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/10-6-2020.aspx>

⁶ ראו: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190926STO62270/what-is-carbon-neutrality-and-how-can-it-be-achieved-by-2050>

⁷ ראו סעיף 2.2 ו 1.2 https://www.gov.il/he/departments/policies/dec171_2021

⁸ OECD (2020), OECD Economic Surveys: Israel 2020, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/d6a7d907-en>.

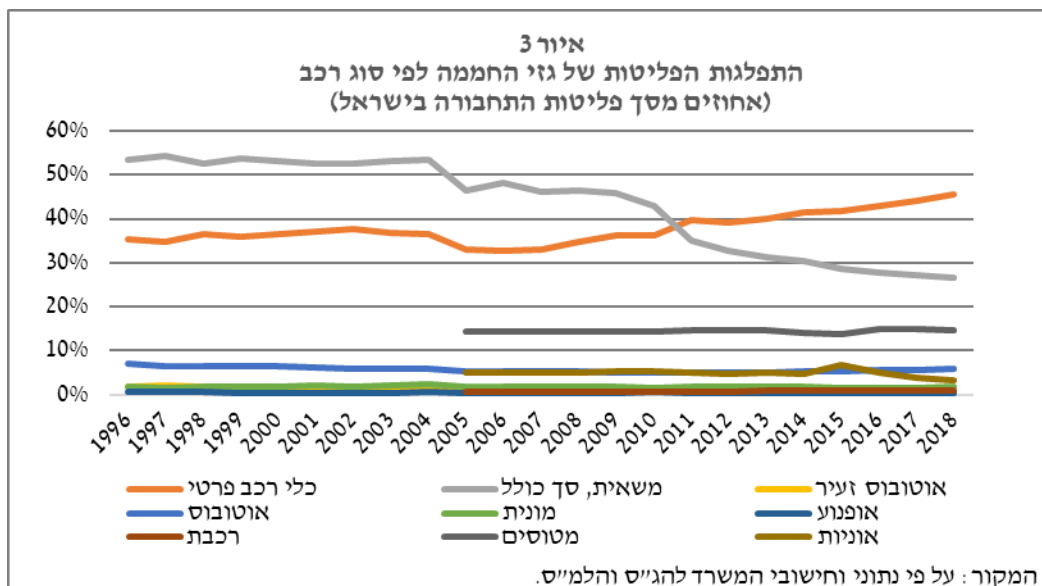
לתחבורה ציבורית, שהיהוים הנובע ממנה עבור כל נוסע נמוך מזה של התחבורה הפרטית, או מעבר לשימוש ברכבים נטולי פליטה (להלן, רנ"פ; Zero emission vehicles – ZEV) העבודה מתמקדת בפתרונות אלה.⁹



א. מעבר לרכבים נטולי פליטה

פירוק פליטת גזי החממה של ענף התחבורה לפי סוגי רכב (איור 3) מעלה כי מקורן של רוב הפליטות הוא רכבים פרטיים ומשאיות, ואילו משקלה של התחבורה הציבורית נמוך יותר. המשאיות היו המקור לרוב הפליטות במשך שנים רבות, ואז ירד משקלן במקביל לעליית משקל הרכבים הפרטיים. מספר מדינות, ביניהן סין, יפן, צ'ילה וקליפורניה, בחרו לקדם את הטיפול בפליטות של ענף התחבורה, בין היתר, על ידי קידום מעבר למשאיות נטולות פליטה (מנ"פ). עם זאת ניתן להעריך כי לעת עתה ההישענות על מעבר לטכנולוגיה זו היא מוקדמת מדי, שכן הניסיון העולמי בנושא עדיין דל: בשנת 2020 נעו על כבישי העולם 31,000 מנ"פ בלבד, והשימוש בטכנולוגיות הקיימות כדי להרחיב את השימוש במנ"פ מציב אתגרים מורכבים, עקב טווח הנסיעות של המשאיות ומשקל הסוללות הנגזר מכך. על כן, אימוץ טכנולוגיית המנ"פ הוא עדיין ראשוני. זאת ועוד, תחבורת המשאיות היא מערכת העורקים המרכזית של הכלכלה; לשינויים דרמטיים בעלויות של גורם ייצור יסודי זה עלולות להיות השלכות מרחיקות לכת, ולכן יש לעשותם בהדרגה ובזהירות. לעומת זאת מספר האוטובוסים – כלי רכב כבד נוסף – נטולי הפליטה על כבישי העולם גדול פי עשרים ומגיע ליותר מחצי מיליון (אם כי גם מספר זה זניח ביחס לסך האוטובוסים).

⁹ גם עידוד עבודה מהבית ותכנון עירוני התומך בתנועה ברגל ובאופניים, ואולי גם בשימוש בכלי רכב זעירים כאופניים חשמליים וקורקינטים חשמליים, יכולים להוריד את רמת הנסועה, ובכך להפחית את הפליטות של גזי חממה ורעלנים לאוויר. כך גם שיפור התכנון העירוני והתחבורתי, שיפור ההליכתיות העירונית, עירוב שימושים עירוניים ושיתופי רכבים ונסיעות – נושאים שכולם מחוץ לתחום העיסוק של עבודה זו.



כיוון שהטכנולוגיות הרלוונטיות למשאיות, מטוסים, אוניות וכו' עדיין אינן בשלות, העבודה מתמקדת בפורטנציאל הפחתת הפליטות מכלי הרכב הפרטיים ומהתחבורה הציבורית. סך הפוטנציאל של הפחתת הפליטות בטווח הבינוני הוא כ-50% מהפליטות של כלי התחבורה; מאחר שאלה עצמן הן רבע מסך הפליטות, מדובר בהפחתה של כ-12% מסך הפליטות.

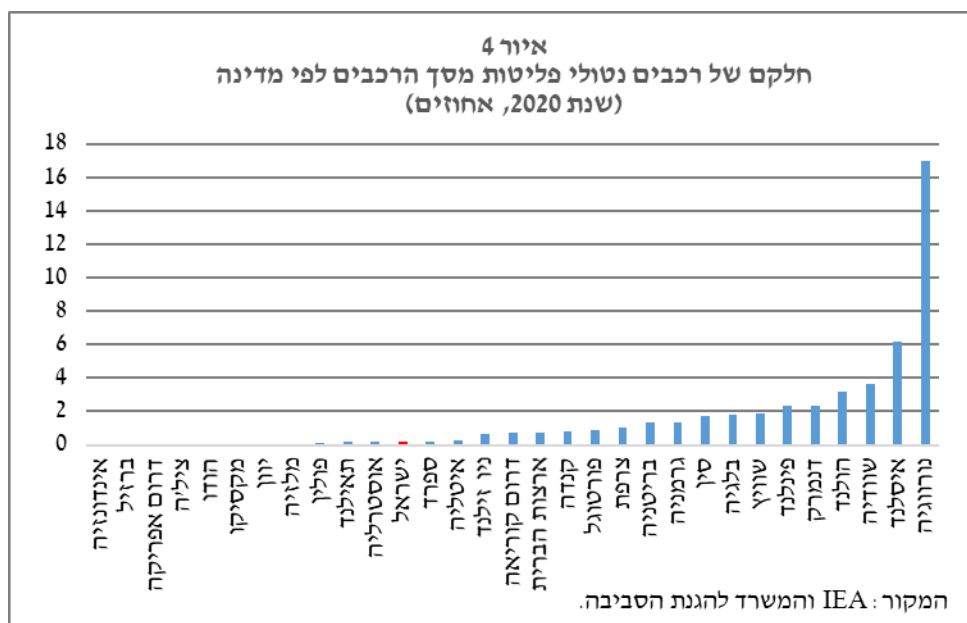
על פי דוח של סוכנות האנרגיה הבין-לאומית כ-5% מכלל המכירות של רכבים חדשים בעולם הן של רני"פים, רובן בסין ובמדינות אירופה.¹⁰ בשנת 2020 משקל הרני"פים מסך הרכבים עמד על כאחוז אחד, ולהערכת מומחי הסוכנות, בהשפעת מדיניות המעודדת מעבר לרני"פים שיעורם מסך הרכבים עשוי להגיע עד 2030 ל-7%. בחינה של שיעור הרני"פים מסך הרכבים במדינות שונות מלמדת ששיעורם במדינות סקנדינביה גבוה יחסית, ובנורבגיה הוא גבוה במיוחד. שיעור הרני"פים ברוב המדינות האחרות נמוך מאחוז אחד.

שאלה מרכזית המונחת לפתחם של מעצבי המדיניות בהקשר זה היא שאלת העיתוי של אימוץ הטכנולוגיה. מחד גיסא, איחור באימוץ הטכנולוגיות עלול לחשוף את ישראל לסנקציות בין-לאומיות, הקשורות להפחתת פליטות. מאידך, קצב אימוץ מדוד של טכנולוגיות חדשות, תוך הישענות על ניסיון מצטבר בעולם ושיפורים טכנולוגיים, מביא לחיסכון בעלויות המעבר אליהן – לא כל שכן בישראל, שהיא משק קטן המושפע מהמגמות הדומיננטיות בעולם. כך בעבר, הפיגור של ישראל ביישום של יעדי ייצור חשמל ממקורות מתחדשים התבטא בסופו של דבר בחיסכון כספי של מיליארדי דולרים, משום שהמחירים של ייצור חשמל ממקורות כאלה ירדו בכ-90%.¹¹ דוגמה נוספת - הפוכה - לחשיבות העיתוי של אימוץ טכנולוגיות היא התקנת הסולקנים (שהייתה מאוחרת ביחס למקובל באירופה) על ארובות תחנות הכוח הפחמיות. עלות ההתקנה הייתה כ-8.5 מיליארדי שקלים חדשים, והסולקנים נועדו לפעול עשרות שנים; אולם לאחרונה הוחלט לסגור את תחנות הפחם, וכך חלק ניכר מההשקעה

¹⁰ IEA (2021).

¹¹ לפירוט, ראה: <https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/27-9-17.aspx>

בסולקנים ירד לטמיון. הדילמה אם להכניס לשימוש כבר כעת מכוניות המונעות במימן, שיתרונותיהן בצידן – אך הטכנולוגיה הנדרשת לשם כך עדיין בהתהוות – היא דוגמה אקטואלית לדילמת העיתוי האופטימלי. דוגמאות אלו ממחישות שלעיתוי של אימוץ הטכנולוגיה יש השלכות מקרו-כלכליות לא מבוטלות.



תפקיד חשוב של המדינה בקידום הרנ"פים הוא המענה לכשל השוק המכונה "פרדוקס הביצה והתרנגולת", המאפיין את כניסתם לשימוש: מצד אחד, כל זמן שאין תשתית לרנ"פים לצרכנים לא יהיה כדאי לרכוש רכבים מסוג זה. מאידך, כל זמן שאין ביקוש לטעינה או למילוי מימן אין תמריץ כלכלי להקים תשתית כזאת. התערבות ממשלתית בתחום יכולה לתת מענה לכשל שוק זה. ביטוי לפרדוקס התקבל בסקר שערך משרד האנרגיה כדי לאתר צווארי בקבוק בדרך למעבר לרכב חשמלי. לפי הסקר החסם המרכזי שעליו דיווחו הנהגים הוא חוסר בעמדות טעינה במקום העבודה ובבית.¹² בעבודה אחרת, של משרד הבינוי והשיכון, עלה שצרכנים במדינות שונות אשר עברו לרכב חשמלי גם התקינו עמדת הטעינה בבית.¹³ כדי להתמודד עם כשל השוק, וכיוון שלהישארות במצב הקיים יש השלכות שליליות, החלו ממשלות בעולם בשנים האחרונות לפעול כדי להתייע את תהליך פיתוח התשתית לרנ"פים. גם הממשלה בישראל החלה לקדם את התהליכים הנדרשים להקמת תחנות הטעינה חשמליות ופיילוט של תחנת תדלוק מימנית ראשונה לתחבורה כבדה.¹⁴

ישנן כיום שתי טכנולוגיות לאגירת אנרגיה המאפשרות שימוש ברנ"פ: אגירת חשמל בסוללה¹⁵ ואגירה במימן¹⁶. יודגש כי טכנולוגיות האגירה בפני עצמן אינן מייצרות את הצורך להפחית את הפליטות של ייצור האנרגיה: פליטות גזי החממה של הרנ"פ אינן מתרחשות בזמן הנסיעה או הטעינה אלא בעת ייצור האנרגיה הנאגרת. משום כך תמהיל דלקים מזהם בייצור האנרגיה עבור הרנ"פ יביא רק להסטה של בעיית הפליטות ממקום גיאוגרפי

¹² https://www.gov.il/he/Departments/news/spokesperson_electric_vehicle

¹³ <https://www.gov.il/he/Departments/news/spokesman-12032020>

¹⁴ https://www.gov.il/he/departments/general/electric_vehicle_ac_dc

¹⁵ שם.

¹⁶ IEA (2019), The Future of Hydrogen, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

אחד לאחר.¹⁷ כך, במקרה של רכבים חשמליים הזיהום תלוי בתמהיל הדלקים בייצור החשמל, ובמקרה של רכבי מימן – באופן הפקת המימן. אמנם המעבר משריפת דלקים בריכוזי האוכלוסייה לשריפת גז טבעי בתחנות הכוח יקטין את פליטת הרעלנים לאוויר, אך ההשפעה על פליטות גזי החממה עשויה להיות מצומצמת. רק אם החשמל או האנרגיה ייוצרו באופנים שאינם מזהמים הרכבים המשתמשים באנרגיה זו יהיו "ירוקים" לחלוטין.

רכבים מימניים הפכו מסחריים רק בשנת 2014, וישנן הערכות שונות באשר לקצב כניסתם לשימוש בעשורים הקרובים.¹⁸ כיום יש בעולם כ-38,000 רכבים מימניים בלבד, בעיקר בסין, בארה"ב ובקוריאה הדרומית. ממשלת קוריאה החליטה להיות מובילה בתחום, ובמסגרת זו להסב חלק מהתחבורה הציבורית, ובפרט אוטובוסים ומשאיות לפינוי אשפה, לטכנולוגיה זו. היתרון של הרכב המימני על הרכב החשמלי מצוי במספר מישורים. ראשית, השימוש במימן אינו מגדיל את העומס על רשת החשמל. שנית, מילוי מימן אורך 3 עד 5 דקות, ואילו הטענה של רכב חשמלי אורכת כמה שעות או במקרה של הטענה מהירה 20 דקות.¹⁹ כמו כן, הסוללה החשמלית, הנדרשת עבור רכבים כבדים כגון משאיות, גדולה וכבדה במיוחד. לכן הטכנולוגיה המימנית אטרקטיבית במיוחד לגבי רכבים כבדים, ונראה שמעבר לאנרגיה מימנית יתחיל במגזר זה. תהליך הפקת מימן באמצעות שריפת גז טבעי ייצר גזי חממה, אך בכמות מופחתת ליחידת אנרגיה בהשוואה להפקת חשמל משריפת גז טבעי.

הטכנולוגיה המפותחת ביותר כיום לרני"פים היא רכבים חשמליים, שהאנרגיה בהם נאגרת באמצעות סוללות ליתיום; טכנולוגיה זו הופכת יותר ויותר כדאית, עם הירידה במחירי הסוללות. אלו מהווים כיום כאחוז אחד מהרכבים בעולם – רובם המכריע בסין – אך מספר הדגמים הולך וגדל מידי שנה, וכן המרחק שניתן לעבור באמצעות הרכב ללא הטענה מחדש.²⁰ היתרון של טכנולוגיה זו הוא הזמינות הטכנולוגית שלה. על בסיס נתוני הלמ"ס נעו על כבישי ישראל בשנת 2019 כ-3,500 רכבים חשמליים מסך הרכבים, שהוא מעט יותר מ-3.5 מיליון.²¹ לאלו הצטרפו, על בסיס נתוני יבואני הרכב, 1,500 רכבים בשנת 2020 ו-4,600 במחצית הראשונה של 2021.

אמידת היקף הפחמן הדו-חמצני הנפלט ממכוניות חשמליות (לאורך כל מחזור החיים שלהן) אינה פשוטה, וכאמור, תלויה ראשית כול בתמהיל הדלקים, המשמש לייצור החשמל. לדוגמה: מכונית המונעת בבנזין פולטת יותר פחמן דו-חמצני ממכונית בגודל דומה, המונעת בחשמל, שמיוצר היום בישראל – אולם לא כך היה אם החשמל היה מיוצר משריפת פחם. מעבר לכך ישנן סוגיות הנדסיות רלוונטיות נוספות, כגון היקף פליטת הפחמן הדו-חמצני בעת ייצור הסוללות בהשוואה לייצור המנועים הנוכחיים, יעילות השימוש במנועים חשמליים בתנאי אקלים שונים ועוד. מסיבה זו ישנם אומדנים שונים לגבי היחס שבין פליטות הפחמן הדו-חמצני של מכוניות חשמליות לזה של מכוניות מסורתיות.²²

¹⁷ מבחינה בריאותית (אך לא מבחינת גזי החממה) נודעת להסטה חשיבות לא מבוטלת, בשל הרחקת הפליטה מגובה פני הקרקע במרכזי הערים, ומשום שקל יותר לטפל בזיהום הנפלט מארובות, שמספרן קטן בהרבה ממספר המכוניות. נוסף על כך, נצילות האנרגיה בייצור חשמל גבוהה מזו של מנועי בעירה פנימית. נושאים אלה נמצאים מחוץ לתחום הטיפול של עבודה זו.

¹⁸ גרוסמן, ג', & שפירא, נ'. (אפריל 2021), IEA (2019).

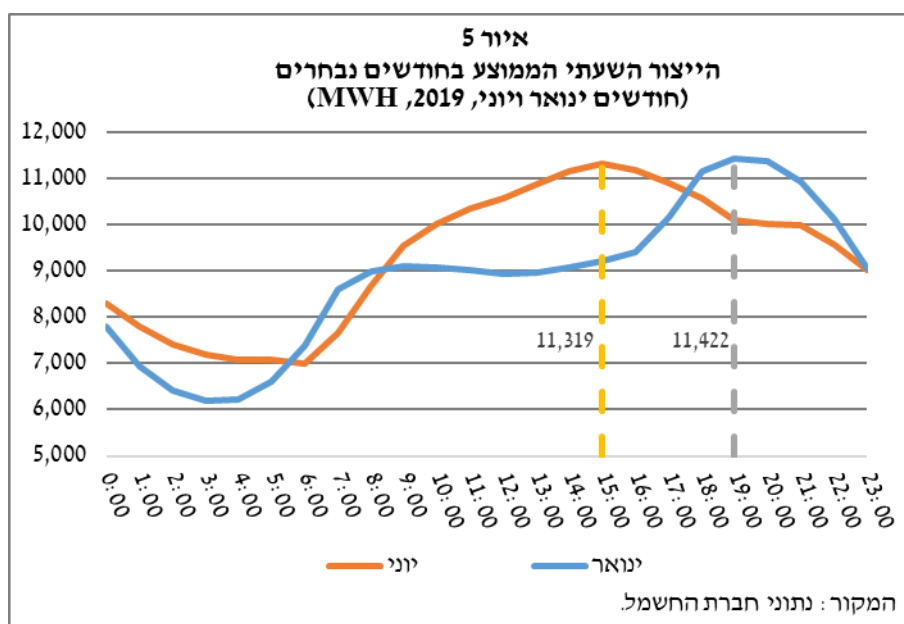
¹⁹ הטענה מהירה שונה באופן מהותי מהטענה סטנדרטית, מפני שבטכנולוגיות הקיימות היא מקצרת את חיי הסוללה במידה משמעותית ולכן גם מייקרת את השימוש ברכב החשמלי.

²⁰ IEA (2021)

²¹ <https://www.cbs.gov.il/he/publications/Pages/2020/%D7%9B%D7%9C%D7%99-%D7%A8%D7%9B%D7%91-%D7%9E%D7%A0%D7%95%D7%A2%D7%99%D7%99%D7%9D-2019.aspx>

²² Ager-Wick Ellingsen, L., Singh, B., & Hammer Stromman, A. (May 2016)

השימוש במכוניות המונעות בסוללת ליתיום מעלה מספר סוגיות נוספות. ראשית, ההעמסה על רשת החשמל. תחזיות משרד האנרגיה צופות גידול מדוד בצריכת החשמל עם המעבר לרכב חשמלי, ונראה כי מערכת הובלת החשמל בארץ מספקת - כל עוד שיעורם של כלי הרכב החשמליים אינו עולה על 10%. מאידך, גידול משמעותי מעבר ל-10% יחייב השקעה משמעותית בשדרוג של קווי הולכת החשמל.



שדרוג של קווי הולכת החשמל יתחייב גם אם גידול הביקוש יתרכז מלכתחילה בשעות שיא הביקושים.²³ איור 5 מציג את התפלגות צריכת החשמל בישראל ב-2019 במוצע ביום עבודה בחורף ובקיץ. מהאיור עולה ששעות השיא משתנות בין הקיץ לחורף: בקיץ שעת השיא של הצריכה הממוצעת היא סביב 15:00, ובחורף היא – סביב השעה 20:00. סביר להניח שההטענה של הרכבים החשמליים תתרחש לאחר ההגעה לעבודה או לאחר החזרה מהעבודה. אם ההטענה אכן תתרחש בבתי המגורים בשעות הערב הרי בחורף הדבר עלול להוסיף עומס רב בדיוק בשעות השיא של צריכת החשמל. לעומת זאת, הגידול בייצור חשמל באמצעים פוטו-וולטאים צפוי לייצר עודפי היצע באמצע היום, כאשר קרינת השמש בשיאה. תכנון מושכל של סוגיית ההטענה יחייב התייחסות לנושאים אלו, כי בהעדר פתרונות מספקים הביקוש הגבוה עלול לחייב ייצור חשמל בטכנולוגיות מזהמות בתחנות כוח שיפעלו רק בשעות שיא הביקוש. פתרון אחד לכך הוא להסיט את עודפי ההיצע מהצהריים לערב באמצעות אגירה, ככל שהטכנולוגיה מתקדם ותאפשר זאת. דרך חלופית היא להסיט את עודפי הביקוש מהערב לצוהריים באמצעות תמחור שעתי משתנה של החשמל. כדי לממש פתרון זה יש להעביר את משק החשמל למונים שבהם התמחור הוא שעתי²⁴ ולקדם הקמה של עמדות הטענה במקומות העבודה, במקומות החנייה הציבוריים, או אף על מדרכות.

²³ https://www.gov.il/he/Departments/publications/reports/electric_vehicle_040221

²⁴ למשל פיתוח שוקי אספקה שינהלו את הביקושים באופן אוטומטי. פיתוח שוק האספקה קיבל התייחסות ברפורמה שנערכה בחברת החשמל, וייתכן שהוא יוכל לתת מענה גם לתזמון הטענת הרכבים מעבר לדיפרנציאציה בשירותי החיוב על החשמל.

סוגיה שנייה היא שאלת המיסוי על רכבים חשמליים, שבשלב זה הם יקרים יותר (לפני מס) מרכבים קונבנציונליים. היום שיעור המס על מכוניות חשמליות בישראל נמוך מאוד (10% לעומת כ-60% במוצע על רכבים קונבנציונליים).²⁵

סוגיה נוספת, שחשיבותה תגדל עם גידול מספרן של המכוניות החשמליות, ובפרט של מספר המכוניות החשמליות הנגרטות, היא הטיפול בסוללה בסיום חייה. עקרונית ניתן להשית את עלות מיחזור הסוללות על כלל הציבור (באמצעות טיפול ממשלתי ישיר בסוללות שיוצאות משימוש), או על היצרנים (ובעקיפין על הצרכנים), באמצעות חיובם לקבל בחזרה את הסוללות המשומשות ולהיות אחראים למיחזורן. ממשלת בריטניה, לדוגמה, מחייבת את היצרנים המקומיים של מכוניות חשמליות ואת היבואנים של מכוניות חשמליות לאסוף את המכוניות החשמליות או הסוללות החשמליות לאחר תום השימוש בהן, ללא עלות, ולהעביר את הסוללות למתקן מיחזור ייעודי.²⁶ האיחוד האירופי מגבש מסגרת רגולטורית חדשה לטיפול במיחזור סוללות בכלל וסוללות לכלי רכב בפרט. מסגרת זו תרחיב את המסגרת שנקבעה ב-2012 במטרה לחייב את כלל יצרני הסוללות לטפל גם במיחזורן.²⁷ לעומת זאת בישראל החוק לטיפול סביבתי בצידוד חשמלי ואלקטרוני ובסוללות, שנכנס לתוקף בשנת 2014, מחריג סוללות של מכוניות חשמליות. לכן נראה שסוגיה זו מחייבת התייחסות של משרדי הממשלה הרלוונטיים בהקדם האפשרי.²⁸ גם השאלה אם המיחזור ייעשה בארץ, או שהסוללות המשומשות תישלחנה למיחזור בחו"ל, צריכה להיבחן במהירה, שכן העדפת האפשרות הראשונה תחייב להתחיל ביישומה בשנים הקרובות.²⁹

סוגיה נוספת היא בחירת טכנולוגיות ההטענה. זו נותחה במסגרת מחקר של משרד הבינוי והשיכון.³⁰ ישנם שני סוגים של עמדות הטענה: הראשונה זולה יותר אך מצריכה הטענה של שעה עד 8 שעות בהתאם לסוג הסוללה, ומתאימה להטענה במקומות העבודה ובבתים; השנייה מהירה יותר (זמן הטענה של 20–40 דקות), ולכן מתאימה להטענה בתחנות תדלוק בכבישים. ואולם המטענים של הטכנולוגיה המהירה יקרים יותר, הטכנולוגיה מחייבת אספקת חשמל בהספק גבוה יותר, כלומר מצריכה התאמה והשקעה במערכת החשמל, והיא גורמת לשחיקה גבוהה בהרבה של הסוללות, ולכן מגדילה בטווח הארוך את היקף הבעיה של מיחזור הסוללות. טרם התייצבה טכנולוגיה דומיננטית בהקשר זה, אולם נראה שעיקר ההטענה תהיה בטכנולוגיה האיטית יותר, בגלל המגרעות של הטעינה המהירה. אשר לצפי לגבי מחיריהם של הרכבים החשמליים – נראה שהמחיר צפוי להמשיך לרדת בשנים הבאות בזכות שיפורים טכנולוגיים ויתרונות-לגודל, לנוכח הגידול הניכר של היקפי הייצור.

²⁵https://www.gov.il/he/Departments/General/rules_for_electric_vehicles<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/11-03-2014-GreenTax.aspx>

²⁶ <https://www.gov.uk/guidance/waste-batteries-producer-responsibility>

²⁷ [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI\(2021\)689337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf)

²⁸ https://www.nevo.co.il/law_html/law01/500_735.htm#Seif30

²⁹ <https://www.adamteva.org.il/wp-content/uploads/2019/07/%D7%A4%D7%A1%D7%95%D7%9C%D7%AA-%D7%90%D7%9C%D7%A7%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%AA-%D7%91%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C-2017.pdf>

³⁰ ניתן להעריך כי המיחזור לא ייעשה בארץ, שכן נראה כי הוא ייעשה רק במדינות מעטות מאוד, ושאר המדינות תייצאנה אליהן את הסוללות למיחזור.

³⁰

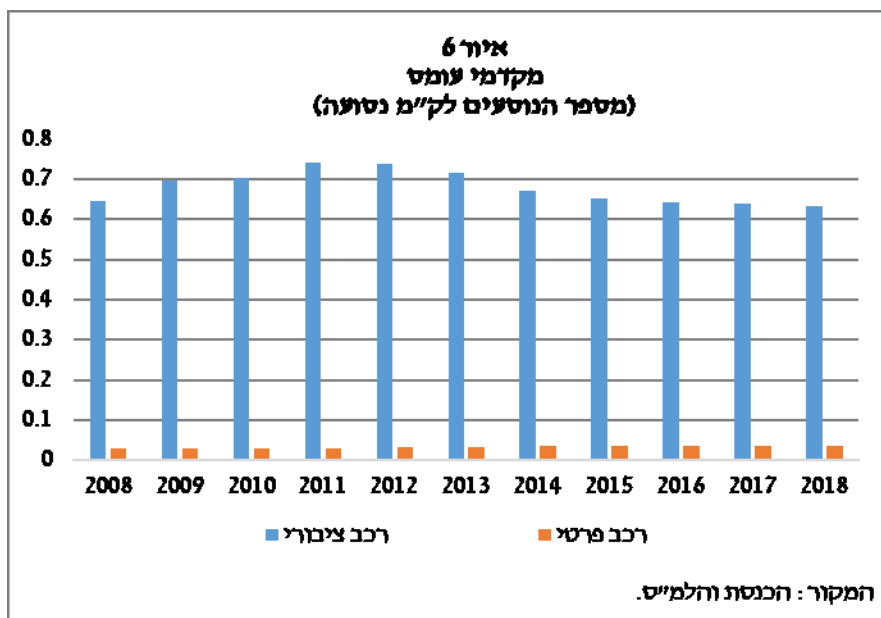
https://www.gov.il/BlobFolder/reports/tashtiyot_rechev_chashmali/he/documents_tashtiyot_rechev_chashmali.pdf

לסיכום סעיף זה: תהליך של מעבר מכלי רכב המונעים באמצעות מנוע בעירה פנימית לרנ"פים חשמליים החל להתממש בארצות רבות בעולם, ובעקבות זאת גם בישראל. התהליך צפוי להתעצם בשנים הקרובות, אולם קשה להעריך את קצב השינוי. מכל מקום, קידום התהליך מחייב את קובעי המדיניות השונים לתת בהקדם מענה למספר נושאים, שפורטו לעיל. תחום שעדיין לא טופל לעניין זה הוא אסדרת הטיפול בסוללות שייצאו משימוש. מעבר לכך נראה כי השינויים הטכנולוגיים המהירים בתחום זה יחייבו בשנים הקרובות התאמה שוטפת של המדיניות בנושא.

ב. מעבר לתחבורה ציבורית

דרך נוספת להתמודד עם בעיית הפליטות היא מעבר מתחבורה פרטית לתחבורה ציבורית, לרבות למערכות של הסעת המונים, שבה סך הפליטה מתחלק בין משתמשים רבים יותר. כדי לבחון אפשרות זו באופן כמותי יש להשוות את העלות האקלימית (כלומר הגרמים של פחמן דו-חמצני לנסועה) של נסיעה ברכב פרטי לעומת זו של מערכות להסעת המונים.

פליטות גזי החממה לק"מ נסיעה של אוטובוס, לדוגמה, גבוהות פי 7 מאלו של רכב פרטי אך מספר הנוסעים הממוצע באוטובוס גבוה יותר מפי 7 מזה של התחבורה הפרטית. משמע שהפליטות לנוסע לק"מ בתחבורה הציבורית נמוכות מאשר בתחבורה הפרטית.

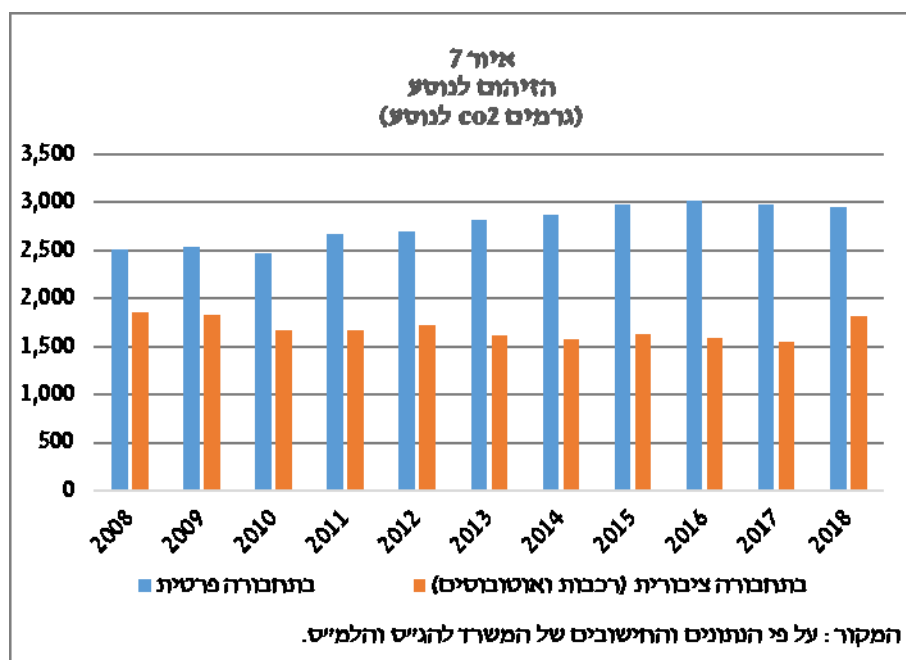


כדי להמחיש זאת איור 6 מציג את מקדמי העומס (מספר הנוסעים הממוצע לק"מ נסיעה) ברכבים פרטיים ובאוטובוסים. מהאיור עולה שבכל ק"מ נסיעה מספר הנוסעים בתחבורה הציבורית גבוה פי 20 מזה של התחבורה הפרטית.³¹ ואולם עקב מספר הנוסעים הגבוה לק"מ כל גרם שנפלט בתחבורה הציבורית בכל ק"מ

³¹ הדרך הקונבנציונלית להתייחס לנושא היא באמצעות מקדמי מילוי של רכבים שונים. אין בידינו מקדמי מילוי לישראל. נתונים מאירופה מעלים שמקדם המילוי של התחבורה הציבורית שם גדול פי כ-26 מזה של הפרטית. לפירוט ראו:

נסיעה מתחלק בין נוסעים רבים יותר, ולכן כמות הפליטות לכל נוסע לק"מ נמוכה יותר. עוד ניתן לראות שמספר הנוסעים לק"מ ברכבים הפרטיים יורד בשנים האחרונות, דבר שלא קורה בתחבורה הציבורית. זאת אומרת שהפליטות לנסיעת נוסע בתחבורה הפרטית עולות, כי מספר הנוסעים בכל נסיעה יורד.

מדד להיקף הירידה בפליטות עם המעבר מתחבורה פרטית לציבורית הוא גמישות הפליטה לאמצעי התחבורה³² – בכמה אחוזים ירד סך הפליטות של גזי חממה בישראל כתוצאה מהסתת אחוז אחד של נסועה מהתחבורה הפרטית לציבורית.



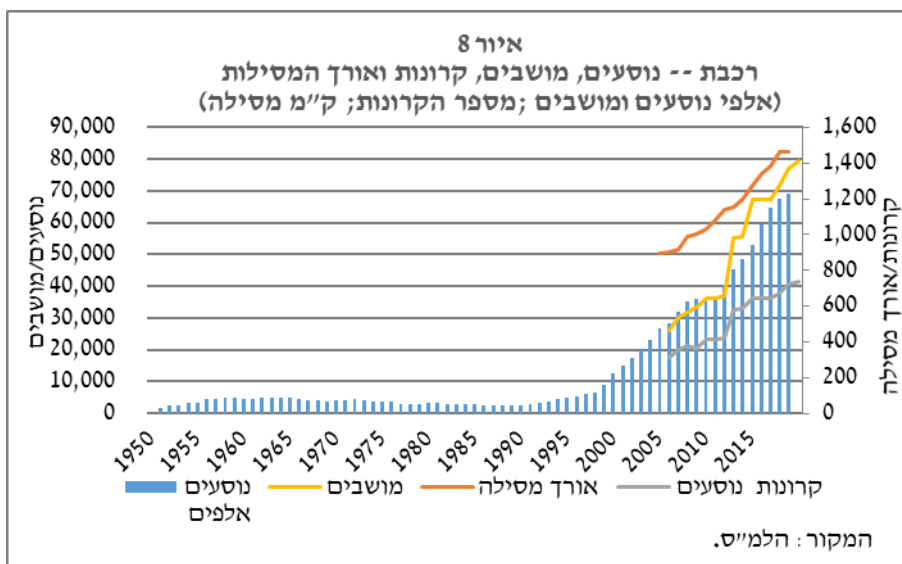
כדי לחשב את גמישות הפליטה לאמצעי התחבורה יש להתחשב הן במקדמי הפליטה של כל אמצעי תחבורה (ציבורי ופרטי) והן במקדמי העומס של כל אחד מהם. לשם כך מוצגים באיור 7 מדדי הפליטה לנוסע בתחבורה הפרטית לעומת הציבורית. מדד זה מתחשב בפליטה של כל סוג רכב לק"מ, אך גם במספר הנוסעים הממוצע לק"מ בכל רכב, ולכן הוא נותן ביטוי שלם יותר לעלות האקלימית של נסיעה בכל אחד מהם. מהאיור ניתן לראות שהעלות האקלימית של נסיעה בתחבורה הציבורית נמוכה מזו של התחבורה הפרטית.³³ כיוון שמקדם הפליטה של נוסע בתחבורה הציבורית הוא כ-40% מזה של נוסע בתחבורה הפרטית, הסטה של כל נוסע מהתחבורה הפרטית לציבורית תצמצם את הפליטה לנוסע ב-60%. עוד עולה מהאיור שהפער בין התחבורה הפרטית לציבורית בזיהום לנוסע גדל בשנים האחרונות. זאת משום שמספר הנוסעים לק"מ ברכב פרטי ירד, כפי שהוצג באיור 6, ואילו מספר הנוסעים ברכב ציבורי נותר כמעט לא השתנה.

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/occupancy-rates-of-passenger-vehicles/occupancy-rates-of-passenger-vehicles> (המספרים המוצגים הם באחוזים. כדי להגיע לנתון יש להכפיל את אחוז התפוסה באוטובוסים במספר המקומות הממוצע לאוטובוס).

³² גם כאן יש להדגיש שיש הטרוגניות רבה בנסיעות הנוסע – בין היתר בנסיעות בתוך העיר, בין ערים, בשעות שונות של היום וכו'. אומדן מדויק יותר יצטרך להתחשב בהטרוגניות הזאת, אך חישוב זה הוא מעבר לגבולות עבודה זו.

³³ החישוב כאן לא הביא בחשבון את הפליטה של משאיות. לכן המקדם של הרכב הפרטי צפוי להתעדכן כלפי מעלה.

בין מעצבי המדיניות שורר קונצנזוס שקיים ביקוש פוטנציאלי גבוה מאוד לתחבורה ציבורית, שאינו ממומש בשל איכות השירות, ולכן ניתן להסיט נסועה מהתחבורה הפרטית לציבורית באם השירות ישופר ויתוגבר. ביטוי לכך ניתן למצוא בהמלצות "ועדת טרכטנברג", שיחדו לתחבורה הציבורית פרק מיוחד³⁴, בתוכנית האסטרטגית של משרד התחבורה ומשרד האוצר³⁵, בדוח בנק ישראל 2017³⁶, בדוח של קרן המטבע הבין-לאומית מ-2018, בדוח של ה-OECD משנת 2018³⁷ וכן בדוח המיוחד של משרד מבקר המדינה בנושא התחבורה הציבורית³⁸. ביטוי אחר לעודפי הביקוש לתחבורה הציבורית ניתן לראות בגידול החד של מספר הנוסעים ברכבת עם גידול מספרם של קווי הרכבת הזמינים בין שנת 2000 ל-2010 ומשנת 2012 עד לתקופה הנוכחית, בפרט במספר הקרונות והמושבים (איור 8). נוסף על כך, במחקר שנערך בבנק ישראל נמצא כי קיימת נכונות גבוהה להשתמש ברכבת, כשהיא זמינה, וזאת בכל השכבות הסוציו-אקונומיות.³⁹



מלבד ההשפעה הישירה של הסטת נסועה מהתחבורה הפרטית לציבורית על האקלים ניתן לייצר השפעה נוספת על ידי הורדת הפליטות של התחבורה הציבורית. זאת על ידי פיתוח קווי אוטובוסים ירוקים חדשים – כלומר קווים מבוססי טכנולוגיות אגירה. אמנם כיום משקלה של התחבורה הציבורית בסך הפליטות אינו גבוה, אך הוא צפוי לגדול ככל שיוסטו נוסעים מהתחבורה הפרטית לציבורית, ובפרט אם תפותח מערכת להסעת המונים (מטרו) במרכז הארץ. כיוון שמגזר זה מנוהל באופן ריכוזי יחסית, ההסבה שלו לרני"פ עשויה להיות פחות

³⁴ https://www.gov.il/he/departments/policies/2011_des3756

³⁵ https://www.gov.il/BlobFolder/reports/development_of_public_transport-strategic_plan_december_2012/he/development_of_public_transport-strategic_plan_december_2012.pdf

³⁶

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Documents/%D7%AA%D7%97%D7%91%D7%95%D7%A8%D7%94%20%D7%A6%D7%99%D7%91%D7%95%D7%A8%D7%99%D7%AA%20%D7%91%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C%20%D7%95%D7%91%D7%90%D7%99%D7%A8%D7%95%D7%A4%D7%94.docx>

³⁷ Israel: Staff Concluding Statement of the 2018 Article for IV Mission.

<https://www.imf.org/en/News/Articles/2018/03/14/mcs031418-israel-staff-concluding-statement-of-the-2018-article-iv-mission>

³⁸ <https://www.mevaker.gov.il/he/publication/Articles/Pages/2019-Transport.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1>

³⁹ ראו: סוחוי וסופר (2020).

מורכבת. פיתוח תחבורה ציבורית נטולת פליטה יאפשר לענות על המשך הגידול של הביקוש לתחבורה בהיצע שפליטות גזי החממה שלו נמוכות. כדי להניע את פיתוח הרני"פ השקיעו כמה וכמה ממשלים – של הולנד, נורבגיה, קליפורניה, מסצ'וסטס, ניו ג'רזי, הודו, קנדה, ניו זילנד, צ'ילה וקולומביה – בפיתוח מערכות תחבורה ציבורית נטולות פחמן.⁴⁰ אשר לישראל – לפי החלטת הממשלה מיולי 2021 תותר משנת 2026 רכישת אוטובוסים עירוניים נטולי פליטה בלבד.⁴¹

החישובים המוצגים להלן מכמתים את האפקטיביות של השילוב שבין הסטת נסיעות מהתחבורה הפרטית לציבורית לבין הגדלת ההיצע של התחבורה הציבורית ושיפור איכותה, כדי לצמצם את טביעת הרגל האקלימית של ענף התחבורה בישראל. מכאן גם חשיבותם של צעדי המדיניות שנועדו לפעול בכיוון זה.

לוח 1

פרמטרים מרכזיים בענף התחבורה, ששימשו לחישוב הסימולציות

תחבורה ציבורית		תחבורה פרטית		
רכבת	אוטובוס	אופנוע	רכב פרטי	
מקדמי הפליטה (גרם לק"מ)				
13,063****	1,525	60	177	רכב בעל מנוע בעירה פנימית
רכב נטול פליטה				
11,267	640		99	לפי תמהיל הדלקים ב-2019
6,622	325		50	לפי תמהיל הדלקים הצפוי ב-2030
כמויות התחבורה בשנה (מיליונים)				
14.14	1,212	999	47,754	הנסועה (ק"מ)
			2,174*	מספר הנסיעות המוערך
68	767	96***	1,812**	מספר הנוסעים המוערך

ההבדל בין מספר הנסיעות למספר הנוסעים ברכב פרטי נובע ממקדם המילוי הממוצע, המוערך כיום כ-1.2 אנשים ברכב; בתחבורה הציבורית התייחסנו רק למספר הנוסעים.
 * חישוב הנסיעות בשנה: סך הכל הנסועה בשנה חלקי הנסועה לנסיעה. הנסועה לנסיעה חושבה כנסועה הממוצעת לרכב חלקי 365 חלקי 12 בהנחה שרכב פרטי נוסע 365 ימים בשנה פעמיים ביום בממוצע. (זוהו בקירוב למספר הרכבים על הכביש כפול 365 כפול 2).
 ** מספר הנוסעים בשנה הוא מספר הנסיעות בשנה חלקי מקדם העומס, המוערך היום כ-1.2.
 *** מחושב לפי מספר האופנועים על הכביש כפול 365 כפול 2 (בהנחה שכל אופנוע נוסע פעמיים ביום 365 ימים בשנה).
 **** מחושב על פי צריכת הסולר השנתית חלקי הנסועה השנתית כפול הפליטה מליטר סולר.
 מקדם הפליטה לפי תמהילי הדלקים השונים לגבי הרכבת מחושבים כפליטה מסולר ליחידת אנרגיה חלקי הפליטה מתמהיל הדלקים ליחידת אנרגיה כפול המקור: הלמ"ס והמשרד להגנת הסביבה..

⁴⁰ IEA (2021).

⁴¹ https://www.gov.il/he/departments/policies/dec171_2021

בסעיפים הקודמים תוארו שני נתיבי מדיניות מרכזיים להפחתת הפליטות של ענף התחבורה: רני"פים ומעבר לתחבורה ציבורית.⁴² בסעיף זה נציג תרחישים המבוססים על סימולציות שערכנו, הממחישים את הגמישות של פליטות גזי חממה לכל אחד מכיווני המדיניות. בתרחישים מכומת פוטנציאל ההשפעה של כל נתיב על סך הפליטות של גזי חממה בישראל. נדגיש שלא מדובר בתחזיות מפורטות לגבי ענף התחבורה או לגבי הפליטות של גזי החממה, אלא בתחשיבים בסיסיים "על גב מעטפה". התרחישים עונים על השאלה: בכמה תרד סך הפליטה של גזי חממה אם תיושם מדיניות כזאת או אחרת? בפרט: בכמה תרד פליטת גזי החממה עם העברת חלק מהתחבורה הפרטית ממנועי בעירה פנימית למנועים חשמליים? ובכמה תרד פליטת גזי החממה עם הסטת חלק מהנסועה הפרטית לתחבורה ציבורית – בהתאם למקורות האנרגיה המשמשים להנעתה?

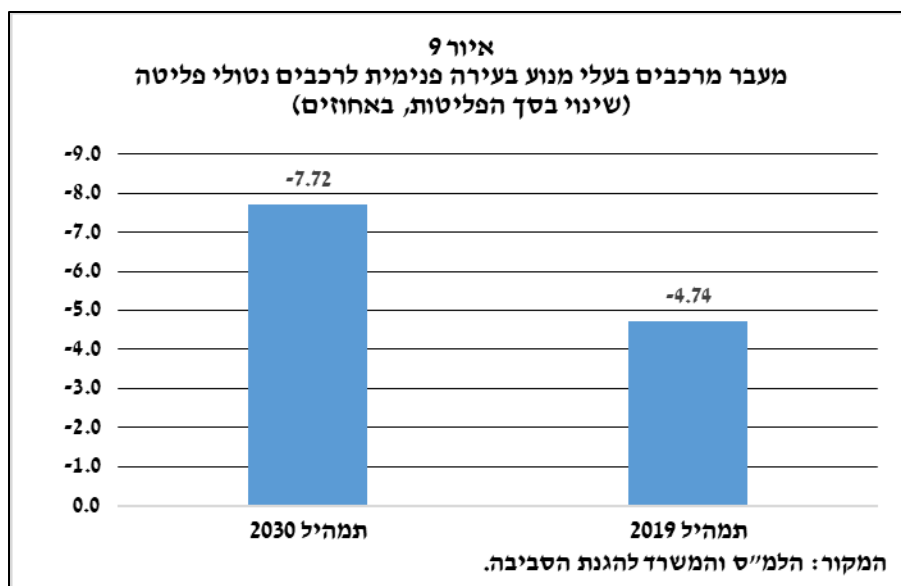
התרחישים מסתמכים על פרמטרים שחלקם הוצגו ותוארו בחלקים הקודמים, והם מסוכמים בלוח 1. כפי שתואר לעיל, מקדמי הפליטה הם כמות הפליטה (בגרמים של פחמן דו-חמצני) שפולט כל כלי רכב בנסיעה של ק"מ אחד. נציין שהפרמטרים המוצגים כאן הם ממוצעים, והם משתנים בין כלי רכב מסוגים שונים, גדלים שונים ואף לפי תנאי מזג האוויר. חישוב מדויק יותר של פוטנציאל הפחתת הפליטות יצטרך להתחשב בשונות הזו. מהלוח עולה שמקדם הפליטה הממוצע של רכב פרטי קונבנציונלי הוא כ-177 גרם לק"מ. מקדם הפליטה של אופנוע קונבנציונלי נמוך יותר, משום שהוא דורש פחות אנרגיה לק"מ נסיעה. אוטובוס קונבנציונלי פולט פי 8.5 פחמן דו-חמצני מאשר רכב פרטי לנסיעה של מרחק דומה ורכבת ופי 8.5 מאוטובוס. נציין בהקשר זה שהפליטה של הרכבת נובעת בין היתר בשל היותה מונעת בסולר. רכבת ישראל מצויה כעת בתהליך של חשמול כל מערך הרכבות, שיימשך עוד מספר שנים,⁴³ ואז הפליטות מהרכבת יהיו נמוכות בהרבה.

מעבר לרכבים נטולי פליטה מוריד את רמת הפליטות לכל ק"מ נסועה בהתאם לתמהיל הדלקים שבאמצעותו מייצרים את החשמל. בפרט, רכב פרטי מונע בחשמל פולט 28% עד 56% מהפליטות של רכב קונבנציונלי, בהתאם לתמהיל הדלקים שבאמצעותו יוצר החשמל. מעבר מאוטובוס קונבנציונלי לחשמלי מוריד בין 60%-ל-80% מהפליטה לכל ק"מ, וברכבת – בין 15%-ל-50%. מספרים אלה מעידים על ההשפעה של תמהיל הדלקים והחשיבות של חשמול הרכבת. בלוח מצוין גם מספר הנוסעים באמצעי התחבורה שלגבי חלקם יש נתונים רשמיים וחלק אחר, בהעדר נתונים, חושב על בסיס הנחות המפורטות בלוח 1. נדגיש שאין בידינו נתון על מספר הנוסעים ברכבים פרטיים, והחישוב כאן נשען על הנחות מפשטות.

⁴² הדיון במשאיות, מטוסים, אוניות ושאר כלי תחבורה הוא, כאמור, מחוץ לתחום העיסוק של העבודה.

⁴³ החשמול צפוי להסתיים בין השנים 2025 ו-2029:

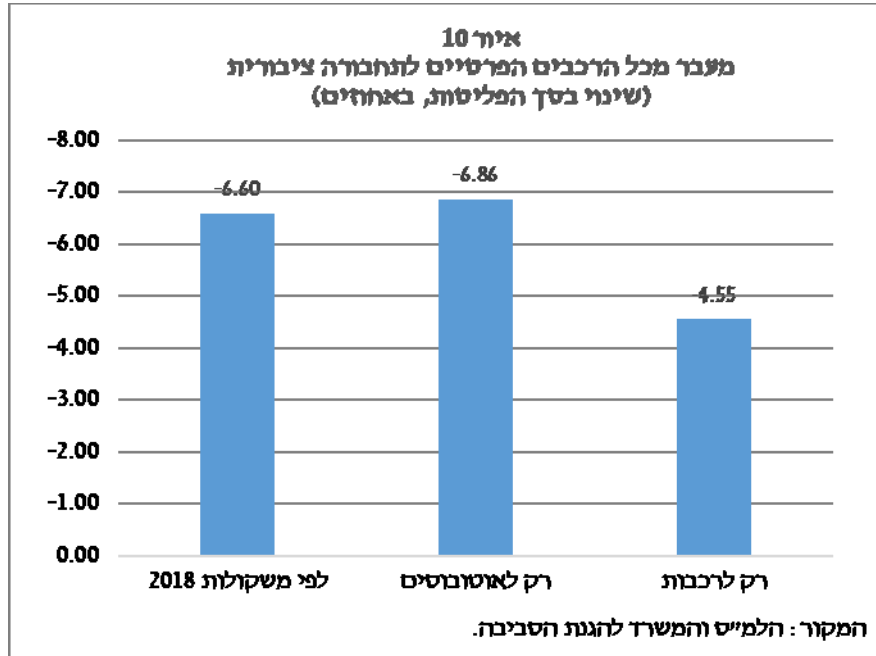
[https://www.mevaker.gov.il/\(X\(1\)S\(zpxwuj2fz3nhfil5mvs1cw2a\)\)/sites/DigitalLibrary/Pages/Reports/3831-16.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1](https://www.mevaker.gov.il/(X(1)S(zpxwuj2fz3nhfil5mvs1cw2a))/sites/DigitalLibrary/Pages/Reports/3831-16.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1)



התרחיש הראשון שאנו בוחנים ומציגים את תוצאותיו באיור 9 הוא של חישמול התחבורה הפרטית. כלומר מעבר מכלי רכב פרטיים המונעים על ידי מנוע בעירה פנימית לכלי רכב חשמליים. כפי שתואר לעיל, הצטמצמות הפליטה הנובעת מחשמול זה תלויה בהרכב הדלקים שישמש לייצור החשמל הנאגר בסוללת הרכב החשמלי. לפיכך בחנו שני תרחישים (איור 9): הראשון לתמהיל הדלקים של 2019 והשני לזה הצפוי ב-2030, שבו אין כלל שריפת פחם, ושיעור האנרגיות המתחדשות הוא 30%. מהלוח עולה שביחס לסך הפליטות במשק (מכל המקורות) בשנת 2018 לו הוסבו הרכבים הפרטיים לרנ"פים היה סך הפליטות נמוך יותר ב-4.7%. משמע שחשמול של אחוז אחד מהתחבורה הפרטית מפחית את סך הפליטות במשק בכארבע מאיות האחוז. תמהיל הדלקים הסביבתי יותר, הצפוי ב-2030, מביא להפחתה גדולה יותר של הפליטות – עד לכמעט 8 מאיות האחוז.

תרחיש נוסף, המוצג באיור 10, הוא של הסטת נוסעים מהתחבורה הפרטית לתחבורה הציבורית. במסגרת זו נבחנו הסטה לאוטובוסים, לרכבות או לשניהם – כלומר לתחבורה ציבורית בכללה – כאשר תמהיל הנוסעים בין רכבות לאוטובוסים נותר במשקלות של 2018.⁴⁴ הסטה של הנוסעים מתחבורה פרטית לציבורית, כאשר התמהיל בין אוטובוסים לרכבות נותר כפי שהיה ב-2018, צפויה להפחית את הפליטות ביותר מ-6% ביחס למצב הקיים: ירידת הפליטות של התחבורה הפרטית בשיעור של 10% וקיצוץ 4% בגין תוספת הפליטות בתחבורה הציבורית. ההשפעה של הסטת אחוז אחד מהנסועה מהתחבורה הפרטית לציבורית תפחית את סך הפליטות ב-6.6 מאיות האחוז. כאמור, אומדן השפעה זה מוטה כלפי מטה בגלל שיעור החשמול הנמוך של הרכבת, שיתעצם בשנים הקרובות.

⁴⁴ תרחיש של הסטת 100% מהתחבורה נועד להמחיש את הגבול הפוטנציאל של השינוי, ולא להציג תרחיש מציאותי.



לוח 2

הירידה הצפויה בפליטות גזי החממה לפי שילוב סימולציות ובתרחישים שונים
 (אחוזים מסך הפליטות)

מעבר של 100 אחוזים מהתחבורה הציבורית לרני"פ

תמהיל הדלקים ב-2030

תמהיל הדלקים ב-2019

-11.7

-11.9

-9.5

-10.2

-10.5

-6.7

מעבר של 100 אחוזים מהרכב פרטי לתחבורה ציבורית

לפי המשקלות ב-2018

רק לאוטובוסים

רק לרכבות

המקור: הלמ"ס והמשרד להגנת הסביבה.

תרחישים נוספים, המשלבים הסטת נוסעים וכן את חשמול התחבורה, מוצגים בלוח 2. כל אחד מהטורים בלוח מציג את התוצאות לפי תמהיל אחר של ייצור החשמל. בפרט, תמהיל 2019 כולל עדיין שימוש בתחנות פחמיות, והאנרגיות המתחדשות מהוות בו רק אחוזים בודדים, ואילו תמהיל 2030 אינו כולל תחנות פחמיות כלל וכולל 30% של אנרגיות מתחדשות. השורות בלוח מתארות כל אחת תרחיש של הסטת נוסעים מהתחבורה הפרטית לתחבורה הציבורית. על כן כל תרחיש משלב הנחות לגבי החשמול של התחבורה יחד עם הסטה של הנסועה מהתחבורה הפרטית לציבורית. ניתן לראות ששילוב אמצעי המדיניות מעלה את ההשפעה עד ל-12% במקרה

המקסימלי. נוסף על כך הלוח ממחיש את ההשפעה המשתנה של כלי המדיניות כשתמהיל הדלקים שונה. בפרט, תמהיל דלקים ירוק יותר בייצור החשמל הופך את כלי המדיניות בתחום פליטות התחבורה לאפקטיביים יותר.

ד. סיכום ומסקנות

כיום ישראל עומדת ביעדי ההפחתה שהציבה לעצמה במסגרת הסכם פריז, ונראה שתעמוד בהם גם בשנת 2030. עם זאת, החמרת הקריטריונים בעולם תחייב לנקוט צעדים נוספים, שהשפעתם תבוא לידי ביטוי בעוד שנים רבות.⁴⁵ לפיכך החליטה ממשלת ישראל ביולי 2021 על מעבר לכלכלה דלת פחמן ותמחור פליטות גזי חממה באמצעות מס פחמן.⁴⁶ חלקו של ענף התחבורה בסך פליטות גזי החממה בישראל גדול ואף הולך וגדל. על כן מתחייבת מדיניות לצמצום הפליטות מכלי התחבורה, כדי להמשיך ולעמוד בקריטריונים הבין-לאומיים.

העבודה מנתחת שני נתיבי מדיניות לצמצום פליטות גזי החממה של ענף התחבורה – מעבר לרכבים נטולי פליטה ומעבר לשימוש בתחבורה ציבורית. פיתוח כל אחד מהם טומן בחובו תועלת מבחינה אקלימית, שנאמדת בסימולציות המוצגות בעבודה. עולה מהן כי המרת אחוז אחד של הנסועה בתחבורה הפרטית מרכבים המבוססים על מנוע בעירה פנימית לרכבים נטולי פליטה תפחית מסך הפליטות של גזי חממה בין חמש לשמונה מאיות האחוז, והמרת אחוז אחד מהנסועה בתחבורה הפרטית לנסועה בתחבורה הציבורית (ברמת החשמול הנוכחית) תפחית פליטות אלה במעט יותר משש מאיות האחוז. המרה כזאת ועמה חשמול מערכת התחבורה הציבורית יפחיתו את הפליטות בכעשירית האחוז.

כדי לקדם את הפתרונות לצמצום הפליטות ממערכת התחבורה חשוב להקדים ולטפל בבעיית העומס שעלול להיווצר במערכת החשמל בגין ההטענה של הרכבים החשמליים; זאת באמצעות הסטת ההטענה מהערב לצוהריים, פיתוח טכנולוגיות אגירה, ניהול הביקושים ועוד. לנוכח הביקוש הפוטנציאלי לתחבורה ציבורית בישראל וההשקעה הציבורית הנדרשת ממילא בתחום זה, חשוב שהשקעה זו תנווט אל רכבים נטולי פליטה. בהקשר זה יש לשקול גם הכנסת כלי רכב כבדים המונעים בטכנולוגיות מימן, בהתאם לזמינותה.

תוכנית השקעה בתחבורה ציבורית ירוקה תעצים את ההשפעה של הסטת נסועה מהתחבורה הפרטית לציבורית על הפחתת הפליטות של גזי חממה, בהפחיתה גם את הפליטות של התחבורה הציבורית. תוכנית שכזו תוכל לסייע בהתמודדות עם כשל 'הביצה והתרנגולת', (שכן מעטפת השירותים הנדרשים עבור כלי רכב חשמליים, אשר תוקם במסגרת תוכנית זו לצורכי התחבורה הציבורית החשמלית, תוכל להתפשט משם למגזר הרכבים הפרטיים). פיתוח תחבורה ציבורית ירוקה בישראל יאותת על מחויבותה לקדם סביבה אקלימית ירוקה יותר, באופן התואם את התחייבויותיהן של מדינות רבות, שאומצו בתחזיות הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה. על פי

⁴⁵ בהקשר זה יש להתחשב גם באורך הזמן הנדרש בישראל לקידום תקינה והשקעה חדשה. פורת (2009) מצא שבכ-90% מהפרויקטים התחבורתיים בישראל הזמן בפועל ארוך מהזמן המתוכנן, ושהדחייה הממוצעת היא של כ-60% מהזמן.

⁴⁶ https://www.gov.il/he/departments/policies/dec171_2021

https://www.gov.il/he/departments/policies/dec286_2021

תחזיות אלה הגידול המשמעותי ביותר הצפוי במספר הרכבים החשמליים בשנים הקרובות יהיה במספר האוטובוסים.⁴⁷

מקורות

בנק ישראל. (מרץ 2014). מיסוי "ירוק" ושינויים בדפוסי הקנייה של מכוניות פרטיות. דוברות והסברה כלכלית, ירושלים. אוחזר מתוך

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/11-03-2014-GreenTax.aspx>

בנק ישראל. (מרץ 2018). התחבורה הציבורית בישראל ובאירופה. ירושלים: דוברות והסברה כלכלית. אוחזר מתוך

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Documents/%D7%AA%D7%97%D7%91%D7%95%D7%A8%D7%94%20%D7%A6%D7%99%D7%91%D7%95%D7%A8%D7%99%D7%AA%20%D7%91%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C%20%D7%95%D7%91%D7%90%D7%99%D7%A8%D7%95%D7%A4%D7%94.docx>

גאלו, ל', & מרגונינסקי, י'. (יוני 2020). המאבק העולמי בהתחממות הגלובלית והשלכותיו על ישראל. חטיבת המחקר. ירושלים: בנק ישראל. אוחזר מתוך

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/10-6-2020.aspx>

גאלו, ל', & פורת, י'. (ספטמבר 2017). התפתחות משק החשמל בישראל - לקראת משק חשמל בר קיימא. חטיבת המחקר. ירושלים: בנק ישראל. אוחזר מתוך

<https://www.boi.org.il/he/NewsAndPublications/PressReleases/Pages/27-9-17.aspx>

גרוסמן, ג', & שפירא, נ'. (אפריל 2021). שילוב מימן במשק האנרגיה. הטכניון. מוסד שמואל נאמן. אוחזר מתוך

https://www.neaman.org.il/Files/Hydrogen_Final_Report_20210425103732.703.pdf

הלמ"ס. (2021). פליטות גזי חממה, לפי מקור. הלמ"ס. אוחזר מתוך

https://www.cbs.gov.il/he/publications/doclib/2021/22.shnatonenvironment/st22_07.xls

הלמ"ס. (יולי 2020). כלי רכב מנועיים 2019. אוחזר מתוך

<https://www.cbs.gov.il/he/publications/Pages/2020/%D7%9B%D7%9C%D7%99-%D7%A8%D7%9B%D7%91-%D7%9E%D7%A0%D7%95%D7%A2%D7%99%D7%99%D7%9D-2019.aspx>

⁴⁷ <https://www.iea.org/articles/global-ev-policy-explorer>

- המשרד להגנת הסביבה. (2012). חוק לטיפול סביבתי בציוד חשמלי ואלקטרוני ובסוללות, התשע"ב-2012 ותקנות מתוקף החוק. פסולת ומחזור. נבו. אוחזר מתוך
https://www.nevo.co.il/law_html/law01/500_735.htm#Seif30
- מזכירות הממשלה. (יולי 2021). מעבר לכלכלה דלת פחמן. ירושלים: משרד ראש הממשלה. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/he/departments/policies/dec171_2021
- משרד האוצר, & משרד התחבורה. (דצמבר 2012). פיתוח התחבורה הציבורית. ירושלים. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/BlobFolder/reports/development_of_public_transport-strategic_plan_december_2012/he/development_of_public_transport-strategic_plan_december_2012.pdf
- משרד האנרגיה. (2015). החלטת ממשלה מספר 542. משרד האנרגיה. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/he/departments/policies/pmo_542
- משרד האנרגיה. (מאי 2018). משרד האנרגיה בדק את המוכנות, החסמים והמוטיבציה בקרב הציבור הישראלי לעבור לרכב חשמלי. מהסקר עלה כי ללא אפשרות לטעינה ביתית ובמקום העבודה – הנהגים בישראל לא ירכשו רכב חשמלי. יחידת המדען הראשי. הודעות דוברות. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/he/Departments/news/spokesperson_electric_vehicle
- משרד האנרגיה. (פברואר 2021). השפעות רכבים חשמליים על רשת החשמל. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/he/Departments/publications/reports/electric_vehicle_040221
- משרד האנרגיה. (פברואר 2021). עמדות טעינה ותמיכות לעמדות. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/he/departments/general/electric_vehicle_ac_dc
- משרד הבינוי והשיכון. (מאי 2020). תשתיות לטעינת רכבים חשמליים בבנייני מגורים. מינהל הנדסה וביצוע, אגף תורת הבנייה ופיתוח הנדסי. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/BlobFolder/reports/tashtiyot_rechev_chashmali/he/documents_tashtiyot_rechev_chashmali.pdf
- משרד הבינוי והשיכון. (מרץ 2020). משרד הבינוי והשיכון מקדם תוכנית מהפכנית לטעינת כלי רכב חשמליים בבנייני מגורים. יחידת החדשות, המחקר והפיתוח. הודעות דוברות. אוחזר מתוך
<https://www.gov.il/he/Departments/news/spokesman-12032020>
- משרד התחבורה. (אפריל 2021). כללים לרכב חשמלי. אוחזר מתוך
https://www.gov.il/he/Departments/General/rules_for_electric_vehicles
- משרד מבקר המדינה. (2020). ביצוע פרויקט חשמול קווי הרכבת ופתיחת הקו המהיר לירושלים- ביקורת מעקב. ירושלים: מבקר המדינה. אוחזר מתוך

[https://www.mevaker.gov.il/\(X\(1\)S\(zpxwuj2fz3nhfil5mvs1cw2a\)\)/sites/DigitalLibrary/Pages/Reports/3831-16.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1](https://www.mevaker.gov.il/(X(1)S(zpxwuj2fz3nhfil5mvs1cw2a))/sites/DigitalLibrary/Pages/Reports/3831-16.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1)

משרד מבקר המדינה. (מרץ 2019). פרסום דוח "משבר התחבורה הציבורית". ירושלים: מבקר המדינה. אוחזר מתוך

[https://www.mevaker.gov.il/\(X\(1\)S\(v0xqqpyighqo51kaywyeuggv\)\)/he/publication/Articles/Pages/2019-Transport.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1](https://www.mevaker.gov.il/(X(1)S(v0xqqpyighqo51kaywyeuggv))/he/publication/Articles/Pages/2019-Transport.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1)

משרד ראש הממשלה. (אוגוסט 2021). תמחור פליטות גזי חממה. ירושלים: מזכירות הממשלה. אוחזר מתוך

https://www.gov.il/he/departments/policies/dec286_2021

משרד ראש הממשלה. (אוקטובר 2011). אימוץ המלצות דו"ח הוועדה לשינוי כלכלי-חברתי - המשך הדיון (דו"ח "ועדת טרכטנברג"). ירושלים: מזכירות הממשלה. אוחזר מתוך

https://www.gov.il/he/departments/policies/2011_des3756

סוחוי, ט', & סופר, י'. (פברואר 2019). איך מגיעים לעבודה בישראל? מאפייני יישוב וגורמי פרט. חטיבת המחקר. ירושלים: בנק ישראל. אוחזר מתוך

<https://www.boi.org.il/he/Research/Pages/dp201902h.aspx>

שמאי, ח'. (יולי 2017). פסולת אלקטרונית בישראל. מכון הנגב: אדם טבע ודין. אוחזר מתוך

<https://www.adamteva.org.il/wp-content/uploads/2019/07/%D7%A4%D7%A1%D7%95%D7%9C%D7%AA-%D7%90%D7%9C%D7%A7%D7%98%D7%A8%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%AA-%D7%91%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C-2017.pdf>

Ager-Wick Ellingsen, L., Singh, B., & Hammer Stromman, A. (May 2016). The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. Norwegian University of Science and Technology, Industrial Ecology Programme and Department of Energy and Process Engineering. Trondheim, Norway: Environ. Res. Lett. 11. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054010>

Environment Agency. (June 2014). Waste batteries: producer responsibility. UK: Gov.uk. Retrieved from <https://www.gov.uk/guidance/waste-batteries-producer-responsibility>

European Environment Agency. (Aug 2015). Occupancy rates of passenger vehicles. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/occupancy-rates-of-passenger-vehicles/occupancy-rates-of-passenger-vehicles>

European Parliament. (October 2019). What is carbon neutrality and how can it be achieved by 2050? Society. EU: European Parliament. Retrieved from <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190926STO62270/what-is-carbon-neutrality-and-how-can-it-be-achieved-by-2050>

Halleux, V. (July 2021). New EU regulatory framework for batteries. Research Service. European Parliament. Retrieved from [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI\(2021\)689337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf)

IEA. (April 2021). Global EV Outlook 2021. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

IEA. (April 2021). Global EV Policy Explorer. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/articles/global-ev-policy-explorer>

IEA. (June 2019). The Future Of Hydrogen. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

IMF. (March 2018). Israel: Staff Concluding Statement of the 2018 Article IV Mission. United States: IMF. Retrieved from <https://www.imf.org/en/News/Articles/2018/03/14/mcs031418-israel-staff-concluding-statement-of-the-2018-article-iv-mission>

OECD. (September 2020). OECD Economic Surveys: Israel 2020. Paris: OECD. Retrieved from https://read.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-economic-surveys-israel-2020_d6a7d907-en#page1