



המשרד להגנת הסביבה



המכון הישראלי
לדמוקרטיה



ישראל 2050 – כלכלה משגשגת בסביבה מקיימת

השפעות התוכנית על הצמיחה המקרו-כלכלית בישראל

נתן זוסמן | רוסלנה רחל פלטניק | אילת דוידוביץ' | הילה שואף-קולביץ

ייעוץ וליווי

ד"ר גיל פרואקטור, יובל לסטר, המשרד להגנת הסביבה

דפנה אבירם-ניצן, ארז סומר, יואב גולדשטיין, המכון הישראלי לדמוקרטיה

Prof. Volker Krey, Prof. Keywan Riahi, Dr. Matthew Giddens, IIASA

רון קמרה, Ecotraders

תודות

ד"ר קובי ברוידא, בנק ישראל

ישראל ליכטיג, החשב הכללי

אורית הלוי, המועצה הלאומית לכלכלה

ד"ר אורי שרון, רוני בר, שחר סולר, מינהל התכנון

ד"ר שמואל אברמסון, נועה ליטמנוביץ', משרד האוצר

ד"ר הודה משני, חזי ליפשיץ, אלכס קליינר, משרד האנרגיה

ד"ר אריק ריבקיין, עוז כץ, משרד הכלכלה

אביטל עשת, המשרד להגנת הסביבה

שי קדם, עידו קליין, משרד התחבורה

סופיה איגדלוב, פאני ג'וברט, אברי שכטר, עומר תמיר, EcoTraders

תוכן העניינים

5	תקציר
13	מבוא
16	פרק 1: הסכם פריז 2015
21	פרק 2. סקירה בינלאומית של ניתוחי עלות-תועלת של רפורמות להפחתת פליטות גזי חממה
36	פרק 3. גישת המקרו לאימוץ יעדים להפחתת פליטות מזהמות בישראל
52	פרק 4. מגזר אנרגיה נקי בישראל – ניתוח באמצעות מודל MESSAGEix_IL-MACRO
66	סיכום והמלצות
69	נספחים
74	רשימת המקורות

תקציר

(1) מבוא: תוכנית ישראל 2050 בראי משבר הקורונה

תהליך ההכנה של דוח זה התפרש על פני החודשים שלפני פרוץ משבר הקורונה, אשר השלכותיו על הכלכלה המקומית והעולמית מרחיקות לכת. מחד, הפגיעה הכלכלית העמוקה של מגפת הקורונה על המשק העולמי תקשה על גיוס והתגייסות למזעור נזקים של משבר עתידי, כגון משבר האקלים, ואף עלולה להביא לרגרסיה באימוץ נהלים ירוקים בקרב גופים פרטיים וציבוריים. מאידך, משבר הקורונה ממחיש את הצורך במדיניות ממשלתית כוללת להיערכות למשברים גלובליים שאינם נובעים ישירות ממחזורי העסקים ולהתמודדות עימם, וכן את הצורך בפעולה נחרצת יותר למניעתם. לכך מתווספות הערכות ראשוניות של חוקרים בעניין הקשר בין נזקי אקלים להתפרצותן של מגפות חדשות, ובין זיהום אוויר לאחוזי התמותה מקורונה.

ההתאוששות מהמשבר, בארץ ובעולם, מלווה כבר היום בגידול בהוצאות הממשלה – את חלקן אפשר ורצוי להפנות לצעדי מדיניות הכרוכים במזעור נזקי אקלים, כמו במדינות מפותחות רבות. הצעה מפורטת לצעדי מדיניות שתועלתם כפולה – התנעת צמיחה ותעסוקה והפחתת פליטות ונזקי סביבה – אפשר למצוא במסמך אשר פרסם המכון הישראלי לדמוקרטיה בשיתוף קואליציית ארגוני הסביבה ומטרתו להוות המלצת עבודה למקבלי החלטות בבואם לנסח את חוק התקציב וחוק ההסדרים לשנים 2020–2021 (זוסמן, שרון ושואף־קולביץ 2020). לאחרונה פרסם גם ה־OECD מסמך חדש הפורט המלצות לתהליך של הפחתת הפליטות בישראל ומתמקד בקשר שבין רווחת הציבור (well-being) בישראל לבין קידום יעדים להפחתת פליטות פחמן (OECD, July 2020). כפי שנראה בדוח שלפניכם, רבים מצעדי המדיניות להפחתת פליטות אשר הציעו צוותי העבודה במשרדים הממשלתיים משתלבים היטב עם יעדים לאומיים להגדלת צמיחה, פריון ושיעורי תעסוקה. בשל סינרגיה זו בין הפחתת פליטות ובין קידום יעדים לאומיים אחרים של המשק הישראלי בעת יציאה מן המשבר הכלכלי, ההתמדה בתוכנית ישראל 2050 להפחתת פליטות היא לא רק צו השעה, אלא גם יעילה מאוד מבחינה כלכלית.

(2) רקע

ההתחממות הגלובלית ומזהמי האוויר המקומיים הם השפעות חיצוניות של פעילות כלכלית, כלומר נזקים שאינם נלקחים בחשבון על ידי השחקנים הכלכליים, ועל כן אין להם מחיר שוק, והנזק הכרוך בהשפעות חיצוניות אלו אינו מגולם באופן מלא במדד המקובל לפעילות כלכלית במשק – התוצר. על פי הערכות עדכניות, בלא התערבות בינלאומית להפחתת פליטות, נזקי האקלים יגיעו לפגיעה בסדר גודל של יותר מ־7% מן התוצר העולמי (Khan et al., 2019) 2100.

לעומת זאת, לטיפול בהשפעות החיצוניות ישנה עלות העשויה להפחית את התוצר הנמדד בהווה, אך גם לייצר גידול בתוצר בעתיד. על פי הערכות שפרסמה הנציבות האירופית, העלות הגלובלית נטו של הפחתת פליטות גזי חממה היא בין ירידה קלה, של 1.3%, לבין עלייה קלה, של 2.19%, בתמ"ג (תוצר מקומי גולמי, GDP) העולמי ב־2050 ביחס לתרחיש עסקים כרגיל (European Commission, 2018). תחשיב זה משקלל כמה תועלות חיצוניות נלוות (co-benefits) אך אינו משקלל תועלות בריאותיות מהפחתת פליטות מזהמים מקומיים, אשר הנציבות מעריכה כבעלות פוטנציאל לתוספת של 2% לתוצר 2050 (European Commission, 2017). הערכה של ה־OECD בעבור מדינות פורום ה־G20 מכמתת תועלות חיצוניות נוספות לתוכנית הפחתת פליטות שבחן הארגון (פירוט על התוכנית בפרק 2), כגון תועלות נלוות מהשקעה ציבורית בתשתיות והשקעה ציבורית ופרטית במחקר ופיתוח (מו"פ) ירוק, אשר יכולות להביא לגידול ממוצע בתוצר 2050 של 2.1% ו־3.1% בהתאמה, ובכך הופכות את השפעתה של התוכנית על התוצר לחיובית (OECD, 2018).¹

הצפי לפגיעה מצומצמת יחסית של המהלך להפחתת פליטות גזי חממה על מגמות הצמיחה העולמיות בצד השפעה חיובית על הצמיחה על פי כמה מההערכות משקפים את הקיזוז של עלויות התוכניות להפחתת פליטות עם התועלות המקומיות הנלוות שלהן. כמו כן הם משקפים את ההיחלשות של יחסי התלות (decoupling) בין צריכת אנרגיה לבין התוצר, בפרט בכלכלות מפותחות מבוססות שירותים ומחקר ופיתוח.

בדוח זה מוצגות ההשלכות המקרו־כלכליות של התוכנית להפחתת פליטות מזהמות בישראל, מתוך בחינה איכותנית של שילובה בתוכניות כלכליות אחרות של הממשלה, על מנת לאפשר תיעדוף מושכל של התוכניות בהינתן האילוצים התקציביים. כמו כן השתמשנו במודל כמותני לניתוח אינטגרטיבי דינמי כדי להעריך במונחי תוצר את העלות הישירה של אימוץ התוכניות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל.

(3) ניתוח איכותני של המקרה הישראלי

היעד הכלכלי ארוך הטווח העיקרי של ישראל הוא סגירת הפער ברמת החיים בין ישראל למדינות OECD העשירות יותר. ישראל שונה ממרבית המדינות העשירות בכך שקצב הגידול הדמוגרפי המהיר בה מחייב השקעות מהירות בתשתיות חינוך, תחבורה, דיור ובריאות, רק על מנת לשמור על קצב צמיחת התוצר. מסקנת הניתוח בעבודה שלנו היא שאימוץ טכנולוגיות המבוססות על אנרגיות מתחדשות ועל התייעלות אנרגטית אינו סותר יעדים

1 פורום ה־G20 כולל את 19 הכלכלות הגדולות בעולם ואח האיחוד האירופי. חברות ה־G20 הן: איטליה, אוסטרליה, אינדונזיה, ארגנטינה, ארצות הברית, ברזיל, גרמניה, דרום אפריקה, קוריאה הדרומית, הודו, בריטניה, טורקיה, יפן, מקסיקו, סין, ערב הסעודית, צרפת, קנדה, רוסיה והאיחוד האירופי.

ארוכי טווח מסוג זה, אלא להפך – הוא משלים אותם.² המשק הישראלי נמצא בעיצומו של תהליך להקטנת העצימות האנרגטית בתוצר (energy intensity), ולכן אימוץ תוכניות להתייעלות אנרגטית אינו מנוגד למגמה הקיימת אלא מחזק אותה. למשל, הגידול הצפוי בביקוש לדיור (כמעט הכפלה של מספר יחידות הדיור) מאפשר אימוץ סטנדרטים ירוקים בלי הצורך להשית עול מידי על בעלי נכסים קיימים.

צרכן האנרגיה העיקרי בישראל, ובפרט אנרגיה מזהמת מדלקים פוסיליים³, הוא מגזר התחבורה, ואחריו מגזר התעשייה. ליעול התחבורה ולחשמולה (על ידי שימוש באנרגיות מתחדשות לשם אספקת חשמל בהיקף תואם) צפויה להיות ההשפעה הדומיננטית ביותר על הפחתת פליטות. מצב החירום בתחום התחבורה בישראל היום מספק הזדמנות להשיג בעת ובעונה אחת שלושה יעדים: הקטנת העומס בכבישים, העלאת פריון העבודה במשק (תוך כדי צמצום פערים בין מרכז מטרופולינים לפריפריה הכפרית) והפחתת פליטות. מכיוון שמדובר בחשמול חדש של מגזר גדול, זו דרך טבעית להגדלת חלקן של אנרגיות מתחדשות מכלל צריכת האנרגיה בישראל, מבלי לדחוק בשלב ראשוני יצרנים קיימים בתעשייה המשתמשים באנרגיה מזהמת (בהינתן שהחשמל ברובו ייוצר באמצעות אנרגיות מתחדשות). כלומר, ריכוז מאמצים בשני אפיקים אלו – חשמול התחבורה ומעבר לייצור חשמל על ידי אנרגיות מתחדשות – צפוי להפיק את ההשפעה המכריעה ביותר על הפחתת פליטות של גזי חממה בישראל, גם בטרם טיפול בחשמול של מגזרים אחרים.

למשלות ישראל בשנים האחרונות ישנם עוד כמה יעדים כלכליים:

- **הפחתת יוקר המחיה.** יעד מרכזי של ממשלות ישראל מאז המחאה החברתית הוא הפחתת יוקר המחיה. בהקשר זה יש לציין כי מרבית הצעדים הנחוצים לקידום התוכנית להפחתת פליטות ומעבר לאנרגיות מתחדשות, בפרט מיטי פחמן, כרוכים בהעלאת יוקר המחיה בטווח הקצר. עם זאת, ניתן להקטין במידה רבה את ההשפעה של המהלך להפחתת פליטות על יוקר המחיה על ידי שינוי תמהיל המיסים הרגרסיביים העקיפים, בפרט על ידי הפחתה כללית של מע"מ ומס הבלו. ההכנסה לתקציב ממיסוי גזי חממה תאזן קיצוץ זה.
- **הגברת התחרות.** לאימוץ היעדים של הפחתת פליטות לטווח ארוך לא צפויה להיות השפעה שלילית על מידת התחרות במשק. התוכניות למעבר של משקי הבית ויזמים קטנים

2 התייעלות אנרגטית משמעותה הפחתת צריכת אנרגיה בשל צמצום שומת האנרגיה הנדרשת לייצור יחידת תוצר או לצריכת מוצרים ושירותים. למשל בידוד של קירות וחלונות במבנה הוא דרך הפחית את האנרגיה הנדרשת למיזוג או לחימום החלל והוא אפיק אחד של התייעלות אנרגטית. דוגמה אחרת היא החלפת מכשיר חשמל ישן זולל חשמל במכשיר חדש וחסכוני יותר בחשמל.

3 דלקים פוסיליים (fossil fuels) – פחם, נפט וגז טבעי – הם דלקים שבשריפתם לשם יצירת אנרגיה נפלטתם מזהמים גלובליים (גזי חממה) וגם מזהמים מקומיים, ועל כן ייצור אנרגיה באמצעותם נחשב לאנרגיה מזהמת.

לייצור חשמל מאנרגיה סולרית עשויות אף להגביר את התחרות במגזר האנרגיה. התוכניות להגדלת תהליכי אגלומרציה עירונית על חשבון הפרוורים צפויות גם הן לייעל את השווקים, על ידי הפחתה של הוצאות עסקה הקשורות בצריכה או שינוע של מוצרים ועל ידי יצירת שווקים עמוקים יותר ומרובי מוכרים וקונים.

● **הקטנת הגודש והצפיפות בכבישים.** בין הפתרונות המוצעים לבעיית הגודש בכבישים לבין פתרונות להפחתת השימוש באנרגיות מזהמות בתחבורה יש הלימה גבוהה מאוד. דוגמאות לחפיפה זו הם תוכניות לעידוד תחבורה ציבורית חשמלית, עידוד תחבורה שיתופית, שימוש בכלי תחבורה דו־גלגליים והליכה ברגל.

● **דיוור בר השגה.** ההשפעה הישירה של מס פחמן והעברת המשק לתהליכי בנייה ירוקה היא ייקור מחירי הדירות בטווח הקצר.⁴ עם זאת, עלות אחזקת דירה התואמת תקנים ירוקים אמורה לרדת, והחיסכון מההוזלה של אחזקת הדירה יפצה על העלייה במחיר הדירה, בפרט בסביבת ריביות נמוכה. כדי לתווך על פער זה בין עלייה ברכישה ובין ירידה בעלויות אחזקה נדרשים מוצרי מימון. ראוי לציין כי חלק מהמהלך הנוכחי של הוזלת מחירי הדיוור הוא גידול בבנייה בפריפריה, שם עלות הקרקע זולה, אולם מהלך זה עומד בסתירה ליעדי התוכנית להפחתת פליטות פחמן, מכיוון שהוא מגדיל את הנסועה, בפרט בכלי רכב פרטיים.

ליעדים אלו מתווספות נסיבות חדשות אשר יש לתת עליהן את הדעת:

● **השפעה על שוק העבודה.** רוב המועסקים במשק הישראלי מועסקים במגזר השירותים, שבו ישנה תחלופה גבוהה בין מקורות אנרגיה מזהמים ונקיים, ולכן מהלכים במסגרת תוכנית 2050 לא צפויים לפגוע בתעסוקה בהם. גם אם יש ענפים עתירי אנרגיה מזהמת (המסתמכת ישירות על שימוש בדלקים פוסיליים), משקלם בשוק התעסוקה אינו גדול. עם זאת, היות שעלויה להיווצר אבטלה חיכוכית במעבר לכלכלה דלת פחמן, מומלץ לנקוט מהלכים המשפיעים על ענפים אלו כאשר המצב המחזורי של המשק טוב והוא בתעסוקה מלאה.⁵

● **המצב הפיסקלי.** אחת המגבלות לאימוץ שאפתני של התוכניות להפחתת פליטות במשרדי הממשלה בטווחי הזמן הקרובים היא הגירעון החריג (המבני) בתקציב. הצורך

4 בנייה לפי סטנדרט ירוק מייקרת את העלות באחוזים בודדים, אם בכלל, אך התועלת הן למשתמש והן למשק כולו גדולה בהרבה (פלטניק ואחרים 2018; Gabay et al., 2014). עם זאת העברת המשק כולו לתהליכי בנייה ירוקה צפויה להיתקל בחסמים ראשוניים, כגון היצע נמוך של עובדים מיומנים לחוסם, היצע נמוך של חומרי גלם מותאמים ושינוי בהליכי התכנון (עם כל הביורוקרטיה הכרוכה בכך). חסמים אלו יוסרו עם ההסתגלות של מגזר התכנון והבנייה לשיטת העבודה החדשה.

5 במובן זה יש לשקול היטב מהלך להשחת מס פחמן כל עוד המשק סובל מההשפעות הכלכליות של משבר הקורונה. מאידך, להשחת מס פחמן יש יתרונות אחרים, כגון הגדלת הכנסות המדינה לצורך כיסוי החוב הממשלתי המוגדל, אשר בטווח הקצר משמש למימון הרחבה פיסקלית כחלק מההתמודדות עם המיתון הכלכלי הכפוי.

לצמצם את הגירעון קושר את ידי הממשלה בבואה לאמץ פרויקטים תחבורתיים ותכנוניים בכלל, ובהם פרויקטים התורמים להפחתת פליטות. מודלים של שיווי משקל כללי דינמי, כגון המודל שהשתמשנו בו במסמך זה, מסיקים שהמעבר למיסוי פחמן על חשבון הבלו ומיסים אחרים על דלקים משיג הן את המטרות הפיסקליות של גביית מיסים והן את המטרה של הפחתת פליטות גזים מזהמים. מודלים אלו מראים גם כי התועלת שבסבסוד חשמל ממקורות מתחדשים אינה גדולה (בהינתן המיסוי על פחמן). גם הספרות התאורטית מדגישה סבסוד הון ומו"פ ולא סבסוד של ייצור אנרגיה נקייה באופן ישיר.

● **משבר הקורונה.** לאחר השלמת המחקר ובעת כתיבת דוח זה נפגע המשק פגיעה כלכלית משמעותית ממשבר הקורונה – בתעסוקה, בעסקים הקטנים ובחסכונות הציבור – וגירעון הממשלה והחובות הציבוריים והפרטיים גדלו מאוד. מימוש תוכניות ההשקעה בתשתיות תחבורה ובתשתיות ירוקות אחרות ישתלב היטב במאמצי הממשלה לזרז את יציאת המשק מהשפל הכלכלי שהידרדר אליו. מיסי הפחמן יוכלו להיות מקור לכיסוי עתידי של הגירעונות הגדולים שנוצרים בתקופה זו. מגבלות התנועה וההתכנסות בבתים הביאו לגידול בשימוש בתחליפים דיגיטליים – הם יכולים לשמש את המשק גם לאחר המשבר, ובכך להפחית את הנסועה ואת זיהום האוויר הכרוך בה.⁶

(4) מודל כמותי לבחינת עלות של תוכנית ישראלית להפחתת פליטות גזי חממה

נוסף לניתוח המקרו-כלכלי האיכותני, ערכנו סימולציה של אימוץ של צעדי מדיניות להפחתת פליטות גזי חממה (ובפרט מס על פליטת גזי חממה הנובעים מייצור וצריכה של אנרגיה) והשפעתם על צמיחה כלכלית בישראל בטווח הארוך באמצעות מודל לניתוח אינטגרטיבי דינמי (Integrated Assessment Model – IAM) בשם MESSAGEix-IL-MACRO.

מודלים של משק האנרגיה בשיטת bottom-up כוללים תיאורים נרחבים של היבטים טכנולוגיים במערכות אנרגיה, ובכלל זאת שיפורים עתידיים בטכנולוגיות אלו. במודלים אלו הפתרון כולל שיווי משקל חלקי שבו הביקוש לאנרגיה מקבל מענה תוך כדי שמירה על עלויות מינימליות של ייצור ואספקה. לעומת זאת מודלים של שיווי משקל כללי ממוחשב (Computable General Equilibrium – CGE) בשיטת top-down מתארים את הכלכלה בכללותה ומדגישים את האפשרות לתחלופה בין גורמי ייצור לצורך מקסום של רווחי חברות. בדוח זה השתמשנו במודל המחבר בין שתי הגישות: MESSAGEix-IL-MACRO. זוהי גרסה מותאמת לישראל של מודל שפותח במרכז המחקר (International IIASA)

6 כאמור לעיל, פירוט על צעדי מדיניות משולבים למען צמיחה המשק והפחתת זיהום כחלק מתוכנית ירוקה לחילוץ ממשבר הקורונה ראו בתוך זוסמן, שרון ושואף-קולביץ, 2020.

משק האנרגיה על מנת לשקלל את ההשפעות החוזרות של הביקוש לאנרגיה על התוצר. (Institute of Applied Systems Analysis), הקושר בין המודל המקרו-כלכלי לבין מודל של

בשלב ראשון מודל האנרגיה הגלובלי MESSAGEix-GLOBIOM הותאם לאמות המידה של המשק הישראלי: משק קטן, פתוח, המייבא פחם ונפט גולמי ומעובד ומייצא גז טבעי ומוצרי נפט. בשלב שני הפרמטרים העיקריים המאפיינים את משק האנרגיה הישראלי הוטמעו ב־ MESSAGEix_IL בשיתוף פעולה עם משרד האנרגיה. בשלב שלישי מיפנו את התפתחותו הצפויה של משק האנרגיה בישראל עד שנת 2050 על בסיס הערכות ויעדים שהציבו משרדי הממשלה בתחום הפחתת הפליטות.

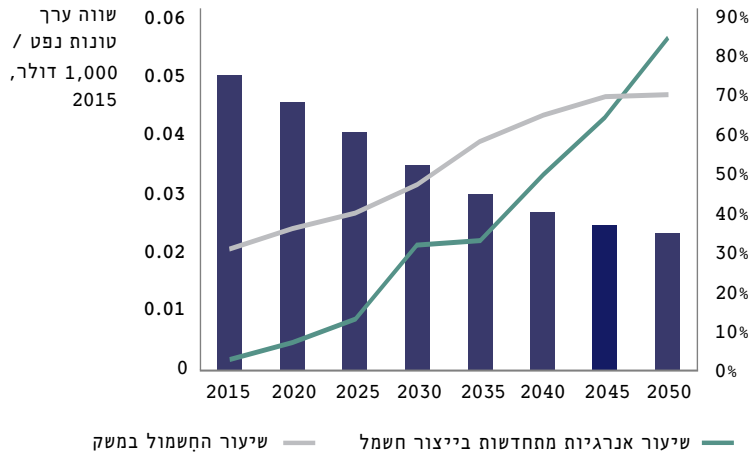
התוצאות של הרצת מודל MESSAGEix-IL-MACRO נבחנו בשישה תרחישים. שני תרחישי עסקים כרגיל שימשו נקודת מוצא לשני תרחישי מדיניות: תרחיש מתון ותרחיש שאפתני. התוצאות של תרחישי המדיניות מלמדות שבהינתן יעדי המשרדים, המתונים והשאפתניים, עד לשנת 2050 אפשר להפחית את פליטות גזי החממה הנובעים מאנרגיה בכ־60%-90% ביחס לשנת הבסיס 2005, בהתאמה⁷ תוך כדי פגיעה בתוצר של 0.02%-0.62% (בין 210 מיליון ל־4 מיליארד דולר בלא שקלול תועלות מקומיות נלוות למהלך, אשר על פי הערכות בעולם עולות על העלויות של מהלך מסוג זה).⁸ ההפחתה בפליטות מושגת על ידי התייעלות אנרגטית, כלומר הפחתת צריכת האנרגיה ליחידת תוצר בכ־60% ביחס ל־2017. עוד נדבך חשוב בהפחתת הפליטות הוא הסטה של ייצור האנרגיה משימוש בדלקים מזהמים לאנרגיה מתחדשת, תוך כדי חשמול המשק כך ששיעור השימוש בחשמל מסך צריכת האנרגיה יעלה מכ־30% היום ל־70% בשנת 2050 בתרחישי המדיניות. התייעלות והסטת הייצור לאנרגיות מתחדשות נובעות בחלקן ממעבר לשימוש בחשמל בתחבורה ובחלקן מהטלת מס פחמן.

חשוב לציין שהניתוח עד כה אינו כולל פליטות של גזי חממה שאינן נובעות מייצור אנרגיה ושימוש באנרגיה, כגון פליטות מחקלאות ופסולת (15% מסך הפליטות). כמו כן, כפי שצוין לעיל, הסימולציה אינה מחשבת את התועלות הנלוות למהלך, כגון תועלות בריאותיות למשק הנובעות מהפחתת פליטות מזהמים מקומיים (הנמצאות במתאם גבוה עם פליטות גזי פחמן) ותועלות חיצוניות כגון התועלות מהשקעה ציבורית בתשתיות תחבורה ותכנון ומהשקעה ציבורית ופרטית במו"פ ירוק – שתיהן מקבלות משנה תוקף בתקופה של מיתון כלכלי בשל תרומתן לגידול בפריון ולגידול בביקוש לתעסוקה ולגיוון ההרכב שלה. הניתוח גם אינו כולל את התועלות הכלכליות והחברתיות מהפחתת פליטות פחמן ומזעור נזקי אקלים (הן תלויות במהלך בינלאומי להפחתת פליטות, ולא בפעולה ישירה של ישראל).

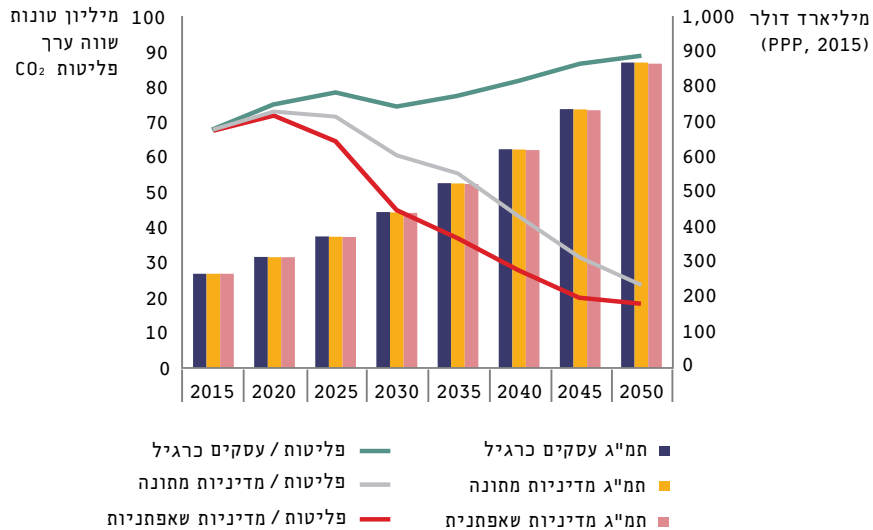
7 שנת 2005 נבחרה בהסכם פריז 2015 להיות שנת הבסיס של ישראל ליעד הפחתת פליטות גזי חממה.

8 תועלות מקומיות נלוות כוללות: תועלת בריאותית מהפחתת מזהמים מקומיים, תועלת מן הגידול בפריון בעקבות שיפור מערך התחבורה, תועלת מפיתוח של סקטור הקלינטק אשר צפוי להוות מנוע צמיחה. לפירוט על תועלות אלו ראו להלן בפרקים 2-3.

שיעור אנרגיות מתחדשות, שיעור חשמול וצריכת אנרגיה לתוצר
בתרחיש עסקים כרגיל II ותרחיש מדיניות מתון



תמ"ג (GDP) ופליטות (GHG) בתרחיש עסקים כרגיל II
ותרחיש מדיניות מתון ושאפתני



מקור (לשני התרשימים): תוצאות ניתוח מודל MESSAGEix_IL-MACRO (ראו פרק 4 להלן).

אם כן, אפשר לסכם כי העלות הישירה במונחי תוצר של המהלכים להפחתת פליטות ומעבר לאנרגיה ירוקה נמצאה זניחה ביחס לצמיחה המצטברת במשק עד 2050. מכך אפשר להסיק כי בשילוב של תוכניות בתחום התחבורה והתכנון ותרומתן לפיריון, השקעה במחקר ופיתוח, שתשואתה צפויה להיות גבוהה, והתועלות הבריאותיות המקומיות הנובעות מן המהלך צפויה עלייה בקצב צמיחת המשק הישראלי העולה על התחזית ארוכת הטווח של בנק ישראל.

(5) המלצות מדיניות

- הפחתה משמעותית בפליטות המזהמות במשק על ידי מעבר לשימוש בחשמל המסופק ממקורות אנרגיה מתחדשים והתייעלות אנרגטית.
- תמריץ עיקרי להתייעלות אנרגטית ולמעבר לאנרגיות מתחדשות הוא הפנמה של מחיר הזיהום המלווה צריכת אנרגיה המיוצרת מדלקים פוסיליים. הצעד המומלץ בתחום זה הוא אימוץ מס פחמן, אשר מצמצם את הצורך ברגולציה. מומלץ לשלב עם סובסידיות למעבר להון שאינו מזהם, על מנת לצמצם את הפגיעה בבעלי הון מזהם קיים. מס הפחמן יוכל לתרום לכיסוי גירעונות הממשלה הגדולים שנוצרו במשבר הקורונה.
- על מנת להשיג יעדי צמיחה בת קיימא של המשק הישראלי או ממליצים להיצמד לעקרון הסינרגיה בין אימוץ היעדים להפחתת פליטות גזי חממה לבין הצורך בהשקעה ניכרת בתשתיות. או מציעים לשלב השקעות אלו במדיניות ההתאוששות ממשבר הקורונה.
- או רואים בתחום התחבורה את התחום העיקרי שבו יש להתמקד להפחתת הפליטות במשק - לשם כך נדרשת השקעה משמעותית מהתקציב הממשלתי וביצוע מידי של צעדים נדרשים. מומלץ להתמקד בפתרונות להסעת המונים על בסיס חשמל ומעבר מוקדם לתשתית בעבור כלי רכב חשמליים פרטיים.
- בתחום הבנייה או ממליצים על תכנון של פרישת המגורים ומקומות התעסוקה והצריכה באופן שמקטין את הצורך בנסיעה בכלי רכב פרטיים, וכן על בנייה חדשה בתקן ירוק וככל האפשר מאופסת אנרגיה - למגורים, לעסקים ולמבני ציבור.
- לנוכח המאמץ הלאומי להפחתת עלות הדיור, רצוי לשקול יצירת מוצרי מימון מותאמים ליעדי הפחתת פליטות, עד להגדלה של היצע העובדים המיומנים חמינות חומרי הגלם בתחום הבנייה הירוקה במשק הישראלי.
- המצב בתעשייה מייצר הזדמנות לשקול מחדש את יעדי המדיניות המבוססים על שימוש בגז טבעי. עם זאת במונחי פליטות מזהמות, שימוש בגז עודנו עדיף על שימוש בתזקיקי נפט והוא יכול לסייע בהיפרדות מתעשיית זיקוק הנפט בישראל בשלבי המעבר.
- או ממליצים על מתן תמריצים למו"פ בתחום אימוץ טכנולוגיות מפחיתות פליטות ובטכנולוגיות המגדילות את ניצולת האנרגיה.

מבוא

בשנת 2019 הותנע בישראל תהליך מעבר לכלכלה משגשגת דלת זיהום בהובלת המשרד להגנת הסביבה, המכון הישראלי לדמוקרטיה, ה־OECD ומשרדי האוצר, התחבורה, האנרגיה והכלכלה. חודשים אחדים לאחר מכן, בתחילת 2020, נקלע המשק הישראלי והעולמי להתמודדות עם מגפת הקורונה, אשר הכניסה את המשק למשבר בריאותי וכלכלי. בימים אלו הממשלה שוקדת על אסטרטגיית יציאה מן המיתון הכלכלי אשר נכפה על ישראל במסגרת נוהלי הריחוק החברתי. אסטרטגיית יציאה זו מן הראוי שתכלול מדיניות פיסקלית נרחבת, אשר משלבת הוצאות גבוהות של המדינה על פיתוח תשתיות והשקעות במנועי צמיחה, אשר יאפשרו חזרה של המשק לשיעורי תעסוקה גבוהים והגדלת פריון העבודה (יעד לאומי מרכזי של המשק הישראלי גם לפני המשבר). בצד יעדים לאומיים חשובים אלו נדרשת גם בחינה של אסטרטגיית היערכות לאומית למשברים עתידיים – גל תחלואה נוסף של מגפת הקורונה, אסונות טבע או שינויי אקלים קיצוניים, כמובן בניסיון למנוע מראש משברים מסוג זה. מטרות עיקריות אלו – הרחבה פיסקלית לצורך חילוץ המשק ממיתון כלכלי ומניעת משברים בעתיד – מותירות את תוכנית 2050 להפחתת פליטות רלוונטיות לא פחות משהייתה טרום ימי הקורונה, ויש שאף יאמרו שמדובר בצו השעה.

הפחתת הפליטות נדרשת כדי לעצור את תהליך ההתחממות הגלובלית, אשר גורם מגוון תופעות מאיימות, בהן עלייה בתדירות של אירועי מזג אוויר קיצוני, הפשרת קרחונים בקטבים ועליית פני הים, המסכנת את קיומן של מדינות איים באוקיינוסים ועלולה להציף ערי חוף. נוסף על כך, לנוכח משבר הקורונה מומחים מעריכים כי להתחממות הגלובלית ולנזקי האקלים יש חלק מכריע בהיווצרות מגפות, כמו גם בהשפעה על יכולת האוכלוסייה להתמודד עם נגיפים חדשים. לתופעות אלו יש השפעה בלתי מבוטלת על הכלכלה העולמית והמקומית ופוטנציאל פגיעה גבוהה במגמות הצמיחה הכלכלית.

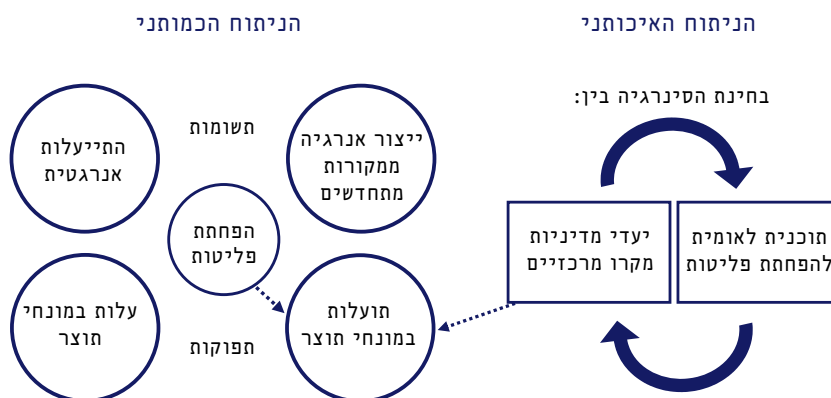
התוכנית "ישראל 2050: כלכלה משגשגת בסביבה מקיימת" נועדה לצמצם חשיפה לאיומים אלו על ידי הפחתת פליטות גזי פחמן, והיא יישום נדיר בישראל של גישת הממשלה השלמה (The Whole Government Approach) בפרויקט ממשלתי־אסטרטגי. גישה זו גורסת כי על משרדי הממשלה להתנהל מחוץ לגבולות המשימות שלהם במטרה להשיג יעדים משותפים ולאגם משאבים על מנת לתת מענה לסוגיות רחבות, כגון פיתוח תשתיות לאומיות. סוגיות אלו בהגדרתן נמצאות במרחב הבין־משרדי, ועל מנת לטפל בהן נדרש שיתוף פעולה בין משרדי הממשלה השונים ושיתוף פעולה רב־מגזרי של המגזר העסקי ושל ארגוני חברה אזרחית.

המכון הישראלי לדמוקרטיה קיבל על עצמו להוביל תוכנית אסטרטגית לאומית רב־מגזרית וחוצת משרדים זו בשיתוף משרדי הממשלה, מתוך אמונה שיישום הלכה למעשה של גישת הממשלה השלמה הוא מהלך נדרש והכרחי לקידום פרויקט אסטרטגי בתחום הפחתת הפליטות אשר צופה

אל מעבר לטווח הקצר, אל שנת 2050. מעורבות המכון יצרה מרחב ניטרלי ונוח לדיון בין המשרדים והמגזרים השונים, במסגרת של שולחנות עגולים ועבודת צוות שוטפת, ולהתכנסות לתוכנית ממשלתית בראייה הוליסטית.

התוכנית מציגה חזון ויעדים להפחתת פליטות של גזי חממה, והם יתורגמו להחלטות ממשלה ולחוק אקלים. הללו יוצגו בוועידת האקלים של האו"ם, הידועה בכינויה COP 26, שמתוכננת להיערך בבריטניה ב־2021. יישום מוצלח של התוכנית צפוי לצמצם את הפליטות המזהמות בישראל ולתרום להשגת היעדים הבינלאומיים. על מנת שהתוכנית תיושם בהצלחה, על גורמי הממשל לקחת בחשבון גם את ההשלכות המקרו־כלכליות של יישום התוכנית ולשלב אותן ביעדי הצמיחה וביעדים כלכליים וחברתיים אחרים.

המסמך לפניכם מציג ניתוח מקרו־כלכלי של המהלך הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה מייצור ושימוש באנרגיה, ומטרתו לברר כיצד המעבר לכלכלה דלת פחמן ישפיע על הכלכלה הישראלית, ובפרט על שיעורי הצמיחה שלה עד שנת 2050. לצורך מענה לשאלות אלו בדקנו בניתוח מקרו־כלכלי איכותני את משמעות היישום של מהלך הפחתת פליטות על יעדי הצמיחה ויעדים אחרים של הממשלה בתחום הכלכלי. על מנת לכמת את ההשפעה הישירה של מהלך זה השתמשנו במודל לניתוח אינטגרטיבי דינמי (IAM), המכונה MESSAGEix_IL-MACRO. המודל פותח בשיתוף ב־IISA (International Institute for Applied System Analysis) שבאוסטריה, והוא מחבר באופן אינטגרטיבי בין מודל לניתוח משק האנרגיה לבין מודל לניתוח מקרו־כלכלי של המשק. הניתוח באמצעות MESSAGEix_IL-MACRO התבסס על הנחות יסוד שגיבשו משרדי הממשלה השותפים לעבודה הבין־משרדית על התוכנית וכן על תרחישים שהם פיתחו: שני תרחישי עסקים כרגיל, תרחיש הפחתת פליטות מתון ותרחיש הפחתת פליטות שאפתני. התוצאה המרכזית של ניתוח MESSAGEix_IL-MACRO היא הערכה כלכלית של עלות התוכנית הישראלית להפחתת פליטות מייצור ושימוש באנרגיה במונחי התוצר ביחס לתרחישי עסקים כרגיל. כנהוג ברבים מניתוחים מעין אלו, המודל אינו משקלל תועלת למשק הנובעת מהפחתת הנזק ממזהמים מקומיים, כמו גם תועלות אשר צפויות לנבוע מעלייה בפריון בעקבות צעדי המדיניות בתחום התחבורה והתמיכה במו"פ. המודל גם אינו משקלל תועלת צפויה בשל הימנעות מנזקי אקלים. התועלות הנלוות למהלך קיבלו את התייחסותנו בסקירת הספרות הנרחבת בנושא, כמו גם בניתוח המקרו־כלכלי האיכותני המוצג בדוח. המחקר נערך לפני פרוץ משבר הקורונה, אך בגלל אופיו ארוך הטווח (כשלושים שנים) מסקנותיו העיקריות אינן מושפעות מהמשבר הנוכחי. עם זאת, סביר שתוואי הצמיחה של המשק בטווח הבינוני יושפע מן התמורות הכלכליות שנדונו לעיל.



במקביל למחקר זה משרדי הממשלה המעורבים מבצעים תהליך bottom-up לקביעת חזון, יעדים ומדדים תחומיים במגזרים השונים (לפרטים ראו נספחים ב-ה). כמו כן המכון הישראלי לדמוקרטיה פרסם מסמך המונח את ההשפעות החברתיות והאסטרטגיות של התוכנית להפחתת פליטות על מדינת ישראל ובוחן כיצד תשפיע תוכנית 2050 על מדדי איכות החיים שפרסמה הממשלה ב־2015 (אבירם ניצן וסומר, 2019). כאמור, גם ה־OECD פרסם מסמך מקיף אשר מרכז את המלצות הארגון לקידום תהליך הפחתת פליטות פחמן בישראל (OECD, July 2020). מסמך ה־OECD תואם את מרבית ההמלצות של דוח זה וקורא למדינת ישראל לפעול בנחישות ובלא דיחוי להשגת היעדים של הפחתת פליטות. בימים אלו המכון הישראלי לדמוקרטיה והמשרד להגנת הסביבה שוקדים על שני ניירות נוספים אשר מתוכננים להתפרסם ברבעון האחרון של 2020: האחד יתמקד בבניית תוכנית אסטרטגית לתמחור פחמן בישראל, והאחר יבחן צעדי מדיניות מומלצים להטמעת תוכנית 2050 להפחתת פליטות תוך כדי הגנה על אוכלוסיות פגיעות בישראל. נוסף על כך, לאחרונה המכון הישראלי לדמוקרטיה בשיתוף קואליציית ארגוני הסביבה גיבש מסמך המציע תוכנית חילוץ ירוקה לציאה ממשבר הקורונה אשר כולל צעדי מדיניות לקידום בחוק תקציב 2020-2021 שתשואתם כפולה – כלכלית וסביבתית (זוסמן, שרון ושואף־קולביץ, 2020).

מבנה דוח זה הוא כדלקמן: פרק 1 מסכם בקצרה את פרטי הסכם פריז 2015 והמחויבות הישראלית בהקשר זה; פרק 2 מציג סקירת ספרות בנושא ניתוחי עלות-תועלת של תוכניות בינלאומיות להפחתת פליטות; פרק 3 מציג ניתוח עומק מקרו-כלכלי איכותני של התוכנית להפחתת פליטות בישראל אל מול יעדי ממשלה אחרים; פרק 4 מציג את המודל MESSAGEix_IL-MACRO והשימוש בו לניתוח כמותי של עלות התוכנית למשק הישראלי אל עבר שנת 2050, כולל מתודולוגיה ותוצאות; הסיכום כולל המלצות מדיניות להמשך.

פרק 1 הסכם פריז 2015

בוועידת האקלים של האו"ם שנערכה בדצמבר 2015 בפריז אושר הסכם גלובלי ומחייב למאבק בשינויי אקלים. עד היום אשררו את ההסכם 179 מדינות מתוך כל 196 המדינות החברות באמנת האקלים של האו"ם. מדינת ישראל חתמה על ההסכם ב־22 באפריל 2016 ואשררה אותו ב־14 בנובמבר 2016. הסכם פריז הוא אבן דרך בקידום המעבר לכלכלה דלת פחמן והוא מסדיר את תוכנית הפעולה העולמית להתמודדות עם שינויי האקלים ואת החובות המוטלות על המדינות במסגרת תוכנית זו.

בהסכם נקבעו שלושה יעדים עיקריים (UNFCCC, 2017):

- (1) הפחתת פליטות והגבלת העלייה בטמפרטורה העולמית הממוצעת עד 2°C מעל לטמפרטורה טרום העידן התעשייתי, בשאיפה להציב בעתיד יעד שאפתני יותר – 1.5°C .
- (2) הגברת היכולת להתמודד עם ההשלכות הקיימות של שינויי האקלים.
- (3) הבטחת ערוץ מימון למאמץ העולמי להפחתת פליטות גזי חממה ולהסתגלות לשינויי האקלים, בדגש על מדינות מפותחות.

(א) עיקרי ההסכם

<p>יצירת מנגנון של תמיכה טכנית ופיננסית בפיחוח טכנולוגיות, בהעברתן לשימוש במדינות מתפתחות, בבניית יכולות ובהשלמת פערי הידע הנדרשים לצורך מימוש תוכנית ההפחתה וההסתגלות. מדינות מפותחות יידרשו לדווח על היקף התמיכה וכן על אופן תמיכתן במדינות מתפתחות בנושאים אלו.</p>	<p>העברת טכנולוגיות ושכלול ידע ויכולות</p>
<p>פיחוח מנגנונים לסחר בפליטות, והם יפעלו כאשר מדינה אינה מנצלת את מלוא כמות הפליטה של גזי החממה המותרים לה על פי הסכמים בינלאומיים. במקרה כזה היא תוכל למכור למדינה אחרת את הזכות לפלוט גזי חממה. יש מדינות שהשגת יעדי ההפחתה שלהן מותנית בקיום אפשרות זו.</p>	<p>מנגנוני שוק</p>
<p>כדי לוודא שיעדי ההסכם מושגים, ההסכם קובע הקמת מערך שקיפות, המחייב את כל המדינות לדווח באופן קבוע למזכירות האמנה על התקדמות ביישום יעד ההפחתה (באמצעות מנגנון MRV – Measurement, Review and Verification) ועל התמיכה במדינות מתפתחות.</p>	<p>מערך שקיפות</p>

<p>בדיקה בכל חמש שנים פליטות גזי חממה מצטברות לעומת יעדי הפחתה של כלל המדינות כדי לזהות את הפערים ולהיערך לסבב הבא של גיבוש מחויבויות הפחתה ברמה הלאומית.</p>	<p>מעקב תקופתי (Stocktake)</p>
<p>כל המדינות, מלבד העניות ביותר, נדרשות לקבוע יעד הפחתה לאומי ותוכנית ליישום. על היעד להיות שאפתני אך גם לשקף את הנסיבות ואת יכולתה של המדינה. יש לעדכן יעד זה כלפי מעלה מדי חמש שנים ולהגיש את העדכון למזכירות האמנה.</p>	<p>הפחתת פליטות (מיטיגציה)</p>
<p>מנגנון זה נועד בעיקרו לחמוך במדינות מתפתחות בהתמודדותן עם נזקים הצפויים כתוצאה משינויי האקלים. כל מדינה, על פי צרכיה, תכין תוכנית לאומית להסתגלות לשינויי אקלים.</p>	<p>הסתגלות (אדפטציה)</p>
<p>ועידת פריז הציבה יעד לגיוס 100 מיליארד דולר לשנה, החל בשנת 2020, למדינות מתפתחות, לטובת פעולות הסתגלות והפחתה. המדינות המפותחות נדרשות לדווח פעם בשנתיים על היקף המימון שהועבר ושצפוי לעבור לשם תמיכה במדינות מתפתחות.</p>	<p>מימון לתמיכה במדינות מתפתחות</p>

(ב) התחייבות ישראל במסגרת ההסכם

אחד מהעקרונות החשובים של הסכם פריז הוא הדרישה מהמדינות החברות באמנה לקבוע לעצמן יעדי הפחתה ותוכניות יישום בהתאם ליכולותיהן.

בינואר 2015 הוקמה ועדה בין־משרדית לגיבוש יעדים להפחתת פליטות גזי החממה במדינת ישראל בראשות מנכ"ל המשרד להגנת הסביבה ובהשתתפות נציגים של משרד האוצר, משרד הכלכלה, משרד האנרגיה, רשות החשמל, המועצה הלאומית לכלכלה, משרד התחבורה, משרד הפנים, משרד הבינוי והשיכון, משרד החוץ, משרד החקלאות, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ומנהלת תחילפי הנפט. כמו כן השתתפו בוועדה נציגים מארגונים ואיגודים שאינם ממשלתיים, לרבות חברת החשמל, השלטון המקומי והתאחדות התעשיינים. הוועדה עדכנה את התחזית לפליטות גזי החממה של ישראל לשנת 2030 בתרחיש עסקים כרגיל וגיבשה כמה תרחישים להפחתת פליטות. תרחישי הפחתה אלו מבוססים על בחינה מעמיקה של כמאה מנופי הפחתה מגזריים ודרכים ליישום הפוטנציאל שלהם.

לקראת ועידת האקלים של האו"ם בפריז החליטה הממשלה ביום 20 בספטמבר 2015 (החלטה מס' 542), על בסיס עבודת הוועדה הבין־משרדית, על יעד לאומי להפחתת פליטות גזי חממה (משרד

ראש הממשלה, 2017): 7.7 טונות פחמן דו־חמצני לנפש (כ־82 מיליון טונות tCO₂e בהינתן גידול ממוצע באוכלוסייה בהתאם לתחזיות הלמ"ס) לשנת 2030, וכן יעד ביניים של 8.8 טונות פחמן דו־חמצני לנפש (כ־88 מיליון טונות tCO₂e סך הכול) לשנת 2025. עוד קבעה הממשלה יעדים כמותיים בתחומי האנרגיה והתחבורה:

(1) עד שנת 2030 צמצום של צריכת החשמל בשיעור של 17% לפחות ביחס לצריכת החשמל הצפויה באותה השנה לפי תרחיש עסקים כרגיל.

(2) ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשיעור של 13% לפחות מסך כל צריכת החשמל בישראל בשנת 2025, ושיעור של 17% לפחות מכל צריכת החשמל בשנת 2030. יעד זה מתווסף להחלטת ממשלה (מס' 4450) שעד שנת 2020 10% מצריכת החשמל תיוצר באנרגיות מתחדשות.

(3) צמצום היקף הנסועה הפרטית בשיעור של 20% עד לשנת 2030 ביחס לנסועה הצפויה באותה השנה לפי תחזית עסקים כרגיל.

כדי לעמוד ביעדים שנקבעו בהחלטה מס' 542 אישרה הממשלה ביום 10 באפריל 2016 את החלטה מס' 1403, שקובעת תוכנית לאומית להפחתת פליטות גזי חממה ולייעול צריכת האנרגיה במשק (משרד ראש הממשלה, 2016), וב־17 בספטמבר 2016 פרסם המשרד להגנת הסביבה תוכנית לאומית ליישום הסכמי פריז (המשרד להגנת הסביבה, 2016).

התוכנית הלאומית שאישרה הממשלה כוללת אמצעי הפחתה מוגדרים בתחומים מסוימים וקובעת לוחות זמנים לבחינה ולגיבוש של אמצעי הפחתה בתחומים אחרים אשר טרם הוסכם על אסטרטגיית הפחתה בהם. האומדן של פוטנציאל הפחתה של התוכנית, בהנחה שמכלול הפעולות והאמצעים אשר מפורטים בהחלטה (לרבות הפוטנציאל אשר ייבחן במסגרת התוכנית בהמשך) ייושם, הוא 21.2-27.3 מיליון טונות גזי חממה בשנת 2030 ביחס לתרחיש עסקים כרגיל. בהשוואה לשנת הבסיס 2015 מדובר באופן גס בשמירה על המצב הקיים, כלומר היעדר הפחתה משמעותית, אך גם היעדר גידול בפליטות.

סעיף 17 להחלטה מס' 1403 קובע כי תוקם ועדת היגוי ומעקב בין־משרדית בראשות המשרד להגנת הסביבה. הוועדה תדווח לממשלה עד ליום 31 בדצמבר מדי שנה בשנה על ההתקדמות ביישום התוכנית הלאומית להפחתת גזי חממה ועל העמידה ביעדים אשר נקבעו בהחלטת ממשלה מס' 542. במסגרת התוכנית המשרד להגנת הסביבה, בשיתוף כלל גורמי הממשלה הרלוונטיים, מפעיל מערך לאומי למעקב ובקרה אחר יישום התוכנית והיעדים הלאומיים ולבחינת היעילות של כלי המדיניות. המערך והמתודולוגיה להפעלתו נקבעו לפי הנחיות האו"ם, כנדרש בהסכם פריז (המשרד להגנת הסביבה, 2018).

מטרות המערך הלאומי למעקב ובקרה הן:

- בחינת ההתקדמות של המדינה לקראת עמידה ביעדי ההפחתה הלאומיים.
- בחינת היעילות של אמצעי המדיניות ושל הפעולות המיושמות ועדכון אמצעי מדיניות בהתאם להצלחתם הכלכלית-סביבתית ולצורך עמידה ביעדים.
- הכנת דוחות תקופתיים לאו"ם ודוח שנתי לממשלה.
- הגברת השקיפות והאמינות באשר לרצינות הממשלה בעניין יישום התוכנית והיעדים הלאומיים.

(ג) תוכנית למעבר לכלכלה דלת פחמן

במסגרת הסכמי פריז הסכימו המדינות, ובהן ישראל, להגיש עד סוף שנת 2020 תוכניות ארוכות טווח למעבר לכלכלה דלת פחמן עד שנת 2050. התוכניות מבוססות על מכלול של שינויים מבניים, תשתיתיים וטכנולוגיים עמוקים בכלכלה, לרבות:

- מעבר לייצור חשמל נקי שאינו מבוסס על דלקים פוסיליים.
- ייעול צריכת האנרגיה במבנים ובתעשייה ומעבר לתהליכי ייצור המבוססים על דלקים שאינם פוסיליים (דוגמת מימן) וחשמל מאנרגיות מתחדשות.
- הפחתת הנסועה הפרטית על ידי אמצעי תחבורה ציבורית, אופניים והליכה.
- הפסקת הפליטות מתחבורה על ידי חשמול כלי רכב פרטיים, מסחריים וציבוריים.
- תכנון אינטגרטיבי של המרחב העירוני באופן המאפשר עירוב שימושים ושילוב של תשתיות אנרגיה, תחבורה ותעשייה אשר מייעלים את התנועה במרחב ואת השימוש בקרקע.
- ייעול הצריכה של חומרי גלם ומשאבים בתעשייה, במסחר ובשירותים והפסקה של ייצור פסולת והטמנת פסולת.

מדינות מפותחות, בהן גרמניה, צרפת ובריטניה, הגישו לאו"ם תוכניות אסטרטגיות הכוללות יעדים לאומיים להפחתת 75%-100% מפליטות גזי החממה שלהן ביחס לשנת הבסיס (1990). מגמה זו החלה במדינות האיחוד האירופי, ובשנים האחרונות היא מתרחבת גם למדינות OECD אחרות, לדוגמה מקסיקו ודרום קוריאה, ואף למדינות אחרות, בהן הודו ואוקראינה.

המשרד להגנת הסביבה בשיתוף המכון הישראלי לדמוקרטיה וה-OECD מקדם בימים אלו תוכנית שאפתנית שלפיה עד שנת 2050 ישראל תעבור לכלכלה דלת פחמן תחרותית

ומשגשגת. התוכנית כוללת שינויים במערך התחבורה ובגישת התכנון של תשתיות ומבנים ואינטגרציה בין גופי התכנון, ייעול השימוש באנרגיה ובמשאבים אחרים, מעבר למקורות אנרגיה מאופסי פליטה והפסקת הטמנה של פסולת.⁹

9 לפרטים נוספים ראו אתר ההתייעצות של המשרד להגנת הסביבה, "כלכלה משגשגת בסביבה מקיימת".

פרק 2

סקירה בינלאומית של ניתוחי עלות-תועלת של רפורמות להפחתת פליטות גזי חממה

לאורך השנים היו ניסיונות רבים לחזות את קווי דמותו של המשק העולמי ב־2050. על פי הערכות של ה־OECD, עד אמצע המאה ה־21 התמ"ג העולמי יגדל פי ארבעה, יתווספו עוד כ־2 מיליארד איש ואישה לאוכלוסייה, ותוחלת החיים הגדלה בשילוב צמצום בילודה תביא להזדקנות האוכלוסייה במדינות מפותחות רבות וליתרון יחסי למדינות שבהן חלקה של האוכלוסייה הצעירה העובדת גדול. 70% מן האוכלוסייה העולמית יתגררו בערים – הדבר אומנם ישפר את היעילות התכנונית והכלכלית, אך ייתן משנה תוקף לצורך בהתמודדות עם זיהום אוויר, ניצול יעיל של אנרגיה וצפיפות תחבורתית (OECD, 2013). התחזית המאיימת ביותר, אשר אולי במפתיע עודנה שנויה במחלוקת בין ראשי מדינות, היא התחזית שלהשלכותיה יש הפוטנציאל ההרסני ביותר למשק העולמי העתידי – השפעת ההתחממות הגלובלית על כלכלת העולם.

(א) הנזק הכלכלי הצפוי מהתחממות גלובלית

הנזק הכלכלי מההתחממות הגלובלית נחקר רבות בספרות.¹⁰ ההערכות הכמותיות של נזקי אקלים במצב עסקים כרגיל הן אובדן של 0%-20% מן התמ"ג העולמי, ועיקר ההערכות מרוכזות בעשירון הראשון (מרכז הידע הישראלי להערכות לשינויי אקלים, 2012).

נזקי האקלים שהשפעותיהם הכלכליות בטווח הארוך נאמדו לאורך השנים כוללים:

- שינויי טמפרטורה, אשר יכולים להשפיע למשל על הפריון והתוצר במשק (Burke, Davis, and Diffenbaugh, 2018).
- שינויים בתדירות המשקעים ובעוצמתם, אשר במצב עסקים כרגיל יפגעו בזמינות של מקורות מים מתוקים באזורים שיש מחסור אינהרנטי במים ויגדילו תדירות של שיטפונות (Baum et al., 2016).¹¹

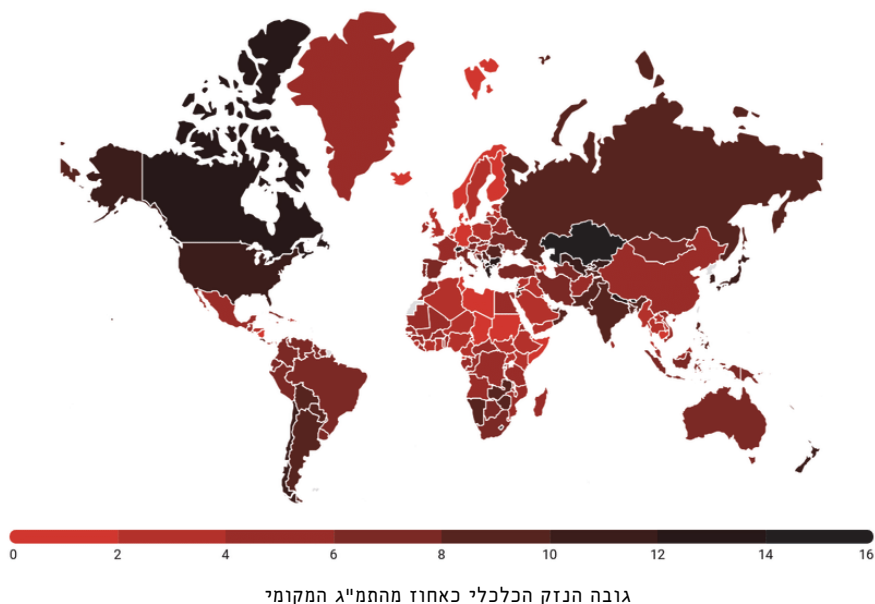
10 חלק מן הספרות מרוכז באתר מרכז הידע הישראלי להערכות לשינויי אקלים, ICCIC, שהוקם על ידי מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית בתמיכת המשרד להגנת הסביבה.

11 בעניין זה חשוב לציין את הקשר שמצאו חוקרים בין שנים שהיה בהן מחסור קשה במים ובין התפרצות עימותים במזרח התיכון. לדוגמה נמצא כי הבצורת של 2007-2010, אשר לטענת חוקרים נבעה מנזקי אקלים, הייתה אחד הגורמים להתפרצות מלחמת האזרחים בסוריה (Feitelson and Tubi, 2017).

- גידול בתדירות של אסונות טבע, וכיוצא מכך גידול בהוצאות על שיקום המשק לאחר אסון ועל ביטוח מפניו (דוידוביץ' ואחרים, 2019).
 - גידול בהוצאות על בריאות בשל תחלואה מוגברת מזיהום אוויר, חום קיצוני והשפעות אחרות של שינויי אקלים (Orimoloye et al., 2019). על בסיס מחקרי עבר חוקרים טוענים שיש קשר בין שיעור תמותה מנגיף הקורונה לבין זיהום אוויר (צפרי, 2020).
- באוגוסט 2019 התפרסמה הערכה עדכנית של הנזק הכלכלי הצפוי מהיעדר פעולה ומהתחממות גלובלית, והיא מתריעה על אובדן פוטנציאלי של 2.51% מן התמ"ג העולמי לנפש עד 2050, ו-7.22% עד 2100, לעומת אובדן של 0.11% ו-1.07% בלבד, בהתאמה, במקרה של עמידה ביעדים של הסכמי פריז (Khan et al., 2019). על פי אותו מודל, בישראל אובדן התוצר לנפש מוערך ב-1.15% עד 2050, ו-3.87% עד 2100 (לעומת עלייה של 0.24% ב-2050 ו-0.08% ב-2100 במקרה של עמידה ביעדים של הסכמי פריז).

תרשים 1

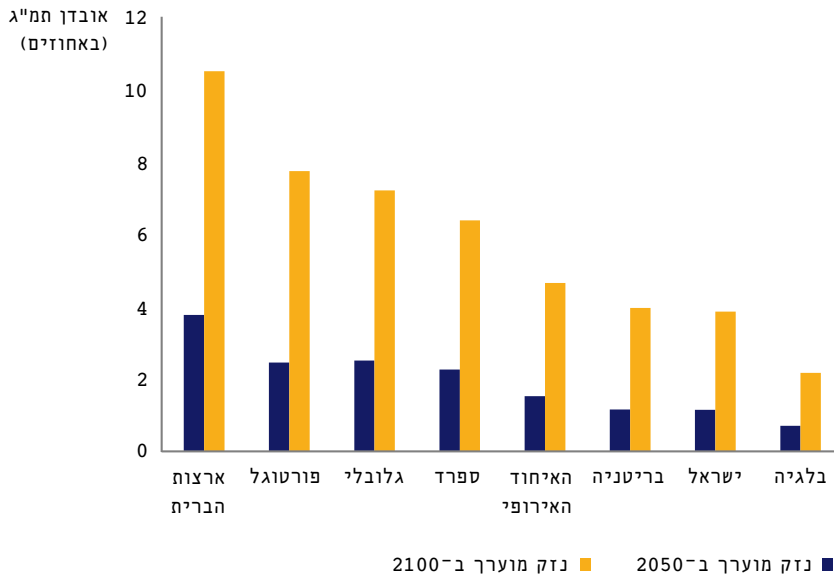
נזק כלכלי מוערך בהיעדר מדיניות גלובלית להפחתת פליטות, במנחי אובדן אחוזי תוצר עד 2100



מקור: Khan et al., 2019, p. 34

תרשים 2

נזק כלכלי מוערך בהיעדר מדיניות גלובלית להפחתת פליטות, במונחי אובדן אחוזי תוצר עד 2050 ו-2100, באזורים נבחרים



מקור: עיבודי המחברים לנתוני Khan et al., 2019

(ב) היערכות לעלות הגלובלית של הפחתת פליטות

הערכת העלות של המדיניות להפחתת פליטות גזי חממה משתנה בין מדינה למדינה ותלויה, בין היתר, בתרחיש הבסיס באותה מדינה (תרחיש עסקים כרגיל), אשר מעריך מה תהיה כמות הפליטות בלא התערבות של הממשלה בהתפתחויות הטבעיות של השוק. את עלות המדיניות להפחתת הפליטות ניתן להציג כסך כל ההוצאות הממשלתיות במסגרת צעדי מדיניות להפחתת פליטות, או כעלות למשק במונחי אובדן אחוזי תוצר. בספרות ואצל הגופים הציבוריים המובילים מקובל להתייחס לעלות במונחי אובדן אחוזי תוצר עד לשנת היעד, בדרך כלל שנת 2050.

יש להדגיש כי בספרות ובמסמכי המדיניות אין מתודולוגיה אחידה לחישוב העלות במונחי תוצר של מדיניות להפחתת פליטות, בעיקר משום שכל גוף בוחר לשקלל לתוך מודל

החישוב שלו תועלות ועלויות צפויות שונות. ברבים מן התחשיבים לא נהוג לכלול תועלות הנובעות ממזעור פליטת מזהמים מקומיים או ממזעור נזקי אקלים, אשר את גודלם ניתן להעריך לפי הנזק הכלכלי הצפוי במקרה של אי-התערבות (ראו לעיל סעיף א). אחת מן הסיבות לכך היא שחלק ניכר מהתועלות מהפחתת נזקי אקלים כרוך בפעולה משותפת של מדינות ואינו תוצאה ישירה של פעולה של מדינה בודדת. לעומת זאת בכמה מן התחשיבים נכללות תועלות הנובעות מהשפעות חיצוניות ישירות ברמת המדינה של תוכניות לאומיות להפחתת פליטות, כגון חיסכון באנרגיה, הגדלת מקורות תעסוקה, הגדלת הפריור בשל השקעה בתשתיות ובמו"פ ועוד.

בהסתכלות בינלאומית, על פי הערכות שפרסמה הנציבות האירופית ועל פי סכמה של היעדים האסטרטגיים שהגישו המדינות ל-UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), העלות הגלובלית נטו של היעדים להפחתת פליטות (80%-100% הפחתה גלובלית ביחס ל-1990) נעה בין ירידה קלה של 1.3% בתמ"ג העולמי ב-2050 לבין עלייה קלה של 2.19% בתמ"ג העולמי ב-2050, ביחס לתמ"ג 2050 תרחיש עסקים כרגיל (European Commission, 2018).

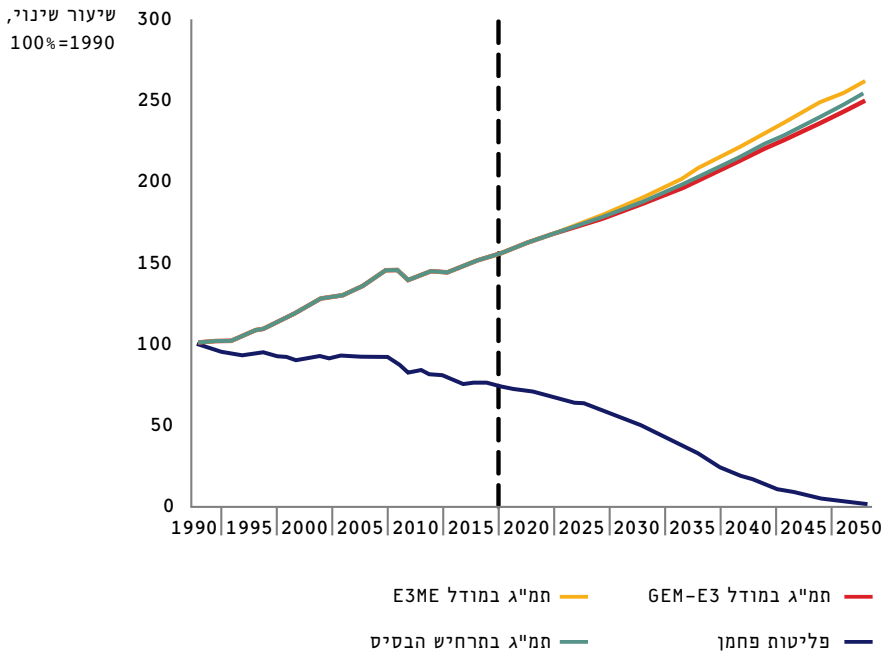
המנעד של התחזיות השונות של הנציבות האירופית מושפע משלושה גורמים:

- תקרה מקסימלית להתחממות גלובלית עד 2050 של 2°C , התובעת הפחתה ממוצעת של 80% בפליטות במדינות אירופה ביחס לפליטות ב-1990, לעומת תקרה מקסימלית של 1.5°C , התובעת ממדינות אירופה Net GHG neutrality, קרי: איפוס פליטות גזי חממה.
- שימוש בשלושה מודלים שונים לתחשיב התחזיות (E3ME ו-QUEST, JRC-GEM-E3). בשניים מן המודלים ההנחה היא שבתסריט עסקים כרגיל ישנם משאבים בלתי מנוצלים, והגדלת ההשקעה הפרטית והציבורית ביוזמות ופרויקטים שמטרתם הפחתת פליטות תביא להגדלת ביקושים ולניצול של אותם משאבים. בכך התערבות זו משמשת מנוע צמיחה קיינסיאני למשק. נראה כי בשל הפגיעה הכלכלית בגין משבר הקורונה תסריט זה הוא התסריט הראשי. במודל השלישי הנחת הבסיס היא כלכלה בשיווי משקל, בלא משאבים בלתי מנוצלים.
- הצבת יעדים להפחתת פליטות על ידי מדינות אירופה בלבד אל מול הצבת יעדים גם על ידי שאר מדינות העולם. באופן מפתיע בכל שלושת המודלים שהנציבות האירופית מציגה, כאשר שאר מדינות העולם חותרות להפחתת פליטות, העלות המצרפית של המהלך גדלה. הסבר אפשרי לכך הוא הקושי של מדינות מתפתחות להטמיע תשתיות הנדרשות ליישום היעדים והתלות הרבה שלהן ושל פוטנציאל הצמיחה שלהן בדלקים מזהמים.

כל שלושת המודלים שהנציבות האירופית מציגה אינם משקללים תועלות ממזעור נזקי אקלים ומהפחתת פליטות מזהמים מקומיים, כגון חיטכון בעלויות למשק הנובע מהפחתה בסיכונים בריאותיים, הפחתה בסיכויים לאסונות טבע, הימנעות מפגיעה בפיריון עקב עליית טמפרטורות, ועוד תועלות חברתיות עקיפות אשר נובעות מעצירת תהליך ההתחממות הגלובלית והזיהום הסביבתי (ראו לעיל סעיף א). המודלים משקללים עלויות רק במסגרת הסטת הוצאות ציבוריות, השפעות של שינוי מדיניות על השווקים הפרטיים הנפגעים או המרוויחים מן המהלך והשפעות על שוק העבודה, שוק ההשקעות והצריכה הכוללת במשק.

תרשים 3

שינוי צפוי בתמ"ג ובפליטות פחמן בעקבות מהלך הפחתה כלל-עולמי, עם יעד של הגבלת התחממות גלובלית ל- 1.5°C , שנת ייחוס 1990



שנת ייחוס 1990. המדיניות של הפחתה פליטות עולמית התואמת את היעדים שנקבעו בהסכמי פריז להגבלת התחממות ל- 1.5°C . הקו המקווקו מייצג את תרחיש הבסיס, הקווים האדום והירוק מייצגים את תרחיש ההתערבות הגלובלית המרבית על פי שני מודלים שונים.

מקור: European Commission 2018, p. 199

על כל פנים, השינוי בתמ"ג ביחס לתרחיש הבסיס קטן יחסית בכל אחד מן התרחישים והמודלים שהנציבות האירופית מציגה, ובפרט כאשר מסתכלים על התחזית לגידול בתמ"ג העולמי עד 2050, אשר לפי הנציבות צפוי לגדול ב-152%-163% ביחס ל-1990, גם עם התערבות מקסימלית להפחתת פליטות לצורך הגעה לאיפוס פליטות גזי חממה. ההשפעה המצומצמת יחסית של המהלך להפחתת הפליטות על מגמות הצמיחה העולמיות משקפת היחלשות של יחסי התלות בין צריכת אנרגיה לבין התוצר, בפרט בכלכלות מפותחות מבוססות שירותים ומו"פ.

מבחינה היסטורית ישנו קשר גורדי בין צמיחה כלכלית לעלייה בשימוש בדלקים וכיוצא בזאת בפליטות גזי חממה. האתגר בתכנון המדיניות להפחתת פליטות תוך כדי מזעור הפגיעה בצמיחה המקומית והבינלאומית הוא הפרדה בין שני משתנים אלו, אשר במדינות רבות, ובתמונת המצב הבינלאומית, קיים ביניהם יחס ישר. לפי דיווחים של המשרד לאיכות הסביבה ביפן, היא הצליחה להפריד בין שני המשתנים כבר בשנות ה-80 של המאה ה-20, בזכות הצבת מטרה לאומית של העלאת הניצולת האנרגטית בעקבות עליית מחירי הדלקים בעולם ב-1979 (Anbumozhi, Kawai, and Lohani, 2015). גם בכלכלות מפותחות אחרות היחס בין עלייה בתוצר ובין עלייה בפליטות גזי חממה כבר אינו יחס ישר, ובכמה מהן אף ניתן לראות מגמה התחלתית של יחס הפוך. לעומתן, בכלכלות מתפתחות עדיין קיים קשר חיובי בין עלייה בתוצר ובין עלייה תלולה בפליטות גזי חממה, והוא מלמד על תלות רבה של תהליכי הצמיחה בהגדלת פליטות כתוצאה מתהליכי תיעוש ועלייה במינוע במדינות אלו.

אף שתחזית הנציבות האירופית היא שההשפעה האגרסיבית של צעדים להפחתת פליטות על התוצר אינה רבה, צפויה השפעה שונה של התוכנית על מגזרים שונים. לדוגמה, על פי הערכות הנציבות האירופית, מגזר הדלקים ייפגע פגיעה קשה (32%-40.6% ירידה בתוצר ביחס לתרחיש עסקים כרגיל), ואילו יצרני החשמל ייהנו מצמיחה המתעצמת עם הגדלה של היעדים העולמיים (עלייה של 10.1%-29.7%). במגזר התחבורה, אשר התלות שלו בדלקים תשפיע על הצמיחה שלו בשלבי המעבר לאנרגיות מתחדשות (על אף הגידול הצפוי בביקוש לכלי רכב), צפויה ירידה של 2.5%-8.7% בתוצר. מגזר התעשייה צפוי לשמור על צמיחה יציבה גם עם התערבויות להפחתת פליטות.¹² מגזר הבינוי ייהנה מצמיחה קלה עקב תהליך העברת המשק למבנים ירוקים. יצרני הנייר ייהנו מביקושים עולים גם הם (European Commission, 2018).

עוד שינוי אשר הנציבות האירופית צופה בעקבות התערבות להפחתת פליטות הוא גידול בהשקעות על חשבון צריכה. בתרחיש הקיצון, יעד של 1.5°C והשתתפות כלל-עולמית בעדי

12 צפי לצמיחה יציבה במגזר התעשייה מסתמך על צעדי מדיניות מאזנים כנגד הגדלת מיסוי על צריכת פחמן ועלויות מעבר לחיסכון אנרגטי וצריכת אנרגיות מתחדשות. הדוגמה המובהקת לכך היא הפחתת מיסוי על עבודה.

הפחתה, התחזיות הן עלייה של כ-2.2% בהשקעות וירידה של כ-1.7% בצריכה. העלייה בהשקעות צפויה בשל הסטת כספים רבים במשק ליזמות וחדשנות בתחומי ייצור אנרגיות מתחדשות והתאמת המשק לצריכתן, והירידה בצריכה מושפעת בעיקר מחיסכון בצריכת אנרגיה לחימום ולקירור ולתחבורה. ראוי לציין כי יכולתו של משק נתון להתמודד עם שינוי כזה תלויה בגודלו, ביכולתו לספק את צרכיו גם לאחר הקטנת ייצור מקומי, במצב שוק התעסוקה, בשיעור האבטלה במשק וכיו"ב.

על פי התחזית של הנציבות, גם שיעורי התעסוקה צפויים לעלות במעט בהשוואה לתרחיש הבסיס בטווח הקצר, מתוך הנחה מובנית שהעלאת מיסוי פחמן תלווה באיזון על ידי הפחתת מיסי עבודה, על מנת למזער נזקים לתעשיות. בתרחיש הקיצון תוצר הלוואי של מהלך כזה יביא לעלייה של 0.9% בתעסוקה ב־2050 ולעלייה קלה בתמ"ג בטווח השנים 2020-2050. על פי דוח הנציבות, בטווח הארוך גם המעבר מהסתמכות על דלקים לאנרגיות מתחדשות בפני עצמו צפוי להגדיל את הביקוש לעבודה ואת היקף התעסוקה, משום שבמגזר האנרגיות המתחדשות יידרשו יותר עובדים בהשוואה למגזר הדלקים בכלל, ובפרט במדינות שאין בהן הרבה כרייה של נפט ופחם ושמסתמכות בעיקר על ייבוא דלקים (כמדינות אירופה וישראל).

ה־OECD פרסם ב־2017 הערכה נוספת של העלות הגלובלית של הפחתת פליטות אשר התמקדה בשילוב בין קידום צמיחה כלכלית ובין קידום יעדים להפחתת פליטות. תוצאות התחשיבים של ה־OECD מראות כי מהלך קולקטיבי מסוג זה, המכוון להסתברות של 50% לעצירת התחממות גלובלית מתחת ל־2°C (יעד נמוך בהרבה מיעדי הסכם פריז, אשר מכוונים להסתברות של 100% לעצירת ההתחממות מתחת ל־2°C, ואף שואפים להגדלת היעד ל־1.5°C) ומכונה במסמך "מעבר החלטי" (Decisive Transition), יוכל להביא לגידול ממוצע בתמ"ג מדינות ה־G20 של 2.8% עד שנת 2050, המורכב מעלות למשק של 0.9% מהתמ"ג המקווצת עם תועלות נלוות של המהלך. עליהן נפרט להלן בסעיף ג. כאשר משקללים בתוך תחשיב זה גם את התועלות ממזעור נזקי אקלים (1.9% גידול בתוצר ב־2050),¹³ תחזית העלות נטו למהלך Decisive Transition עולה לתוספת של 4.7% לתמ"ג ב־2050. במקרה של הגדלת היעד להפחתת פליטות להסתברות של 66% לעצירת ההתחממות הגלובלית מתחת ל־2°C, עלות התוכנית למדינות ה־G20 גדלה בהרבה, עד לפגיעה של 2.6% בתוצר 2050. עם זאת בפועל עדיין צפוי גידול בתוצר של 2.5% ב־2050 בשל שקלול התועלות החיצוניות הנלוות (ראו להלן סעיף ג). בשקלול התועלות ממזעור נזקי אקלים הצבת היעד השאפתני צפויה להביא לגידול בתוצר של 4.6%.

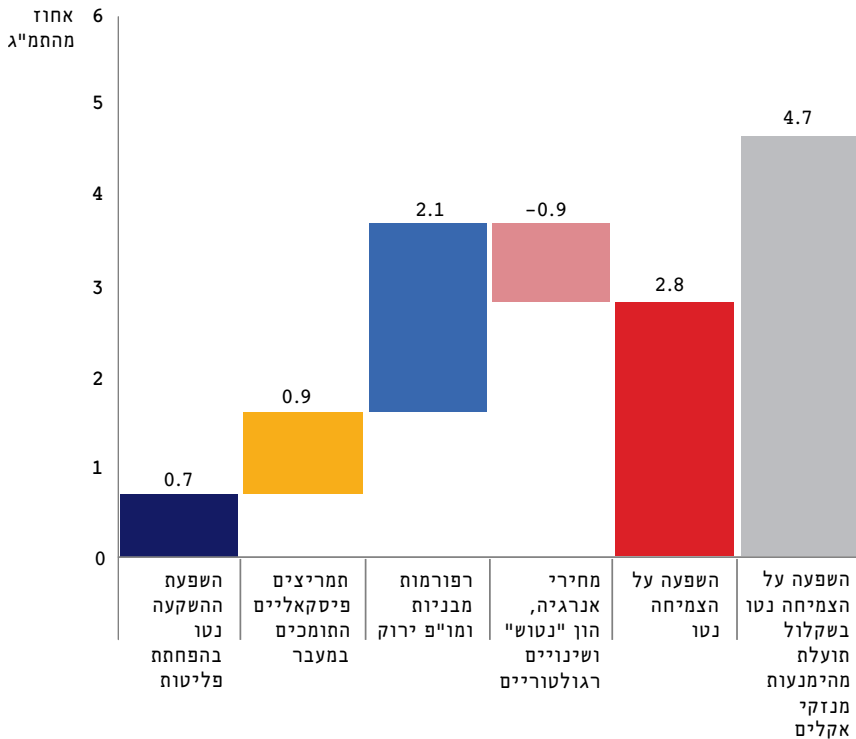
13 היות שהיעד שמדובר עליו הוא הסתברות של 50% לעצירה של עליית הטמפרטורות מתחת ל־2°C אין מדובר על הימנעות משמעותית מן הנזקים כפי שמתווה פריז מציע, כלומר הסתברות של 100% לעצירה מתחת ל־1.5°C.

דוח ה-OECD מבחין גם בין ההשפעות של מהלך Decisive Transition על ארבעה מקבצים של מדינות בתוך ה-G20: מדינות מפותחות המייבאות דלקים, מדינות מפותחות המייצאות דלקים, מדינות מתפתחות המייבאות דלקים ומדינות מתפתחות המייצאות דלקים. כפי שניתן לראות בתרשים להלן, מדינות מתפתחות המתבססות על ייבוא דלקים ייהנו מהתועלת הגדולה ביותר מן המהלך, ככל הנראה בשל ההוספה של כספי ההשקעה למשק וההימנעות מן הנזקים למגזר של ייצור וייצוא של דלקים מזהמים. מהערכת ההשלכות המקרו-כלכליות של דחיית פעולה להפחתת פליטות אנו מסיקים כי דחיית פעולה ל-2026 תייקר את המהלך למדינות ה-G20 בכ-1.5%-6% מתוצר 2050, ודחיית פעולה ל-2035 תייקר אותו בכ-1%-16% מן התוצר. את המחיר הגבוה ביותר על דחיית פעולה ישלמו מדינות מתפתחות המייצאות דלקים מזהמים – הן ככל הנראה יאלצו להתמודד עם מהלכים קיצוניים ולא הדרגתיים, אשר יפגעו פגיעה קשה בצמיחתן.

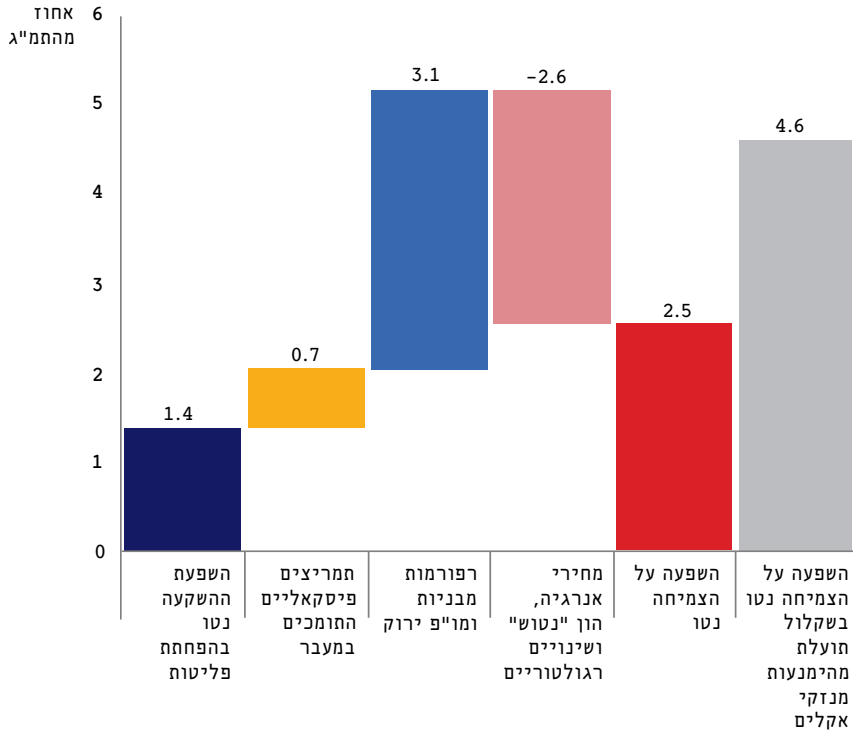
4 תרשים

עלות-תועלת ממוצעת של מהלך Decisive Transition במדינות ה-G20, כאחוז מתוצר 2050, בהשוואה לתרחיש עסקים כרגיל

I עבור יעד הסתברות של 50% לעצירה ב-2°C



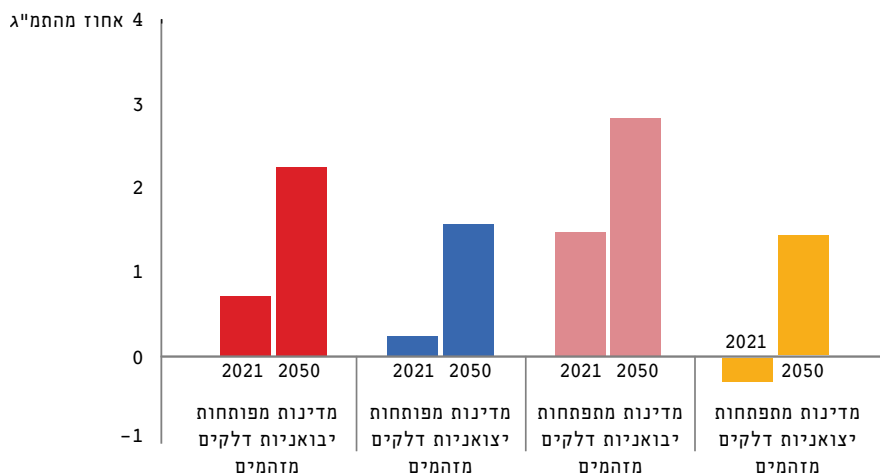
II עבור יעד הסתברות של 66% לעצירה ב-2°C



מקור: OECD, 2017, p. 22

תרשים 5

עלות-תועלת ממוצעת של מהלך Decisive Transition
 במדינות ה-G20 במונחי תוצר 2050,
 לפי מדינות מתפתחות/מפותחות ומייבאות/מייצאות דלקים מזהמים



מקור: OECD, 2017, p. 139

ג) תועלות חישוביות מתוכניות להפחתת פליטות גזי חממה

תועלות מהפחתת מזהמים מקומיים

אחת מן התועלות החישוביות הבולטות של הפחתת פליטות גזי פחמן היא ההפחתה הנלווית של פליטות גזים מזהמים מקומיים.¹⁴ מזהמים אלו ידועים כמשפיעים על בריאות האדם ועלולים לגרום מחלות בדרכי הנשימה ומחלות לב וכלי דם.

על פי מחקר של ה-OECD, ב-2010 העלות הכלכלית לישראל בשל תמותה כתוצאה מזיהום אוויר מוערכת בכ-7.4 מיליארד דולר, בשל 2,548 מקרי מוות המיוחסים לזיהום

14 בפרט חלקיקים בקוטר נמוך (PM2.5): חנקן דו-חמצני (NO2) ואוזון (O3).

אוויר.¹⁵ בעבור כלל מדינות ה־OECD עלות התמותה מסיבה זו מסתכמת בכ־1,571 מיליארד דולר, בשל כמעט חצי מיליון מקרי מוות לשנת 2010. בסין, שיאנית זיהום האוויר, העלות היא כ־1,278 מיליארד דולר, בשל כמעט 1.3 מיליון מקרי מוות המיוחסים לזיהום אוויר באותה שנה. ה־OECD אף מעריך כי 50% מתמותה זו יש לזקוף למזהמים מקומיים המגיעים ממגזר התחבורה (OECD, 2014).

במחקר מאוחר יותר של ה־WHO (World Health Organization) בשיתוף ה־OECD מוערכת התוספת של (Disability Adjusted Lifeyears) DALYs, שנות נכות שיתוספו למשק כתוצאה מזיהום אוויר (WHO and OECD, 2015). מדובר במדד מקובל להערכת עלות-תועלת של צעדי מדיניות המזיקים לבריאות האזרחים או מיטיבים עימה על ידי אמידת תוספת חיטון של השנים אשר בהן פרטים באוכלוסייה נאלצים לחיות עם חולי או נכות מסוימת. ההערכה היא שלישראל התוספו ב־2010 בשל זיהום אוויר כ־40,000 DALYs. שני המחקרים, של ה־OECD ושל ה־WHO, מעריכים בהערכה גסה את העלות הכלכלית של תוספת ה־DALYs למשק בכ־10% מהעלות למשק כתוצאה מתמותה. על פי הערכה זו עלות התחלואה כתוצאה מזיהום אוויר (להוציא מקרי תמותה) לשנת הבדיקה היא כ־740 מיליון דולר בישראל, וכ־157 מיליארד דולר בכלל מדינות ה־OECD.

בחינה של התועלות החיצוניות הנלוות כתוצאה מהפחתת מזהמים מקומיים על ידי הנציבות האירופית מעלה כי יש להן השפעה ניכרת במונחי תוצר 2050. התחשיב נוצר על ידי שימוש במודל JRC-GEM-E3, שבו השתמשה הנציבות בחישוב עלות מהלך גלובלי של הפחתת פליטות המתואר לעיל. במקרה של מהלך גלובלי להפחתת פליטות גזי חממה לצורך עצירת ההתחממות הגלובלית ב־2°C התועלת מן ההפחתה הנלווית של פליטות גזים מקומיים מוערכת בתוספת של 2% לתוצר העולמי ב־2050 ביחס למצב עסקים כרגיל. תועלת זו אף גבוהה יותר באזורים שיש זיהום חמור, סין למשל, שם מוערכת תוספת של 5% לתוצר ב־2050 כתוצאה מהפחתת מזהמים מקומיים. תוספת זו לתוצר משקללת תועלות מהפחתת תמותה והפחתת חולי, וכתוצאה מכך מהפחתת הוצאות על בריאות והפסד ימי עבודה ומשיפור בתוצרת החקלאית (European Commission, 2017).

תועלות המשקעה ציבורית בתשתיות

תוכניות לאומיות להפחתת פליטות כוללות באופן טבעי גם השקעה מרובה בתשתיות המדינה, ובתוך כך בתשתיות תחבורה ציבורית ופרטית, פיתוח ותכנון אזורים עירוניים ותשתיות אנרגיה. השקעה זו בפיתוח תשתיות יכולה לתרום לצמיחה בשני אופנים:

15 תחשיב זה אינו כולל עלויות למשק כתוצאה מחולי, אשר גורר עלויות למערכת הבריאות ואובדן ימי עבודה למשק.

(1) הזרמת תקציבים ציבוריים לפיתוח תשתיות היא דרך לעורר את הכלכלה בתקופות של מיתון ולייצר פעילות כלכלית, ובתוך כך להגדיל את הביקוש לעבודה ואת הצריכה. לאחר המשבר העולמי של 2008 מדינות G20 רבות השקיעו חלק גדול מחבילות השיקום שלהן (כ-20%-40%) בפיתוח תשתיות (IMF, 2014; ILO and ILS, 2011). תועלות אלו מתבררות לנוכח הצורך לעודד צמיחת משקים שנפגעו במשבר הקורונה.

(2) יש קשר מוכח בין קיומן של תשתיות ציבוריות איכותיות ויעילות לבין פריון וצמיחה במשק בטווח הארוך (Calderon and Serven, 2014; Buffie et al., 2012), וגם ידוע הסיוע של תשתיות אלו לצמצום אי־שוויון ולצמיחה מכילה (UN, 2016).

על אף ההשפעות החיוביות הידועות של השקעה ציבורית בתשתיות, בעשורים האחרונים ניכרת ירידה בהשקעות ציבוריות אלו כאחוז מהתוצר, גם במדינות מפותחות וגם במדינות מתפתחות. משום כך ההערכה של ה־OECD היא שהגדלת ההשקעה הציבורית בתשתיות התומכות בהפחתת פליטות בכ־0.5% מהתוצר במדינות ה־G20 תוביל לגידול של כ־2% בתוצר 2050 במדינות אלו (OECD, 2017).¹⁶ המדינות אשר ירוויחו הכי הרבה מן ההשקעה בתשתיות הן מדינות ששיעור האבטלה בהן גבוה ומדינות שהפריון בהן הוא נמוך.

תועלות המשקעה ציבורית ופרטית במו"פ ירוק

מרבית התוכניות של המדינות להפחתת פליטות לקראת שנת 2050 מעודדות מחקר ופיתוח ירוק ומכוונות לפיתוחים טכנולוגיים אשר יסייעו למשק לעבור לשימוש באנרגיות מתחדשות ולהפחית צריכת אנרגיה. אין מדובר רק בהסטת השקעות ממגזרים אחרים במשק, אלא גם בהגדלה של ממש בסך ההשקעות הציבוריות והפרטיות: הגדלת ההשקעות הציבוריות ממומנת מההכנסה החדשה של המדינה ממיסי פחמן, ובחלקה היא ממוחזרת לצורך השקעה במו"פ ירוק. הגדלת ההשקעות הפרטיות תתאפשר כתוצאה מרפורמות מבניות אשר במסגרת התוכנית האסטרטגית הלאומית להפחתת פליטות מסירות חסמים להשקעה בתחום המו"פ הירוק.

הערכת ה־OECD היא שהגדלת ההשקעה הציבורית במו"פ ירוק בכ־0.1% בממוצע במדינות ה־G20, מחזור ההכנסות ממיסי פחמן והפחתת חסמים להשקעה פרטית במו"פ ירוק 0.35-0.85 נקודות האחוז יביאו לגידול של כ־3% בתוצר 2050 (OECD, 2017).¹⁷

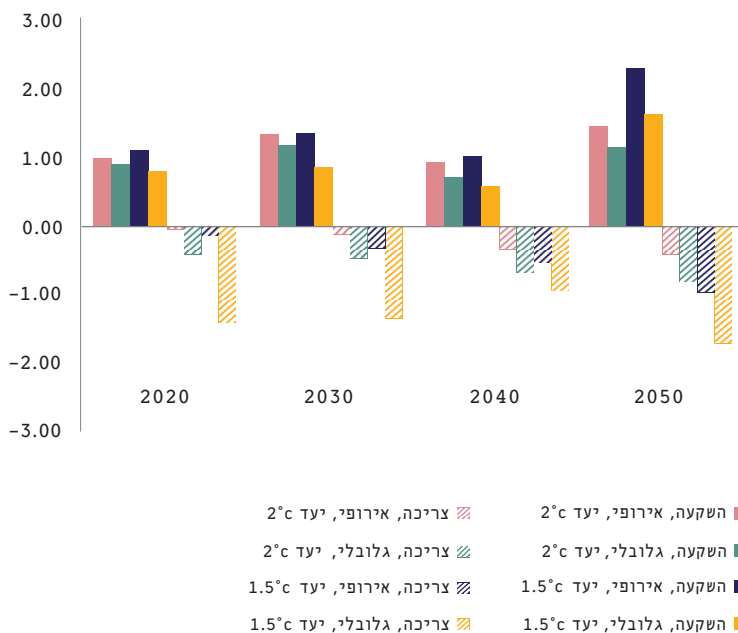
16 ראו לעיל תרשים 4 השמאלי, העמודות הראשונה והשנייה משמאל.

17 ראו לעיל תרשים 4 השמאלי, העמודה השלישית משמאל.

תימוכין נוספים לצפי של גידול בהשקעות במו"פ נמצאים בשלושה מודלים שונים של הנציבות האירופית – בכמה מן המקרים בעקבות צמצום הצריכה הנובע מהתייעלות אנרגטית, שמשמעותה הפחתת תשומת האנרגיה בייצור יחידת תוצר או בצריכת מוצרים ושירותים, אשר מפנה כספים להשקעה.

תרשים 6

השקעה (עמודות מלאות) וצריכה (עמודות מקווקוות): סטייה מתרחיש הבסיס במקרה של התערבות לפי יעדי הסכם פריז, מהלך גלובלי/אירופי-פרטני

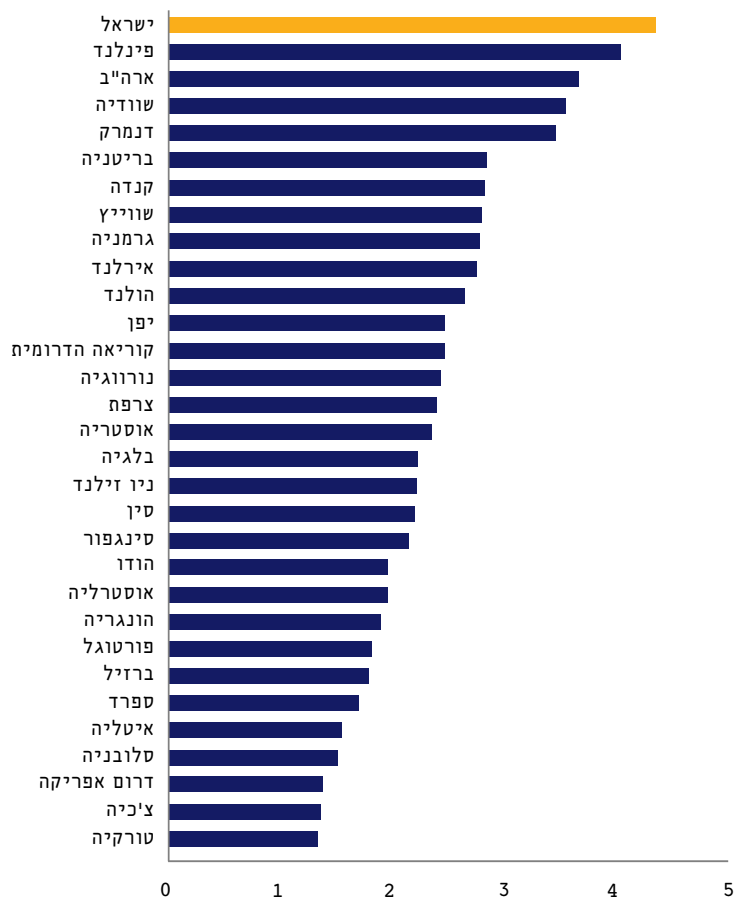


מקור: European Commission, 2018, p. 224

על פי הערכות של רשות החדשנות, תמיכה ממשלתית במו"פ באופן כללי מניבה תשואה למשק הגדולה פי 5-6 מסכום התמיכה. במו"פ עבור תעשיות מסורתיות, אשר מו"פ ירוק משתייך אליהן, תשואה זו למשק יכולה להיות פי 6-200 מהתמיכה הממשלתית (רשות החדשנות, 2018). על פי מדד החדשנות העולמי למו"פ טכנולוגיות נקיות ישראל מדורגת במקום גבוה בהשוואה בינלאומית, וב-2014 הייתה מדורגת ראשונה בעולם למדד זה. הדירוג הגבוה הופך אותה למוקד אטרקטיבי להשקעות פרטיות ככל שהסביבה הרגולטורית תעודד זאת.

תרשים 7

מדד החדשנות של מחקר ופיתוח טכנולוגיות נקיות, דירוג עולמי 2014



מקור: רשות החדשנות, 2018, עמ' 10.

בלוח 1 ניתן לראות ריכוז של הערכות העלות של המדיניות להפחתת פליטות בשלוש מדינות (בהן פורטוגל, אשר פרופיל צריכת האנרגיה שלה דומה לשל ישראל), וברמה העולמית על פי הערכות הנציבות האירופית וה־OECD אשר פורטו לעיל. כמו כן מפורטות התועלת המוערכת מהפחתת נזקי אקלים ותועלות חיצוניות נלוות לתהליכי הפחתת פליטות היכן שהמידע זמין.

לוח 1

ריכוז עלויות ותועלות של מדיניות להפחתת פליטות בהשוואה בינלאומית,
במונחי תוצר 2050

מדינה	יעד הפחתה בגזי הפליטה	שנת יעד	שנת יחוס	עלות ישום מוערכת עד 2050	תועלת חיצונית מהפחתת מזהמים מקומיים	תועלת חיצונית מהשקעה ציבורית בתשתיות	תועלת חיצונית מהשקעה ציבורית ופרטית במו"פ	תועלת מוערכת מהפחתת נזקי אקלים עד 2050	תועלת מוערכת מהפחתת נזקי אקלים עד 2100	מקור
בריטניה	-100%	2050	1990	-2% עד -1%	-	-	-	+1.21%	+4.08%	Committee on Climate Change 2019; Khan et al. 2019
פורטוגל	-70%	2050	2005	-1.8% עד -5%	-	-	-	+2.24%	+7.03%	Governo De Portugal 2012 ; Khan et al. 2019
בלגיה	-46%	2030	1990	-2%	-	-	-	+1.18%	+2.46%	Climact 2016 ; Khan et al. 2019
גלובלי	-100%	2050	1990	+2.2% עד -1.3%	+2%	-	-	+2.4%	+6.15%	European Commission 2018 & 2017; Khan et al. 2019
מדינות G20	הסתברות של 66% לעצירת התחממות ב-2°C	2050	NA	-2.6%	-	+2.1%	+3.1%	+1.1%	-	OECD 2018

פרק 3

גישת המקרו לאימוץ יעדים להפחתת פליטות מזהמות בישראל

הסכנות של ההתחממות הגלובלית וזיהום האוויר בממד המקומי הן השפעות חיצוניות של פעילות כלכלית, כלומר נזקים שאינם נלקחים בחשבון על ידי השחקנים הכלכליים ועל כן אין להם מחיר שוק. הנזק הכרוך בהשפעות חיצוניות אלו אינו מייד, לא ברמת המדינה ולא ברמת הפרט, ועל כן אינו בא לידי ביטוי מייד באופן המקובל למדידת פעילות כלכלית באמצעות התוצר. עם זה, טיפול בהשפעות החיצוניות עשוי להפחית את התוצר הנמדד בהווה ולייצר גידול בתוצר בעתיד. על כן יש צורך בהערכה מקרו-כלכלית של התוכניות להפחתת הפליטות של המשרדים. בספרות התאורטית העוסקת בצמיחה, מטרת המדיניות היא להשיא את התועלות של הפרטים במשק. מושג התועלת רחב וכולל צריכה של מוצרים ושירותים שרובם ניתנים למדידה וכן תועלות מאיכות חיים – אותה קשה יותר לכמת. מטרת ההערכה המקרו-כלכלית בדוח זה היא להשתמש במודל על מנת לכמת במונחי תוצר את העלות והתועלת של אימוץ התוכניות להפחתת הפליטות המזהמות. הכימות במונחי תוצר נועד לשקף את העלות במונחי ההכנסה הנמדדת (תוצר) של המשק. בשל מגבלות המודל ובהיעדר מודל אחר נגיש לנו אשר ביכולתו לשקלל גם תועלות ממהלך הפחתת פליטות, התועלות החיצוניות של המהלך אינן מכומתות בדוח זה, אלא נגזרות מתועלות חיצוניות שכומתו על ידי גופים בינלאומיים. עוד מטרה של הדוח היא לבחון את שילוב התוכניות להפחתת פליטות של המשרדים עם תוכניות כלכליות אחרות של הממשלה על מנת לאפשר תיעדוף מושכל של התוכניות בהינתן האילוצים התקציביים. בהמשך הסקירה יידונו גם רכיבים הקשורים לאיכות חיים ואינם נמדדים ישירות בתוצר.

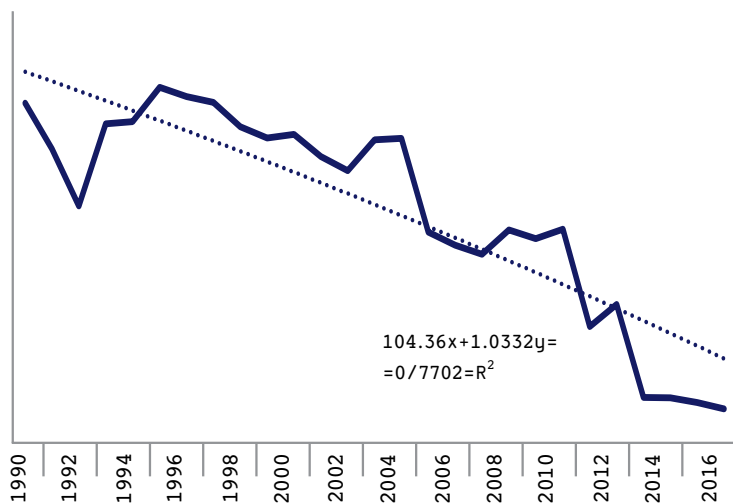
העלויות הצפויות במונחי תוצר של אימוץ תוכניות להפחתת הפליטות הן:

- הגדלת הוצאות הממשלה
- תיעדוף הוצאה על הפחתת פליטות על פני הוצאה ממשלתית עם תשואה כלכלית גבוהה יותר
- רגולציה המשיטה עלויות על המגזר העסקי
- רגולציה המשיטה עלויות על משקי בית
- מיסוי ירוק והשפעתו על התוצר.

במודלים המקרו-כלכליים הדינמיים (כולל המודל שהשתמשנו בו במחקר זה) עיקר ההשפעה השלילית על התוצר והצמיחה נובע ממיסוי ירוק (למשל מיסי פחמן), ורוב המודלים אינם

כוללים התייחסות ישירה לעלויות האחרות הנזכרות לעיל. יוצאי דופן הם המחקרים של ה-OECD והנציבות האירופית שנסקרו לעיל בפרק 2, המכמתים במונחי תוצר כמה מן העלויות הללו. על מנת לפשט את הדברים, אם נניח שהממשלה אינה משנה סדרי עדיפויות בעקבות אימוץ יעדים להפחתת הפליטות אך מגדילה את ההוצאה על ידי העלאת מיסוי ירוק, אזי ההשפעה על התוצר מוגבלת להשפעה של מיסוי ירוק ורגולציה. הנחה זו מאפשרת להשתמש במודלים דינמיים קיימים מהסוג שהשתמשנו בו בנייר זה. מודלים אלו, של שיווי משקל כללי דינמי, יכולים לשקלל את השפעות המיסוי על המחירים היחסיים במשק (אפקט התחלופה) ואת אפקט ההכנסה הכלול בהם. במדינות שהערכה כזו נערכה (ראו לעיל פרק 2) ההשפעות הללו קטנות יחסית, מכיוון שהן משפיעות בעיקר על צריכת אנרגיה, שחלקה בתוצר אינו גדול מלכתחילה ונמצא במגמת ירידה מתמשכת בשל השינויים בהרכב התוצר לטובת ענפים שעצמות האנרגיה בהן נמוכה (שירותים, הייטק ו-R&D).

תרשים 8
צריכת אנרגיה ליחידת תוצר בישראל, 1990-2016,
סקאלה לוגריתמית



מקור: עיבוד המחברים לנתוני הלמ"ס.

אחד המאמרים החשובים והמצוטטים ביותר בעניין מידול מקרו־כלכלי של מדיניות להפחתה של פליטות והתחממות גלובלית נכתב בידי Acemoglu ועמיתיו (2012), ובו קובעי המדיניות ממקסמים פונקציית רווחה משקית (ולאו דווקא תוצר), ומשתני המדיניות של הממשלה הם מיסי פחמן ומימון של הסטת מדענים לתחום האנרגיה הנקייה, על ידי מתן סובסידיות למו"פ ירוק. המשתנה העיקרי המסייע להקדמה של אימוץ טכנולוגיה נקייה הוא מידת התחלופה בין מקורות אנרגיה נקיים ומזהמים בייצור מוצרים ושירותים. ככל שמידת התחלופה גבוהה יותר, כך הסובסידיה והמס אפקטיביים יותר בהסטת התשומות לכיוון הנקי. חשוב לציין כי בגלל התחלופה בין גורמי הייצור והיתרון הטכנולוגי בנקודת ההתחלה של הטכנולוגיות המזדהמות, שיווי משקל תחרותי בלא התערבות ממשלתית מביא לאסון סביבתי.

גורם אחר המעודד אימוץ טכנולוגיה נקייה הוא שער ההיוון במשק: ככל שריבית ההיוון נמוכה יותר, משקל הפרטים לטווח הארוך גדול יותר. על כן עולה הכדאיות של הסטת המחקר והפיתוח לתחום האנרגיה הנקייה על חשבון צריכה בהווה. כאשר הריבית נמוכה נדרש מיסוי פחמן נמוך יותר הנמשך פחות זמן. היקף הסובסידיות גם הוא נמוך יותר ונמשך פחות זמן. בפרט, אחת התוצאות של המודל היא שבמצב של תחלופה גבוהה בין מקורות אנרגיה בייצור וריבית היוון נמוכה יש להסיט מייד את כל מאמצי המחקר לפיתוח טכנולוגיה נקייה.

יש לציין שמאז פרסום המחקר בשנת 2012, מרבית ההנחות שביסודו עודן מתקיימות: ניכר שהתחלופה בין מקורות אנרגיה במשק גמישה מאוד באופן יחסי, ריבית ההיוון נמוכה במשך כמעט עשור, וישנם יתרונות לגודל באימוץ טכנולוגיה נקייה (לדוגמה, ירידה במחירי האנרגיה הנקייה). על כן המסקנה העיקרית של המאמר עודנה תקפה, ויש להקדים ככל האפשר את הסטת המחקר והפיתוח הטכנולוגי למחקר ופיתוח בתחום האנרגיה הנקייה. כאמור, אמצעי המדיניות המזרזים את ההסטה הם מיסי פחמן וסבסוד מו"פ. בפועל נעשה מעט מדי בתחום זה בעולם בכלל ובישראל בפרט.

החיסרון בגישה של Acemoglu ועמיתיו (2012) ובמודלים הדינמיים שהצגנו הוא שאין בהם התייחסות מפורשת לעלות של החלפת ההון שמשמש באנרגיה מזהמת בהון המשתמש באנרגיה נקייה. בפרט, כפי שאפשר לראות אצל Rozenberg, Vogt-Schilb, and Hallegatte (2014), שימוש יתר במס פחמן מזרז נטישת נכסים מזהמים בטרם מוצו עד תום ובטווח הקצר מייצר עלויות כלכליות. מתן סובסידיות לשימוש בהון שאינו מזהם, בניגוד למיסוי פחמן, אינו פוגע בבעלי ההון הקיים, ועל כן מקטין את העלות בטווח הקצר של המעבר לשימוש באנרגיה נקייה, ומאיך גיסא הוא מעכב את תהליך המעבר. על כן המסקנה היא שיש לשלב בין הצעדים – מיסוי וסבסוד. שילוב של המסקנות בשני המאמרים

שנסקרו מראה שככל שקצב אימוץ הטכנולוגיה הנקייה עולה, השימוש בנכסי הון מזהמים נהיה לא כדאי מבחינה כלכלית, ועל כן במהלך הזמן ניתן להפחית הן את היקף המיסוי והן את הסבסוד.

לבסוף, יש להתחשב גם בהשפעות של השינוי הטכנולוגי המוטא אנרגיה נקייה על התעסוקה. בדומה להשפעת המעבר על שימוש בהון, ככל שמיומנויות העובדים נשמרות עם השינוי במקור האנרגטי של העסק, ההשפעה הישירה של המעבר לאנרגיה נקייה על התעסוקה תהיה קטנה. במאמר חדש יותר של Acemoglu ועמיתיו (2016) מפתחים מודל הכולל גם תעסוקה, ומשווים אותו לנתונים מארצות הברית על השפעות תעסוקה ומכירות של עסקים העוסקים בחדשנות בתחום האנרגיה אשר חל בהם שינוי טכנולוגי מסוג זה. ממחקר זה עולה כי השפעת התעסוקה נטו הייתה חיובית ומלווה בעלייה במכירות לעובד עבור עסקים העוסקים בחדשנות בתחום האנרגיה הנקייה, בהשוואה לעסקים העוסקים בפיתוחים הקשורים לאנרגיות מזהמות.

בבואנו לשקול את ההשלכות המקרו־כלכליות של התוכניות להפחתת הפליטות והמעבר לכלכלה מקיימת על הכלכלה הישראלית יש להתחשב בשיקולים הבאים:

- יעדי הצמיחה ארוכת הטווח של המשק בישראל
- יעדים ארוכי טווח אחרים של הממשלה
- המצב המקרו־כלכלי המחזורי
- שיקולי כלכלה פוליטית
- משק האנרגיה בישראל והיקף הפליטות
- שיקולים פיסקליים.

(א) יעדי הצמיחה ארוכת הטווח של המשק בישראל

היעד הכלכלי העיקרי ארוך הטווח של ישראל הוא סגירת הפער ברמת החיים בין ישראל למדינות OECD העשירות יותר. בשנת 2019 פרסם בנק ישראל תחזית צמיחה ארוכת טווח (ארגוב וצור, 2019), שלפיה בתרחיש עסקים כרגיל פער זה לא ייסגר עד 2050. ישראל שונה ממרבית המדינות העשירות בקצב הגידול הדמוגרפי המהיר, המחייב השקעות מהירות בתשתיות חינוך, תחבורה, דיור ובריאות רק כדי לשמור על קצב הצמיחה הנוכחי. לכן מבחינת קובעי המדיניות המשמעות של צמיחה מקיימת היא הבטחת רמת חיים יציבה או גבוהה יותר לנוכח האתגר הדמוגרפי. בפסקאות הבאות נטען שאימוץ טכנולוגיה המבוססת על אנרגיה מתחדשת ויעילה מבחינה אנרגטית אינו סותר יעדים ארוכי טווח של ישראל, אלא משלים ומקדם אותם.

נייר עמדה שפרסם בנק ישראל מתייחס למה שנדרש לצורך העלאת פירון העבודה במשק, שהוא תנאי הכרחי לצמיחה מקיימת מבחינה כלכלית (בנק ישראל, 2019), ובו מוזכר הצורך בשיפור של הסביבה העסקית, הסביבה החינוכית, הסביבה הרגולטורית ועוד. עם זאת, שיפור איכות הסביבה אינו מוזכר כיעד – לכל היותר מוזכרת רגולציה של המשרד להגנת הסביבה כמכבידה על השגת היעדים הכלכליים-חברתיים האחרים כמפורט לעיל. אף שקצב הגידול הדמוגרפי בישראל דומה לקצב הגידול במדינות מתפתחות, רמת החיים בישראל היא מהגבוהות בעולם, ועל כן האזרחים מייחסים גם לאיכות הסביבה משקל דומה למשקלה במדינות מפותחות אחרות, ובהתאם לכך על הממשלה לתת עליה את הדעת כיעד לאומי. סקר הבוחן דעת קהל בנושא אף מצא כי רוב מכריע בציבור הישראלי (89%) סבור כי ממשלת ישראל צריכה לפעול לשיפור מוכנות המשק הישראלי למשבר האקלים (אבירס-ניצן וקידר, 2020).

במסגרת הסימולציות נראה להלן שאימוץ אנרגיות מתחדשות אינו פוגע פגיעה קשה בקצב הצמיחה לטווח ארוך, אף בלא שקלול של התועלות החיצוניות של המהלך. ההערכה היא שהוא יוביל לעלייה של ממש בצמיחה ארוכת הטווח גם בניכוי עלויות (OECD, 2017; European Commission, 2018). מהשיקולים שהובאו לעיל ייתכן שתיעדוף של איכות הסביבה אינו פוגע בקצב הצמיחה בתרחיש עסקים כרגיל, אך הוא עלול להסיט משאבים מייעודים החינוכיים להגברת קצב הצמיחה. הניתוח של מחלקת המחקר בבנק ישראל מפרט את היקף ההשקעות הנחוצות בתחומים רבים על מנת להאיץ את קצב הצמיחה של המשק. שני התחומים הבולטים הם: (1) חינוך – נדרשת תוספת הוצאה של 1% תוצר, המייצרת תשואה של 6.6% במונחי תוצר; (2) תשתיות פיזיות – נדרשת הוצאה של 2% תוצר, והיא תייצר תשואה של 7.5% לתוצר. עלייה בשיעור ההשקעה על ידי שיפורים בתמריצים ליצרנים תתרום גם היא לעלייה בפירון.

אימוץ יעדים של שימוש באנרגיה מתחדשת אינו מתחרה בהשגת הרוב המכריע של יעדים אלו אלא תורם להם. אחד היתרונות של גידול מהיר באוכלוסייה ובתוצר בהשוואה למדינות המפותחות האחרות הוא היקף ההשקעה בתשתיות, הנדרש ממילא על מנת לשמר את הפירון. היקף ההשקעה החדשה הנדרשת בתרחיש של גידול דמוגרפי מהיר מאפשר לישראל להימנע משחיקה מהירה של הון קיים המשתמש באנרגיה מזהמת ועל ידי כך לחסוך חלק מההוצאות במונחי תוצר שנסקרו לעיל. היקף ההשקעה הנדרשת בתשתיות התחבורה והאנרגיה מאפשר לנתב את אותו סכום השקעה לפתרונות המותאמים להפחתת פליטות ולשימוש באנרגיות מתחדשות. למשל, מספר כלי הרכב הפרטיים צפוי להכפיל את עצמו כמעט עד 2050. על כן לא נדרשים צעדים אגרסיביים של הורדת מכוניות מזהמות מהכבישים על מנת לשפר את הפליטות של כלי רכב פרטיים במונחי נפש או תוצר, לו רק מתאריך יעד מסוים כל כלי הרכב החדשים העולים על הכביש יהיו חשמליים. כך ההגדלה

הניכרת של תשתיות תחבורה ציבורית מסילתית (עירונית ובין-עירונית), הנדרשת ממילא, צריכה להשתמש בתחבורה מונעת בחשמל. גם הגידול הצפוי בביקוש לדיור (כמעט הכפלה של מספר יחידות הדיור) מאפשר אימוץ סטנדרטים ירוקים בבנייה ובתכנון בלי הצורך להשית עול מידי על בעלי נכסים קיימים.

המסקנות העולות מהמחקרים שנסקרו לעיל עקביות גם עם פישוט הנטל הרגולטורי. המלצת המדיניות החד-משמעית של כל המחקרים האקדמיים וניירות המדיניות של גופים בינלאומיים היא להשתמש במנגנון המחירים על ידי מיסוי פחמן, המשקף את העלות האמיתית של השימוש באנרגיה מזהמת. בכך נטל הרגולציה והבירוקרטיה יורד. לדוגמה, במקום לאסור שימוש בחומרי בנייה לא מבודדים יש להטיל מיסוי על שימוש בחומרים אלו. המחקרים שנסקרו ממליצים לשלב עם מיסוי הפחמן סובסידיות להשקעות ומו"פ בתחום האנרגיה הנקייה (ייצור ושימוש). מנגנון מוסדר לאימוץ טכנולוגיה, כגון סבסוד מו"פ והשקעה בהון חדיש, שיפותח ויימכר גם למדינות אחרות, בשילוב עלות עבודה גבוהה יותר וניצולת אנרגטית גבוהה, יתרום גם הוא לעליית הפיריון במשק. על פי הדוח של בנק ישראל ההשקעה של ישראל במו"פ בתחום האנרגיה הנקייה היא מהנמוכות ב-OECD במונחי תוצר, והגידול בה צפוי גם הוא להפוך את המשק לעתיר הון במידה רבה יותר ובכך להעלות את פיריון העבודה.

(ב) יעדים ארוכי טווח אחרים של הממשלה

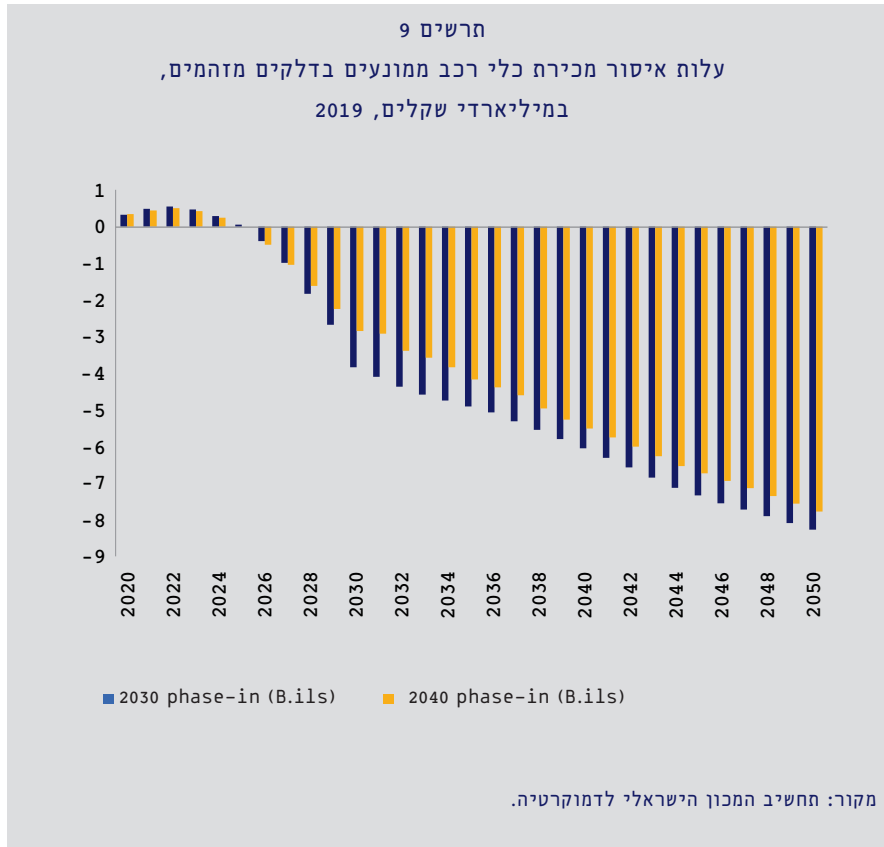
לממשלות ישראל בשנים האחרונות יש עוד יעדים כלכליים – יש בהם שמשלימים יעדים להפחתת הפליטות ולמעבר לאנרגיות מתחדשות, ויש בהם שלמצער אינם עקביים איתם. להלן העיקריים שהם:

- **הפחתת יוקר המחיה.** יעד מרכזי של ממשלות ישראל מאז המחאה החברתית הוא הפחתת יוקר המחיה. מרבית הצעדים הנחוצים לקידום התוכנית להפחתת פליטות ומעבר לאנרגיות מתחדשות, בפרט מיסי פחמן, כרוכים בהעלאת יוקר המחיה בטווח הקצר. עם זאת, מרבית הצעדים מוזילים את יוקר המחיה בטווח הבינוני והארוך. כזכור, המחקר של Acemoglu ועמיתיו (2012) מציין את שיעור ההיוון הנמוך השורר כיום במשקים המפותחים כגורם המפחית את התועלת שיש לפרטים מיוקר המחיה היום לעומת יוקר המחיה ואיכות המחיה בעתיד. נוסף על כך, מיסי פחמן משקפים עלות שמטעמים של כשלי שוק אינה מתומחרת, ומן הראוי להביאה בחשבון. לבסוף, ניתן גם לקזז את מרבית ההשפעה על יוקר המחיה על ידי שינוי תמהיל המיסים העקיפים: בכפוף לתחשיבים של תקבולי מיסוי ניתן לקזז את מיסי הפחמן המגולמים במוצרי הצריכה על ידי הפחתת מע"מ כללית. גם שיקול זה מגדיל את האטרקטיביות של שימוש במיסי פחמן על פני רגולציה ירוקה אחרת.

- **הגברת התחרות.** הגברת התחרות במשק היא יעד הקשור להפחתת יוקר המחיה, להתייעלות המשק ולהעלאת הפריור. לאימוץ היעדים להפחתת פליטות לטווח ארוך לא צפויה להיות השפעה שלילית על מידת התחרות במשק, אלא הוא צפוי להגביר את התחרות: מעבר של משקי בית ויזמים קטנים ובינוניים לייצור חשמל המבוסס על אנרגיה סולרית ורוח יוכל להגביר את התחרות במגזר האנרגיה; תהליכי אגלומרציה עירונית על חשבון הפרוורים צפויה גם היא לייעל את השווקים על ידי הורדת הוצאות עסקה הקשורות בצריכת מוצרים ועל ידי יצירת שווקים עמוקים יותר, מרובי מוכרים וקונים.
- **הקטנת הגודש והצפיפות בכבישים.** יש הלימה גבוהה בין הפתרונות המוצעים לבעיית הגודש בכבישים לבין הפחתת השימוש באנרגיות מזהמות בתחבורה. בכלל זאת: פיתוח תחבורה ציבורית חשמלית, עידוד שיתוף נסועה, שימוש בכלי תחבורה דו־גלגליים והליכה ברגל.

תיבה 1: ניתוח עלות-תועלת של החדרת כלי רכב חשמליים

לכלי רכב פרטיים יש חלק נכבד בזיהום האוויר. הביקוש לשימוש בכלי רכב חשמליים גדל בעיקר בשל עליית מחיר הדלקים באמצע העשור הקודם. בגלל קשיים טכנולוגיים פנתה מרבית התעשייה לייצר כלי רכב היברידיים, אולם גם כלי רכב אלו צורכים אנרגיה מזהמת. החידושים האחרונים בתחום כלי הרכב החשמליים מחזקים את ההערכות שבעשור הבא הביצועים והמחיר של כלי רכב חשמליים פרטיים יהיו דומים לאלו של כלי רכב המונעים על ידי אנרגיה מזהמת. נייר מדיניות עדכני של הוועדה הפרלמנטרית ליישום תוכנית להפחתת פליטות גזי חממה בבריטניה מציג תחשיב של עלות-תועלת מקרו-כלכלית של הקדמת האיסור על עליית כלי רכב שאינם חדשים על הכביש והחלפתם בכלי רכב חשמליים מ־2040 ל־2030 (Committee on Climate Change, 2019). בתחילה צפויה עלייה בהוצאות הכרוכות בהקדמת השימוש בכלי רכב חשמליים, שעיקרה הקדמת הוצאות הקשורות לתשתית עבור השימוש בכלי הרכב החשמליים, סבסוד כלי רכב חשמליים (הפער במחיר בין כלי רכב חשמליים למונעי דלק) ומחירי רכב גבוהים בתחילת התקופה. ההנחה היא שבסביבות שנת 2025 מחירי הקנייה של כלי הרכב יהיו זהים. כדי להתאים את התחשיב הבריטי לישראל הנחנו אימוץ מלא של המדיניות הבריטית כלשוונה; כמו כן הנחנו שעצמות כלי הרכב בישראל לנפש מתכנסת לממוצע ה־OECD (כיום היא נמוכה יותר). התוצאה היא – במחירי 2019 – שבשנים הראשונות יש תוספת עלות מצטברת של כ־250 מיליון ש"ח להקדמת האיסור על מכירת כלי רכב חדשים שאינם חשמליים ל־2030; תוספת העלות המצטברת מחזירה את עצמה כבר כעבור שלוש שנים. בשל שיעורי ריביות ההיוון הנמוכים המהלך כדאי מאוד.



- דיור בר השגה.** מאז המחאה החברתית הממשלות פועלות בנחישות להפחית את מחירי הדיור. בדומה לסוגיית מחירי הצריכה, גם בתחום זה ההשפעה הישירה של מיסי פחמן היא ייקור מחיר הדירות בטווח הקצר. עם זאת, עלות אחזקת דירה אמורה לרדת, זרם החיסכון מאחזקת דירה זולה יותר יפצה על העלייה במחיר הדירה, בפרט בסביבת ריביות נמוכה. עם זאת, מכיוון שלרבים מרוכשי דירה ראשונה ישנם קשיי מימון, יש מקום לשקול התערבות ממשלתית על ידי קידום מוצרי מימון מתאימים הנהוגים כיום בעולם, כגון משכנתאות ירוקות או מתן ערבות מדינה לאותו חלק במשכנתה המממן את ההתייעלות האנרגטית של הדירה, כמו גם החרגה של חלק זה מעלות הדירה ומהמגבלות המוסתות על גובה המשכנתה.

מאידך גיסא, חלק מהמהלך הנוכחי של הזלת מחירי הדיור הוא גידול בבנייה בפריפריה הכפרית, שם עלות הקרקע זולה. מהלך זה עומד בסתירה ליעדי התוכנית להפחתת השימוש באנרגיה ופליטות, מכיוון שהוא מגדיל את הנסועה, בפרט בכלי רכב פרטיים, בהשוואה לציפוף מגורים במטרופולינים קיימים. המהלך גם עומד בסתירה ליעדים של משרד התחבורה, וכן ליעדים של מינהל התכנון. על כן חשוב לסנכרן בין פיתוח וצמיחה בני קיימא ובין תכנון. לציפוף ולאגלומרציה עירונית יש יתרונות גדולים גם בתחום פריון העבודה ובמערכת החינוך והתרבות, ומכאן תרומתם לצמיחה כלכלית. יוקר הדירות בישראל נובע ממחסור בסיסי בקרקע באזורי ביקוש ביחס לאוכלוסייה הולכת וגדלה ומפיגור של היצע הדיור אחרי הביקוש לו (גורם זמני, וככל שהוא מתמיד הוא מייצר ציפיות להמשך עליית מחירי הדירות מעבר לנגזר מהביקוש ארוך הטווח). ציפוף האוכלוסייה באזורי ביקוש אינו פותר את הבעיה המבנית הנובעת מהגידול הדמוגרפי. עם זאת, על ידי האצה של תהליכי התכנון ובעיקר השקעה בתשתיות תחבורה, אשר תקבל רוח גבית מאימוץ יעדים שאפתניים להפחתת פליטות, ייתכן כי הגורמים הזמניים לעליית מחירי הדיור והציפיות לעלייה זו ייחלשו.

(ג) המצב המקרו־כלכלי המחזורי

המצב המקרו־כלכלי בישראל טרום משבר הקורונה תומך בביצוע המהלכים המוצעים לעיל, בפרט משום שרוב האוכלוסייה העובדת מועסקת במגזר השירותים, שיש בו תחלופה גבוהה בין מקורות אנרגיה מזהמים ונקיים. ככל שישנם ענפים עתירי אנרגיה מזהמת, כמו בתי הזיקוק, האבטלה החיכוכית שעלולה להיווצר בגלל שינוי תמהיל האנרגיה במשק קטנה. בעת כתיבת דוח זה עדיין מוקדם להעריך את נזקי המיתון הכלכלי המקומי והעולמי כתוצאה מנגיף הקורונה. בזמן פגיעת המגפה, עיקרה של המדיניות המקרו־כלכלית הוא לספק נזילות והכנסה בסיסית לעובדים ובעלי עסקים קטנים שנפגעו מהמהלכים למיגור ההידבקות במחלה. ואולם לצורך התאוששות מהמיתון הכלכלי נדרש גידול של ההוצאה הציבורית על מנת להחזיר את המשק לצמיחה. אם כן, כמה מהתוכניות של הממשלה לעידוד הצמיחה ניתן לכוון להשקעות ופיתוחים עקביים עם עמידה ביעדי הפליטות – בעיקר בתחום התחבורה, אימוץ מואץ של אנרגיות מתחדשות, פיתוח תשתיות רשת חכמה, פרויקטים של אגירת אנרגיה והתייעלות אנרגטית ועוד. המדיניות המרחיבה של בנקים מרכזיים בעולם, ובהם בנק ישראל, מייצרת סביבת ריבית נמוכה התומכת בהשקעות. שיעורי הריבית הנמוכים בעולם ובישראל מהווים תמריץ להקדים השקעות ארוכות טווח ומשקפים ריבית היוון נמוכה מאוד בפרספקטיבה היסטורית, התומכת בהעדפת העתיד על פני ההווה. מאידך גיסא, עד להתאוששות המשק מהמשבר יהיה קושי בהעלאת מיסים ובנקיטת צעדים העלולים לפגוע ביוקר המחיה. על כן יש לפעול בזירות בצעד המדיניות

העיקרי – הטלת מס הפחמן – ולהשהותו עד לנקודה של בשלות המשק לכך. המשק הישראלי נהנה מאינפלציה נמוכה במיוחד, והשפל הכלכלי של משבר הקורונה גם הוא מקטין את לחצי המחירים שעלולים לצוץ מהשתת מס פחמן. ואולם העלאת נטל המס אינה תואמת הפעלת כלי מדיניות ליציאה ממשבר בטווח הקצר. בטווח הבינוני, שבו ידרש להעלות מיסים על מנת לכסות את חובות הממשלה המצטברים בעת ההתמודדות עם המשבר, יהיה חשוב להסיט מיסוי לכיוון של מיסי פחמן, על חשבון מיסוי עקיף (מע"מ) וישיר (כגון מס חברות).

(ד) שיקולי כלכלה פוליטית

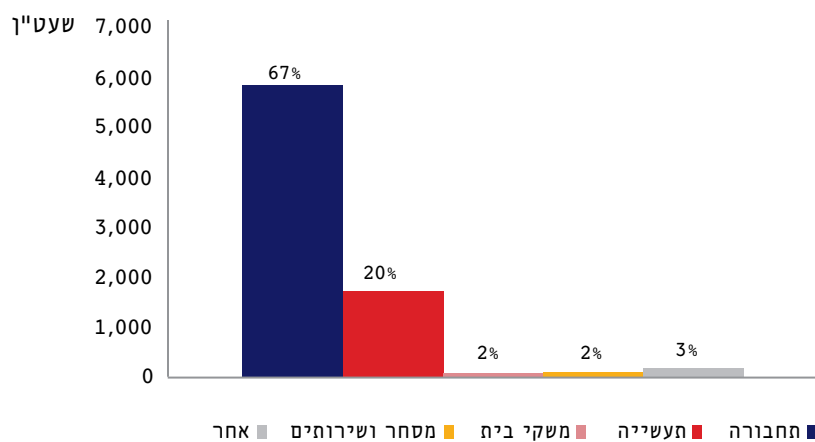
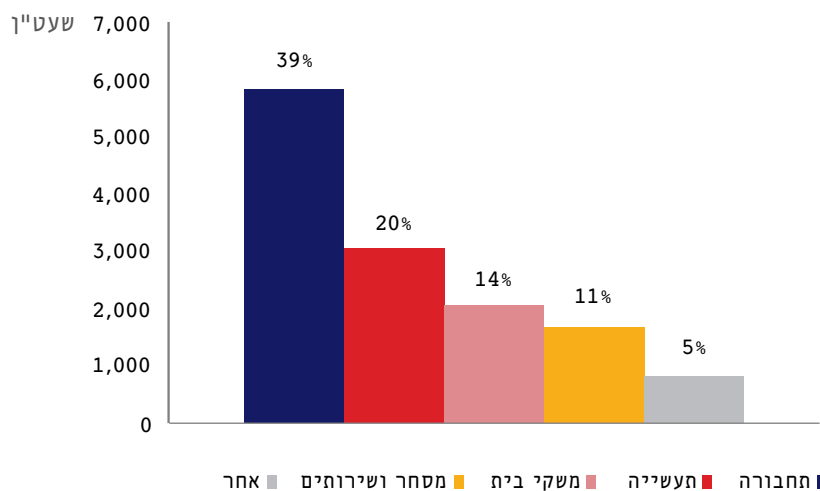
ממשלות ישראל בעשורים האחרונים, ובפרט מתחילת האלף השלישי, מייצגות תפיסה כלכלית נאו־ליברלית הדוגלת בהפחתת מעורבות הממשלה במשק, בעיקר על ידי הפחתה של נטל המיסוי וההוצאה הציבורית. תפיסה זו זוכה לתמיכה נרחבת בציבור בישראל. ואולם, השפעת הפליטות המזהמות היא מקרה קלסי של כשל שוק, הנובע מהשפעות חיצוניות שליליות ומחייב התערבות ממשלתית. הספרות שסקרנו לעיל מראה שבהיעדר התערבות ממשלתית, פתרון השוק של בעיית הפליטות יוביל לאסון אקלימי וכלכלי (Acemoglu et al., 2012; 2016; Rozenberg, Vogt-Schilb, and Hallegatte, 2014). על כן אימוץ התוכניות המוצעות מחייב הכרה באחריות ובמחויבות של הממשלה לקידום התהליך, על כל המשתמע מכך, ולכלול בו מהלך הסברה מקיף שמטרתו לשכנע שטיפול בכשל שוק אינו נסיגה מהתפיסה הכלכלית הרווחת. בפרט יש צורך להסביר שמטרתו של מיסוי פחמן אינה הגדלת חלקה של הממשלה במשק אלא התערבות במנגנון המחירים על מנת לתקן כשל שוק. כאמור לעיל, ניתן לשלב את המהלך בהפחתת נטל המס העקיף הכללי (מע"מ).

(ה) משק האנרגיה בישראל והיקף הפליטות

אימוץ היעדים להפחתת פליטות מזהמות בכל מדינה אינו בלתי תלוי במבנה משק האנרגיה בנקודת המוצא. לפי תרשים 9 המשק הישראלי נמצא בעיצומו של תהליך להקטנת העצימות של אנרגיה בתוצר, כך שאימוץ תוכניות להתייעלות אנרגטית אינו מנוגד למגמה הקיימת אלא מחזק אותה. בחינה של הביקושים הסופיים של אנרגיה במשק הישראלי מראה שצריכת האנרגיה הסופית עיקרה במגזר התחבורה, ואחריו במגזר התעשייה. צרכני האנרגיה צורכים חשמל ואנרגיה פוסילית (דלקי מאובנים) באופן ישיר; החשמל מיוצר כיום בעיקר על ידי שימוש בתשומות של אנרגיה פוסילית.

10 תרשים

סך צריכת אנרגיה (עליון) וצריכת אנרגיה מזהמת (מבוססת דלקי מאובנים) (תחתון), בפילוח לפי מגזר



מקור: הנתונים לשנת 2017 ממאזן האנרגיה בישראל, לוח 24.1 בשנתון הסטטיסטי.

מבט ממוקד יותר בצריכת אנרגיה סופית מזהמת (קרי: אנרגיה מבוססת דלקים מאובנים באופן ישיר, ולא מבוססת חשמל) לפי מגזרים מגלה את תפקידה המכריע של התחבורה בזיהום האוויר בישראל. להתייעלות התחבורה ולחשמולה, בשילוב הגברת השימוש באנרגיות מתחדשות בייצור חשמל, ולו רק בהיקף הנדרש לאספקת אנרגיה למגזר התחבורה, תהא השפעה מכרעת על הפחתת פליטות. המצב בישראל ייחודי מכיוון שמצב החירום בתחום התחבורה בה מספק הזדמנות להשיג בעת ובעונה אחת שלושה יעדים: הקטנת גודש, העלאת פריון העבודה במשק, הפחתת פליטות. בהתאם לניתוח לעיל, מכיוון שמדובר בחשמול חדש של מגזר גדול, הגדלת חלקן של אנרגיות מתחדשות מכלל צריכת האנרגיה בישראל בלי לדחוק בטווח הקצר יצרנים קיימים המשתמשים באנרגיה מזהמת היא אפשרות ישימה.

מובן שבמקביל להסבה לחשמל יש לוודא שמקורות האנרגיה בתחבורה תחליפיים. בתחום התחבורה הציבורית המסילתית יש תחלופה מלאה, ואילו בתחום התחבורה הפרטית קיימות חלופות, אך עדיין יש מקום לשיפורים טכנולוגיים שיהפכו את התחלופה לשלמה. בתחום המשאיות עדיין לא קיימות חלופות חשמליות.

במגזר משקי הבית והמסחר והשירותים (המהווה כ-80% מהתוצר) הצריכה הישירה של דלקי מאובנים מזערית. לצורך הפחתת הפליטות במגזר זה נדרש שילוב של התייעלות אנרגטית ושינוי מקורות האנרגיה המשמשים לייצור חשמל לצרכנים אלו. מפאת משקלם הזעיר של משקי הבית בצריכת אנרגיה במשק, ההתמקדות בהתייעלות בתחום זה תשיג מעט בהשוואה לשינוי תמהיל מקורות האנרגיה המשמש לייצור חשמל עבור צרכנים אלו.

מבחינה מקרו־כלכלית הניתוח לעיל תומך בסברה שהעלות במונחי תוצר של אימוץ היעדים להפחתת פליטות נמוכה. צריכת אנרגיה בכלל ודלקים פוסיליים בפרט בשימושים הסופיים (צריכה פרטית) ובמקורות העיקריים (מגזר השירותים) קטנה, ועל כן העלות של שינוי תמהיל האנרגיה ושל ההתייעלות האנרגטית עבור מרבית המשק צפויה להיות קטנה. לעומת זאת התרומה של מהלך לאומי להפחתת הפליטות גדולה מאוד, בפרט במגזר התחבורה, שבו כאמור לפתרונות המוצעים יש תרומה לצמיחה ולא רק להפחתת פליטות. הרכב הביקושים לאנרגיה בישראל מאפשר שלא להיחפז ולא לאמץ פתרונות יקרים בתחום התעשייה, שיש בה תהליכי ייצור שהתחלופה בין אנרגיה שמופקת מדלקים פוסיליים לאנרגיה ממקורות מתחדשים נמוכה בהם בשלב זה.¹⁸ בהתאם למודלים שנסקרו לעיל, התחלופה הנמוכה היא שמייצרת את עיקר העלות למשק, הנגזרת מפחת מואץ של הון בתעשיות המשתמשות באנרגיות מזהמות.

תיבה 2: הביקוש הנגזר לשטח של פאנלים סולריים

בהנחה שהטכנולוגיה של ייצור ואגירה של אנרגיה מתחדשת מאפשרת תחלופה מלאה בינה לבין מקורות מזהמים, כדאיות המעבר לאנרגיות מתחדשות תלויה בזמינותן ובעלותן. הזמינות של מקורות האנרגיה נגזרת ברובה מהתנאים הגאוגרפיים והאקלימיים. ישראל התברכה בתנאים אקלימיים המאפשרים שימוש באנרגיה סולרית. עם זאת, לשם הקמת פאנלים סולריים יש צורך בהקצאת שטח גדול בהרבה ליחידת אנרגיה בהשוואה לתחנות כוח המבוססות על דלקים פוסיליים. מכיוון שבישראל יש מחסור חמור בקרקע, והוא משפיע בין השאר על עלות הדיור, כדאי לבדוק את דרישות השטח הנגזרות ממעבר לאנרגיה סולרית. טורבינות רוח, למשל, אינן פתרון מתאים לישראל, שכן גם הן משתמשות בשטח גדול יחסית, ולישראל אין יתרון יחסי בכל הקשור למשטר הרוחות.

בתיבה זו מוצגות תוצאות הבדיקה שלנו על בסיס הביקוש לאנרגיה בישראל בשנת 2050 הנגזר ממודל MESSAGE_IL, לפי הנחות של מידת החשמול של מקורות האנרגיה. הניתוח משקלל את הביקוש לשטח ואינו כולל עלויות הקמה והרחבה של רשת ההולכה ביחס למצב הקיים. ככל שמידת החשמול גדולה יותר, כך גדל הפוטנציאל להפחתת פליטות מזהמות וכך גדל גם הפוטנציאל לשימוש באנרגיות מתחדשות. בדקנו שלושה תרחישים של מידת חשמול: שניים סביב התוצאות שהתקבלו מהמודל (כ־70%), ותרחיש קיצון המשקף את המקסימום שניתן לשאוף אליו (100% חשמול ו־100% מתחדשות). אנו מראים שני תת־תרחישים: בראשון אנחנו משאירים את הספק הייצור המשתמש באנרגיה פוסילית על כנו (משיקולים של ביטחון אנרגטי או מחויבות ליצרני חשמל קיימים) גם ב־2025; בשני אנו מאפשרים מעבר לאנרגיות מתחדשות. בתרחיש של חשמול של 60% והשארית כושר הייצור הפוסילי על כנו, אנרגיות מתחדשות אמורות לספק כ־29% מאספקת האנרגיה למשק ב־2050. תרחיש זה עקבי עם הצהרת הכוונות האחרונה של משרד האנרגיה בדבר יעד של אנרגיות מתחדשות בשנת 2030.

הניתוח שלנו מראה כי דרישות השטח הנובעות מתרחישי המדיניות גדולות, ועל כן ספק אם יתממשו. גם אם נחשב את השטח הנדרש על סמך ההערכה המיטבית – 10 קוט"ש למטר רבוע של פאנלים – נקבל דרישות שטח גבוהות מאוד בעבור רמת חשמול גבוהה ושימושים נרחבים באנרגיה מתחדשת. פתרון אפשרי הוא ניצול שטח בנוי עבור התקנת פאנלים סולריים על מבנים, תוך כדי התחשבות ביעדי מינהל התכנון, אך פתרון זה אינו מספק לנוכח כמות השטח הנדרשת.

לוח 2

חחשיב שטח נדרש לייצור אנרגיה סולרית לפי תרחישי מדיניות ותחזית עתידית

100% חשכול	MESSAGE- תרחיש מדיניות ממודל ix_IL חשכול של 80%		MESSAGE- תרחיש מדיניות ממודל ix_IL חשכול של 60%		תרחיש: הנחות:
	פחת מלא של כושר יצור פוסיילי (קוט"ש)	פחת מלא של כושר יצור פוסיילי (קוט"ש)	כושר יצור פוסיילי 2025 (קוט"ש)	פחת מלא של כושר יצור פוסיילי (קוט"ש)	
237,252,000,000	189,801,600,000	189,801,600,000	142,351,200,000	142,351,200,000	ביקוש משקי לאנרגיה בשנה 2050
-	-	73,796,880,000	-	73,796,880,000	אספקת חשמל פוסיילי *
237,252,000,000	189,801,600,000	116,004,720,000	142,351,200,000	68,554,320,000	פער לגישור
100%	80%	49%	60%	29%	אחוז מחחדשות
139,560,000	111,648,000	68,238,071	83,736,000	40,326,071	יחידות דרושות להתקנה
1,395,600	1,116,480	682,381	837,360	403,261	שטח נדרש **
2,102,915	1,682,332	1,028,224	1,261,749	607,641	שטח נדרש לפי אשלים
2,523,499	2,018,799	1,233,868	1,514,099	729,169	חוספת 20% ביטחון אנרגטי

* מבוטס על תחנת אשלים סאן פי.וי.

** הספק יחידת פאנלים של מ"ר הוא 10 קוט"ש, שיפורים טכנולוגיים עתידים להגדיל הספק זה. ההנחה בניתוח היא שההספק הקיים נשאר בגודלו האבסולוטי עד 2050.

מקור: ניתוח צוות מקרו, המכון הישראלי לדמוקרטיה.

פתרון אפשרי אחר לבעיית המחסור בשטח הוא שיתוף פעולה אזורי, בפרט עם ירדן או מצרים. לירדן ומצרים יש עתודות קרקע גדולות מאוד וגם יתרון מסוים על ישראל בפוטנציאל האנרגיה ליחידת שטח של פאנלים סולריים. למהלך של הקמת תחנות כוח סולריות במדינות אלו במימון גופים בינלאומיים, כגון הבנק העולמי, בשיתוף גורמים ישראליים, יש יתרונות רבים: יש בו פתרון לא רק לבעיית השימוש באנרגיה מזהמת בישראל, אלא גם בירדן ומצרים. בפרט, ירדן היא מדינה ענייה יחסית התלויה בייבוא אנרגיה, ומהלך כזה יאפשר פיתוח מואץ של כלכלתה ויספק לה מקורות הכנסה מייצוא חשמל לישראל. עבור ישראל המהלך הוא פתרון לבעיית השטח הנדרש לאנרגיה סולרית, ויאפשר למינהל התכנון להתמקד בפתרונות דיור יעילים שאינם בהכרח מונעים משיקולים הקשורים ביכולתם לייצר חשמל. למשל, בנייה לא רוויה מאפשרת הקמת יחידות דיור המספקות לעצמן אנרגיה, או אף מייצרות עודף אנרגיה, אך אין היא פתרון יעיל בישראל בשל מצוקת הקרקע, כמו כן אין היא משתלבת עם הפחתת הנסועה, שגם היא צורכת אנרגיה.

(ו) שיקולים פיסקליים

אחת המגבלות בטווח הקצר לאימוץ שאפתני של התוכניות המוצעות להלן הוא הגירעון החריג בתקציב. הצורך לצמצם את הגירעון קושר את ידי הממשלה בבואה לאמץ פרויקטים תחבורתיים ותכנוניים באופן כללי, ובתוכם פרויקטים להפחתת פליטות. משבר הקורונה העמיק את הגירעון ואף עלול להרע את יחס החוב לתוצר. מעבר להתמודדות עם המשבר הנוכחי, האתגרים הפיסקליים העומדים בפני הממשלה מחייבים בחינה של מבנה ההוצאות וההכנסות של הממשלה לטווח ארוך. אימוץ יעדים ארוכי טווח בתחום המעבר לכלכלה דלת פחמן משפיע הן על ההוצאות של הממשלה והן על ההכנסות בטווח הארוך. כלומר, הצורך לפתור את בעיית הגירעון המבני בתקציב הממשלה עקבי עם החשיבה ארוכת הטווח המגולמת בתהליך הפחתת הפליטות במשק הישראלי.

הרצות של מודלים של שיווי משקל כללי דינמי, לדוגמה עבור פורטוגל, מראות שהמעבר למיסוי פחמן על חשבון הבלו ומיסים אחרים על דלקים משיג הן את המטרות הפיסקליות של גביית מיסים (רמת המיסוי הדרושה להפחתת הפליטות מייצרת עד 2030 עודף הכנסות בהשוואה לבלו בתרחיש הייחוס) והן את הקטנת השימוש באנרגיה מזהמת, בין היתר על ידי מעבר לשימוש בחשמל במקום מקורות אנרגיה אחרים. מבחינת הכלכלה הפוליטית, ביטול מיסים על דלקים והחלפתם במס פחמן מאותנים לממשלה להפחית פליטות ומשדרים מסר של רפורמה במיסוי לעומת העלאת נטל המס באופן כללי. אותם מודלים מראים שהתועלת שבסבסוד חשמל ממקורות מתחדשים אינה גדולה (בהינתן המיסוי על פחמן). גם הספרות

התאורטית שנסקרה לעיל עוסקת בסבסוד של מו"פ והון ולא של ייצור אנרגיה נקייה באופן ישיר. כיום ההכנסות מבלו הן כ־7% מהכנסות המדינה. כשיפחת השימוש בדלקים פוסיליים ייווצר הצורך במקור מס חלופי, וגם על כך יש לתת את הדעת בתכנון לטווח ארוך.

פרק 4

מגזר אנרגיה נקי בישראל - ניתוח באמצעות מודל MESSAGEix_IL-MACRO

(א) רקע ומתודולוגיה

אנרגיה היא תשומה כלכלית חשובה במשק, אמצעי ייצור מרכזי וגם מצרך מבוקש במשקי בית בצורותיה השונות. מסיבה זו לכל שינוי במגזר האנרגיה תהיה השפעה מכרעת על הכלכלה בכללותה. משום כך בענף האנרגיה מידול בשיטת שיווי משקל חלקי הבוחן את משק האנרגיה בניתוק מיתר ענפי הכלכלה, אשר אינו משקלל את ההשפעה של השינויים בענף על שאר הכלכלה, אינו מספק (Palatnik and Shechter, 2008). מטרת פרק זה היא להציג ניתוח מקיף של חלופות אחדות להשגת מגזר אנרגיה נקי בישראל, מתוך התבוננות בהשפעות שלהן על הכלכלה בכללותה ובתוך כך על העלות שלהן למשק במונחי תוצר עד שנת 2050.

האתגר במידול של משק האנרגיה ובמהלכי מדיניות בתחום האנרגיה הוא להצליח לשקף את ההשפעות של משק האנרגיה על כלל הכלכלה ואת השפעות הגומלין באופן נאמן למציאות (Helgesen and Tomasgard, 2018). בספרות מצויות גישות אחדות לשילוב מידול כלכלי עם מידול מערכות אנרגיה. מודלים של תכנון בשיטת bottom-up כוללים תיאורים נרחבים של היבטים טכנולוגיים של מערכות אנרגיה, ובכלל זאת שיפורים עתידיים הצפויים בטכנולוגיות אלו (Hourcade et al., 2006), וכן אינטראקציות בין שלל טכנולוגיות אנרגיה אינדיווידואליות אשר יחדיו מהוות את המערכת האנרגטית במשק נתון – החל במקורות אנרגיה ראשוניים, עבור בתהליכי המרה והפצה, וכלה בשימושים סופיים של אנרגיה בקרב הצרכנים. מודלים אלו מציעים פתרון הכולל שיווי משקל חלקי שבו הביקוש לאנרגיה מקבל מענה תוך כדי מזעור עלויות של המערכת, ובדרך כלל הם זונחים את ההשפעות המקרו כלכליות של צעדי מדיניות בתחום האנרגיה ומתרכזים אך ורק במגזר האנרגיה. כמו כן, אין באפשרותם לשקף את כל השפעות הגומלין בין ענפי הכלכלה והמשתתפים בה בכללותה. עם זאת, הם יכולים לשקלל בקלות יחסית תחליפיות במשק האנרגיה, אך בלי להתחשב בשינויים בביקוש שתחליפים אלו ייצרו, עקב שינויים במחירים היחסיים והשפעת ההכנסה (Binswanger, 2001).

לעומת זאת מודלים של CGE (Computable General Equilibrium) בשיטת top-down מתארים את הכלכלה בכללותה ומדגישים את האפשרות לתחלופה בין גורמי ייצור לצורך מקסום של רווחי חברות (Palatnik, 2019). אפשרויות התחלופה בין אנרגיה לגורמי ייצור אחרים משוקללות בפונקציות הייצור, המתארות שינויים בתמהיל הדלקים, כתוצאה משינוי במחירים היחסיים ומגמישויות התחלופה. המחירים נקבעים בשווי משקל, שאליו מתכנסים

בוֹרְזְמַנִית כֵּל הַשׁוּקִים בַּמֶּשֶׁק – מֵתַחֵם הָאֲנֵרְגִיָּה וְשֵׁאִינִם מֵתַחֵם הָאֲנֵרְגִיָּה (Siddig and Grethe, 2014).

מִדּוּלִים בְּשִׁטַּת top-down וּבְשִׁטַּת bottom-up מֵיִיצִגִים שְׁתֵּי גִישׁוֹת רוּחוֹת וּמוֹנֹדוֹת זֶה לָזֶה לְהַעֲרִיכָה כְּמוֹתֵינִית שֶׁל מְדִינֵיֹת אֲנֵרְגִיָּה, אֲךָ חִיבּוֹר בֵּין שְׁנֵי הַמּוֹדֵלִים מֵאֲפֶשֶׁר הַלִּימָה בֵּין הַחֻזְקוֹת שֶׁל כָּל אֶחָד מֵהֶם (Bohringer and Rutherford, 2008). דּוּגְמָאוֹת לְחִיבּוֹר (hard-linking) בֵּין מִדּוּלִים בְּשִׁטַּת bottom-up וּבֵין מִדּוּלִים בְּשִׁטַּת top-down הֵן מִדּוּלֵי Messner and Schrattenholzer, 2000; IIASA מֵמַחְקֵר שֶׁל מֵרְכֵז הַמַּחְקֵר (Orthofer, Huppmann, and Krey, 2019 Arndt) SAGE וּמוֹדֵל מֵעֵרְכַת הָאֲנֵרְגִיָּה SATIM שִׁוְיָצֵר בְּדֵרוֹם אֲפִרִיקָה וְחוּבֵר לְמוֹדֵל SAGE (1992 et al., 2016); מִדּוּל אֲנֵרְגִיָּה בְּשִׁטַּת bottom-up TIMES_P מְחוּבֵר לְמוֹדֵל כִּלְכִּלִי בְּשִׁטַּת DGEM top-down לְצוּרֵךְ נִיתוּחַ יַעֲדִים לְהַפְחַת פְּלִיטוֹת CO2 בְּפוֹרְטוּגַל.

נִיתוּחַ בְּשִׁטַּת top-down שֶׁל הַכִּלְכֵּלָה הַיִּשְׂרָאֵלִית כּוֹלֵל מִדּוּל CGE מוֹתָאֵם לְיִשְׂרָאֵל בְּשֶׁם IGEM (Palatnik and Shechter, 2008), וּבְשִׁימוֹשׁ כְּבֵר מֵעַל עֶשֶׂר שָׁנִים. מִדּוּל זֶה מֵנַתַּח אֶת הַהֲשַׁפְעוֹת הָאֲפֶשֶׁרִיּוֹת שֶׁל שִׁנּוּי אֲקִלִּים עַל הַכִּלְכֵּלָה בְּכִלְלוֹתָהּ (Baum et al., 2016) וְאֶת הַהֲשַׁפְעוֹת שֶׁל מְדִינֵיֹת לְהַפְחַת פְּלִיטוֹת עַל הַכִּלְכֵּלָה בְּיִשְׂרָאֵל (Palatnik and Shechter, 2008). גַּם Luckmann ועֵמִיתָיו (Luckmann et al., 2014) מֵתְבַסְּסִים עַל מִדּוּל CGE, וְעַל פִּיּוֹ הֵם נִיתוּחַ אֶת הַמְצָב בְּיִשְׂרָאֵל בְּמוֹנְחֵי הַכִּלְכֵּלָה הַרְחֵבָה שֶׁל מַחְסוֹר בַּמִּים. Siddig and Grethe (2014) הִשְׁתַּמְשׁוּ בְּמוֹדֵל CGE מְבוֹסֵס GTAP עַל מֵנַת לִנְתַח אֶת הָעֲלוּיּוֹת שֶׁל הַפְּרָעוֹת בְּאֲסַפְקַת גַּז טְבַעִי מִמְצָרִים.

מִדּוּלִים שֶׁל אֲנֵרְגִיָּה בְּשִׁטַּת bottom-up לְשֶׁם נִיתוּחַ הַמְקָרָה הַיִּשְׂרָאֵלִי בְּדֶרֶךְ כִּלְכֵּל מֵתְמַקְדִים בְּמַגֵּזֵר סַפְצִיפִי בְּתוֹךְ מֶשֶׁק הָאֲנֵרְגִיָּה, קָרִי מַגֵּזֵר הַחֶשְׂמֵל (Tishler et al. 2008; Solomon, 2008), מַגֵּזֵר הַגַּז הַטְּבַעִי, מַגֵּזֵר הַנַּפֶּט וְכִדּוּמָה (Yu, Pearlmutter, 2018; Bogdanov, and Breyer, 2018), מַגֵּזֵר הַגַּז הַטְּבַעִי, מַגֵּזֵר הַנַּפֶּט וְכִדּוּמָה (Yu, Pearlmutter, 2018; Bogdanov, and Breyer, 2018), מַגֵּזֵר הַגַּז הַטְּבַעִי, מַגֵּזֵר הַנַּפֶּט וְכִדּוּמָה (Yu, Pearlmutter, 2018; Bogdanov, and Breyer, 2018).

לְאוֹרֵךְ הַשָּׁנִים מַחְקָרִים נִיֶּסוּ לְהַעֲרִיךְ אֶת הַהֲשַׁפְעָה הַיִּשִּׁירָה שֶׁל תְּמַרְצִים כִּלְכִּלִּים לְהַפְחַת פְּלִיטוֹת פַּחְמָן וְאֶת עֲלוֹתָם הַכִּלְכִּלִּית בְּמוֹנְחֵי תוֹצֵר עַל הַמֶּשֶׁק הַיִּשְׂרָאֵלִי. כְּאִמּוֹר לְעִיל, בִּשְׁנֵי 2008 פוֹרְסָם מַחְקֵר אֲשֶׁר לְרֵאשׁוֹנָה מֵעֵרִיךְ הַשַּׁפְעוֹת אֵלּוּ בְּאֲמַצְעוֹת מִדּוּל שִׁוּיֵי מֶשֶׁק כִּלְכִּלִּי מִמוּחַשָׁב (CGE), הַמֵּתְבַסֵּס עַל מַסְדֵי נְתוּנִים מִשְׁקִיִּים מִ1995 (Palatnik and Shechter, 2008). הַחֻזְקִים הַסִּיקוּ כִּי בְּתַרְחִישׁ שֶׁל מֶשֶׁק בְּתַעֲסוּקָה מֵלֵאָה הַשְּׁתַּת מֵס פַּחְמָן בְּגוֹבָה שֶׁל 50-200 ש"ח לְטוֹנָה פַּחְמָן יִכּוּלָה לְהַבִּיא לִירִידָה שֶׁל 9%-24% בְּפִלִיטוֹת פַּחְמָן, בְּעֲלוֹת שֶׁל 0.31%-0.96% מִן הַתְּמָ"ג בְּהַתְּאָמָה.¹⁹ עַל פִּי הַמּוֹדֵל, בְּתַרְחִישׁ שֶׁל אֲבַטְלָה

19 המודל שהחוקרים השתמשו בו לא אפשר לבחון את משך הזמן שיידרש למשק להגיע לשיווי משקל זה, בשונה מהמודלים העכשוויים, כגון המודל שהשתמשנו בו במסמך זה.

במשק בשיעור 6.9%, השתת מס פחמן ומחזורו על ידי הפחתת מיסי עבודה תביא להפחתה של 6.2%-16% בפליטות פחמן, בעלות של 0.08%-0.45% מן התמ"ג בהתאמה, וירידה של כ-1%-2% בשיעור האבטלה במשק.

ב־2012 פלטיניק, פייטלסון ושכטר הציגו מחקר שבו נגלה שיפור בהשפעה הישירה של השתת מס פחמן על הפחתת פליטות. על פי תוצאות המודל המעודכן השתת מס בגובה 15 אירו לטונה פחמן תוכל להביא להפחתה של 20% עד שנת 2020 (Palatnik, Faitelson, and Shechter, 2012). הם צפו גם שההשפעה היחסית של המס על התמ"ג תהיה מתונה יותר, באופן פרופורציונלי לגובה המס שנבדק – פגיעה של 0.5% בתמ"ג 2020 ביחס למצב עסקים כרגיל.

MESSAGEix-IL-MACRO הוא הניסיון הראשון למדל את משק האנרגיה הישראלי בכללותו על ידי MESSAGEix-IL ולקשרו למודל המקרו־כלכלי MACRO על מנת לשקלל את יחסי הגומלין בין הביקוש לאנרגיה ובין תמהיל אספקת האנרגיה והתוצר במשק, בהסתמכות על מסדי נתונים עדכניים ויעדי מדיניות שאפתניים מהיעדים שקבעו מחקרים קודמים.

(ב) תיאור של מסגרת העבודה

במחקר זה אנו משתמשים ב־MESSAGEix_IL, מודל מקורי לניתוח משק האנרגיה בישראל לטווח הארוך. המטרה של המודל היא מינימיזציה של עלויות משק האנרגיה. MESSAGEix_IL הוא יישום ברמת המדינה של מודל לניתוח אינטגרטיבי דינמי (IAM) בשם MESSAGEix (Huppmann et al., 2019). MESSAGEix הוא מודל אופטימיזציה דינמי מבוסס טכנולוגיה בשיטת bottom-up אשר עוצב לצורך תכנון וניתוח של מדיניות אנרגיה לטווח בינוני-ארוך והוא מספק מסגרת עבודה לייצוג מערכות אנרגיה, על כל הקורלציות וקשרי הגומלין שמאפיינים אותן: הוא יכול לתאר את משק האנרגיה בכללותו, כולל הפקת משאבים, מסחר, המרה, העברה, הפצה ואספקה של שירותי אנרגיה למשתמשי הקצה (תאורה, מיזוג חללים, חימום תעשייתי ותחבורה) (Orthofer, Huppmann, and Krey, 2019). מודל האופטימיזציה מכוון למציאת פתרון לאספקת הביקושים לאנרגיה בעלות מינימלית, תחת מגבלות טכנולוגיות, כלכליות ואקולוגיות.

כדי ללכוד גם היזון חוזר מקרו־כלכלי של שינויים במערכת האנרגיה MESSAGEix_IL חובר באופן ישיר למודל MACRO של IIASA, אשר הוצג אצל Messner and Schrattenholzer (2000). MACRO ממקסם את פונקציית התועלת הבין־זמנית שיצרן־צרכן יחיד מייצג (Fricko et al., 2017). התוצאה היא רצף של החלטות לגבי השקעה, צריכה וחיסכון.

המשתנים העיקריים במודל הם: מלאי הון, כוח עבודה זמין ותשומות אנרגיה – ויחדיו הם קובעים את התוצר הכולל של המשק, על פי פונקציית ייצור מקווננת, עם גמישות תחלופה מסוג CES (Constant Elasticity of Substitution). המודל המשולב לוקח בחשבון את קטגוריות הביקוש המסחרי לאנרגיה כפי שהללו מיוצגות ב-MESSAGE ומחשב בין היתר את ההשקעה הנדרשת ביכולת מותקנת של טכנולוגיות אנרגיה מסוגים שונים, התצורה האופטימלית של מערכת האנרגיה וכמות הפליטות של גזי החממה הנובעות ממשק האנרגיה כפועל יוצא של תצורה זו.

(ג) מבנה המחקר

מהלך הניתוח המוצג בפרק זה מתואר בתרשים 11 להלן. בשלב הראשון מודל האנרגיה הגלובלי MESSAGEix-GLOBIOM הותאם לאמות המידה של מודל לניתוח משק אנרגיה ברמת המדינה, וכדי להתאימו לישראל הוא הומר על מנת שייצג משק קטן, פתוח, המייבא פחם ונפט גולמי ותוצריהם ומייצא גז טבעי ומוצרי נפט. לכך התווסף עדכון סדרה של כללי סגירה למשק.

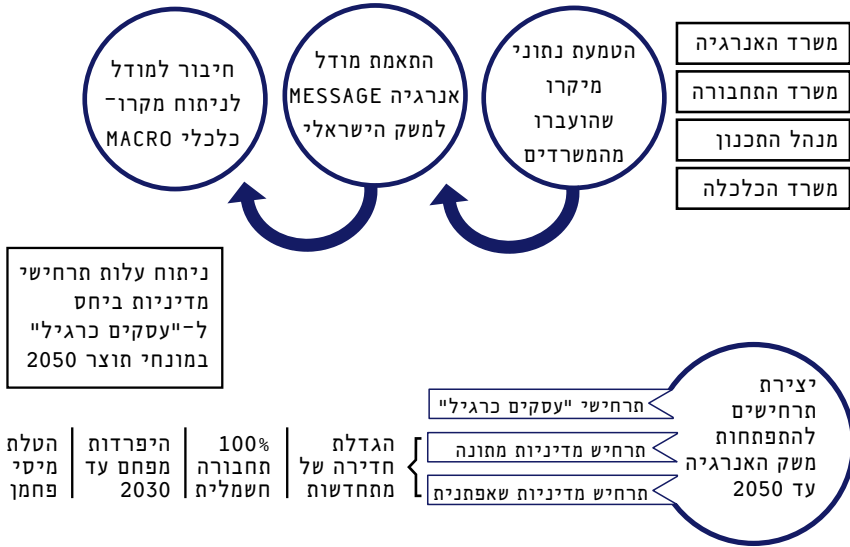
בשלב השני הפרמטרים העיקריים המאפיינים את משק האנרגיה הישראלי הוטמעו ב-MESSAGEix_IL, בשיתוף פעולה עם משרד האנרגיה כדי להשתמש בנתונים העדכניים ביותר. הנתונים שהוטמעו במודל כוללים את היקף מאגרי הגז שהתגלו בגבולות המים הטריטוריאליים של ישראל, מיסי אנרגיה, יכולת מותקנת בייצור חשמל ותמהיל דלקים, עלויות של תחנות כוח, יכולות ועלויות של טכנולוגיות לאגירת אנרגיה וכיוצא בזאת.²⁰

בשלב השלישי, בשיתוף פעולה עם נציגים של משרדי הממשלה הרלוונטיים ועל פי תוכניות רשמיות של משרדי הממשלה, מיפינו את התפתחותו הצפויה של מגזר האנרגיה בישראל עד שנת 2050. בהתאם להן התווינו תרחיש בסיס, תרחיש עסקים כרגיל, להתפתחות העתידית של מגזר האנרגיה וניתחנו אותו על ידי MESSAGEix_IL.

בשלב הרביעי תרחיש עסקים כרגיל שימש לכיול של המודל המקרו-כלכלי MACRO. בכיול של MACRO לתרחיש עסקים כרגיל, שיעור הגידול בתוצר ובאוכלוסייה עודכן על פי דוחות רשמיים של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה ובנק ישראל (ראו נספח א; בנק ישראל, 2019). התפתחות מגזר האנרגיה מופקת מתוצאות תרחיש עסקים כרגיל של MESSAGEix_IL.

תרשים 11

מבנה ניתוח באמצעות מודל MESSAGEix_IL-MACRO



לבסוף, צעדי מדיניות חלופיים לתרחיש עסקים כרגיל – כגון שיעור גבוה יותר של ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות (בעיקר אנרגיה סולרית), חשמול מלא של מגזר התחבורה עד ל-2050 ומיסי פחמן – הוטלו כזעזועים חיצוניים למערכת האנרגיה ב-MESSAGEix_IL. בתגובה לזעזועים אלו המודל קבע את תמהיל האנרגיה החדש תוך כדי מינימליזציה של עלויות. מחירי האנרגיה הנגזרים הועברו ל-MACRO, והוא חולל את תגובת הביקושים הסופיים לאנרגיה. הללו הוחזרו ל-MESSAGEix_IL.

המודלים הורצו עד להתכנסות לכמויות אנרגיה זהות בשני המודלים. תוצאה זו מייצגת את הנתבי החלופי של התפתחות מגזר האנרגיה בישראל, אשר לוקח בחשבון את העלות הכלכלית הישירה של בחירת נתיב זה. חשוב להדגיש כי התחשיבים להלן אינם כוללים תועלות חיצוניות ליעדי הפחתת פליטות פחמן הנובעות ממזעור פליטות של מזהמים מקומיים אשר מושגות בכל אחד מתרחישי המדיניות (WHO and OECD, 2015; European Commission, 2017). הירידה בפליטות מזהמים מקומיים נמצאת בדרך כלל במתאם גבוה עם הירידה בפליטות פחמן ואחראית לתועלות בריאותיות שאליהן התייחסנו בפרק 2. תועלות חיצוניות אחרות אשר אינן משוקללות בתחשיב הן תועלות מהשקעה של המשק בתשתיות, כגון תשתיות תחבורה ותכנון, אשר צפויה להגדיל את הביקוש לתעסוקה ואת הפריון, וכן התועלות החיצוניות כתוצאה מגידול בהשקעה ציבורית ופרטית במו"פ ירוק,

שגם הן צפויות להוביל לגידול בפריון (ראו לעיל בפרק 2). ככלל המודל גם אינו משקלל מחזור של ההכנסות ממס פחמן, גם לא בצורת קיזוז גירעון ממשלתי או קיזוז מיסים עקיפים אחרים, כגון מע"מ. כמו כן, השינוי המחושב בפליטות גזי חממה כולל רק פליטות הנובעות ממשק האנרגיה, שהן כ-83% מסך פליטות גזי החממה בישראל כיום.²¹ בנייתו זה לא משוקללת גם התועלת המקומית מהפחתת נזקי אקלים הנובעת מהפחתת פליטות פחמן והתלויה במהלך גלובלי קולקטיבי של הפחתת פליטות. להערכת תועלת זו לישראל במקרה של מהלך בינלאומי מסונכרן ראו לעיל בפרק 2.²²

(ד) הנחות של תרחישי הבסיס ותרחישי המדיניות

כדי לייצר את התחזיות הכלכליות של תוכנית 2050 לאנרגיה נקייה בישראל, הכוללות את השינוי הצפוי בפליטות גזי חממה (GHG) במסגרת המדיניות להפחתת פליטות ולאנרגיה נקייה אנו משתמשים בנייתו רבי-תרחישי. הנחות המפתח בעבור כל תרחיש מתומצצות בלוח 3 להלן.

האיוזאות שבהתפתחות כלכלית עתידית דרשה יצירת שני תרחישי עסקים כרגיל השונים זה מזה בשיעור הגידול הצפוי באוכלוסייה בהתבסס על תחזיות שונות של הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (ראו נספח א). מהשיעורים השונים של גידול האוכלוסייה נבעו בהתאם גם שתי תחזיות תמ"ג שונות. נוסף על כך, תרחיש עסקים כרגיל 1 מניח יעד קשיח של 17% אנרגיות מתחדשות מסך ייצור החשמל מ-2030 ואילך, בהתאם להתחייבות ישראל בהסכם פריז 2015, ואילו תרחיש עסקים כרגיל 2 מטמיע את הכוונה המוצהרת של רשות החשמל לעדכן את היעד ל-30% אנרגיות מתחדשות מסך ייצור החשמל עד לאותה שנה. תרחיש עסקים כרגיל 2 גם כולל חשמול גבוה יותר של מגזר התחבורה (60% בתרחיש 2 לעומת 30% בתרחיש 1) עד לשנת 2050.

בעבור כל תרחיש עסקים כרגיל ניתחנו שני תרחישי מדיניות. תרחישי המדיניות מסתמכים על היעדים הרווחים במדיניות מפותחות בתיאום עם משרד האנרגיה וחולקים את אותן הנחות לשנת 2050 בדבר שיעור האנרגיות המתחדשות בייצור חשמל (85%), חשמול מלא של מגזר התחבורה (100%) ודחיקה מוחלטת של השימוש בפחם במשק משנת 2030. ההבדל

21 פליטות של גזי חממה הנובעות מחקלאות ופסולת הן כ-17% מסך פליטות גזי החממה בישראל. שינוי בפליטות אלו יוצג בדוחות המשך.

22 פעולה של ישראל להפחתת פליטות פחמן מבטיחה הפחתת פליטות של מזהמים מקומיים ואח התועלות הנובעות מכך אך אינה מבטיחה תועלת של הפחתת פליטות של גזי חממה – הפחתה זו יכולה להתממש רק במהלך בינלאומי מסונכרן, ובאפשרותה להתממש גם בלא השתתפות אקטיבית של ישראל בפעולות הפחתת פליטות גזי פחמן.

היחיד בין שני תרחישי המדיניות הוא בשיעור מיסי הפחמן המושתים על המשק בכל שנה: תרחיש מדיניות מתון מניח מיסי פחמן הגדלים עם השנים, בהתאם לטווח האמצעי של ה-EPA, ותרחיש המדיניות השאפתני מניח מיסי פחמן גבוהים יותר, המתואמים בצורה טובה יותר עם הערכות עדכניות של המחיר החברתי של פחמן (Pindyck, 2019).

לוח 3

הנחות ויעדים - שני תרחישי עסקים כרגיל ושני תרחישי מדיניות חלופיים

תרחישים		תרחיש עסקי כרגיל I	תרחיש עסקים כרגיל II	תרחיש מדיניות מתון שאפתני		
חברתי-כלכלי	קצב גידול אוכלוסייה שנתי ממוצע	1.7%	2.0%			
	קצב גידול תמ"ג שנתי ממוצע	2.5%	3.5%			
חשמל	שיעור אנרגיות מתחדשות	17% משנת 2030 ואילך	30% משנת 2030 ואילך	85% משנת 2050		
	פחם	הפחתה הדרגתית של יכולת מותקנת עד 3400MW בשנת 2030 שנשמרת עד 2050		הפחתה הדרגתית ל-0 בשנת 2030		
	גז טבעי	יצוא של 25% מהעודדות עד שנת 2050		אין מגבלה על הפקה ויצוא		
תחבורה	תחבורה חשמלית	30% חשמלית משנת 2050	60% חשמלית משנת 2050	100% תחבורה חשמלית משנת 2050		
מס פחמן שנתי ממוצע בתקופה		לא מוטל מס פחמן		2020	\$0	\$0
				2025	\$61.8	\$23.3
				2030	\$145	\$48
				2035	\$160	\$53
				2040	\$176	\$58
				2045	\$190	\$62
				2050	\$205	\$67
				2055+	\$212	\$69

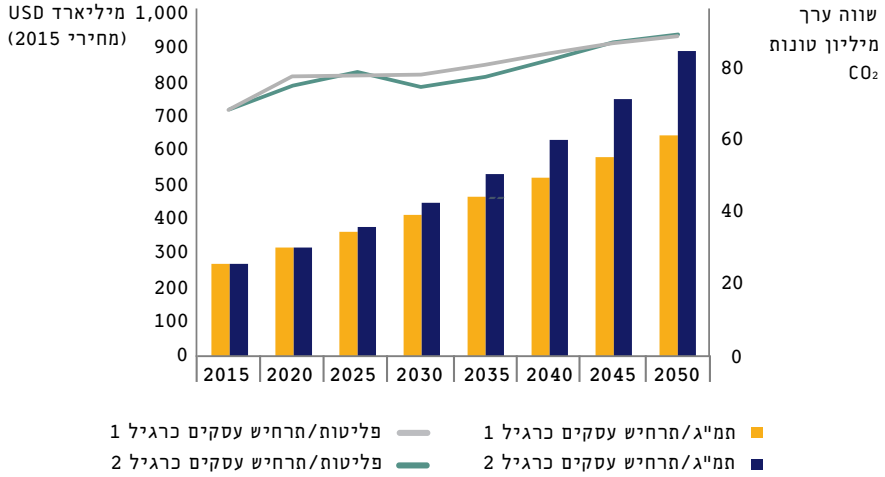
(ה) תוצאות

בהתאם להנחות ההתפתחות העתידית, בתרחישי עסקים כרגיל צמיחת התמ"ג בשנים 2015-2050 צפויה להצטבר לכ־140% בתרחיש 1 ולכ־230% בתרחיש 2 ביחס לשנת 2015. הגידול בפליטות גזי חממה בתקופה זו, כפי שחושב במודל MESSAGEix_IL, צפוי בשני תרחישי עסקים כרגיל (בהיעדר התערבות ממשלתית נוספת להפחתת פליטות) להגיע לכ־30% ביחס לשנת 2015.

התוצאות המוצגות בתרשים 12 מצביעות על תהליך היפרדות (decoupling) מתון במשק הישראלי בין צמיחה כלכלית ובין גידול בפליטות פחמן, הצפוי להתממש אם תוכניות מדיניות שנמצאות כעת על שולחנם של מקבלי ההחלטות ימומשו במלואן. כפי שניתן לראות בתרשים, אין מדובר בניתוק מוחלט או הפיכה של הקשר בין הגידול בתוצר ובין הגידול בפליטות מעצם התחזית לעלייה של 30% בסך פליטות הפחמן הקשורות באנרגיה. תמונת ההיפרדות בין צמיחה כלכלית לפליטות פחמן בתרחישי עסקים כרגיל מתחזקת אם בוחנים את התוצאות במונחים לנפש, כפי שמתואר בתרשים 13. לעומת זאת תרחישי המדיניות כוללים עמידה ביעדים נוספים שהציבו המשרדים (המפורטים בלוח 3 לעיל והם יהיו חלק מהתחייבות המשרדים בתוכנית 2050 העדכנית), ובהם התחזיות אופטימיות יותר. לוח 4 להלן מציג תוצאות של הרצות המודל MEAASEGEix_IL-MACRO על בסיס הנחות תרחיש מדיניות מתון ותרחיש מדיניות שאפתני. התוצאות מראות את השינוי בפליטות גזי חממה ביחס לשנת 2005 ואת ההשפעה על צמיחת התמ"ג ביחס לתחזית תרחיש עסקים כרגיל הרלוונטי.

תרשים 12

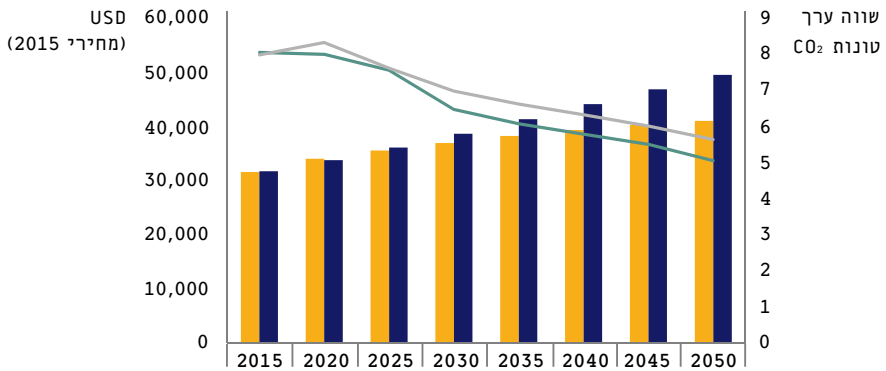
תמ"ג ופליטות פחמן בתרחיש עסקים כרגיל 1 ועסקים כרגיל 2, בהיעדר התערבות נוספת להפחתת פליטות



מקור: תוצאות ניתוח מודל MESSAGEix_IL-MACRO, צוות מקרו.

תרשים 13

תמ"ג לנפש ופליטות פחמן לנפש בתרחישי עסקים כרגיל 1 ועסקים כרגיל 2, בהיעדר התערבות נוספת להפחתת פליטות



מקור: תוצאות ניתוח מודל MESSAGEix_IL-MACRO, צוות מקרו.

בלוח 4 ובתרשימים 14 ו-15 ניתן לראות את ההשפעה של המדיניות להפחתת פליטות על השינוי בתמ"ג ועל שיעור הפחתת הפליטות של גזי חממה בשני תרחישי מדיניות: תרחיש מתון, אשר כולל מיסי פחמן מתונים, ותרחיש שאפתני, הכולל מיסי פחמן גבוהים יותר, ביחס לתרחיש עסקים כרגיל 1 ותרחיש עסקים כרגיל 2. בעבור הנחות הבסיס של עסקים כרגיל 1 ותרחיש המדיניות המתון צפויה הפחתת פליטות של 65.59% ב-2050 ביחס ל-2005, והפיגעה בתמ"ג במונחי תוצר 2050 היא 0.31%. בתרחיש המדיניות השאפתני על בסיס אותן הנחות, הפחתת הפליטות צפויה להיות גבוהה במיוחד: 91.99% ב-2050 ביחס ל-2005, ופיגעה בתמ"ג של 0.62%.

לוח 4

ריכוז תוצאות עיקריות, תרחיש עסקים כרגיל 1, תרחיש עסקים כרגיל 2,
ניחות תרחישי מדיניות מתון ושאפתני (%)

שינוי בצמיחת התמ"ג לנפש ביחס לתחזית עסקים כרגיל 2050	שינוי בפליטות בשנת 2050 לעומת 2005	
-	+47.66	תרחיש עסקים כרגיל 1
-0.31	-65.59	תרחיש מדיניות מתון
-0.62	-91.99	תרחיש מדיניות שאפתני
-	+48.56	תרחיש עסקים כרגיל 2
-0.02	-60.51	תרחיש מדיניות מתון
-0.32	-73.18	תרחיש מדיניות שאפתני

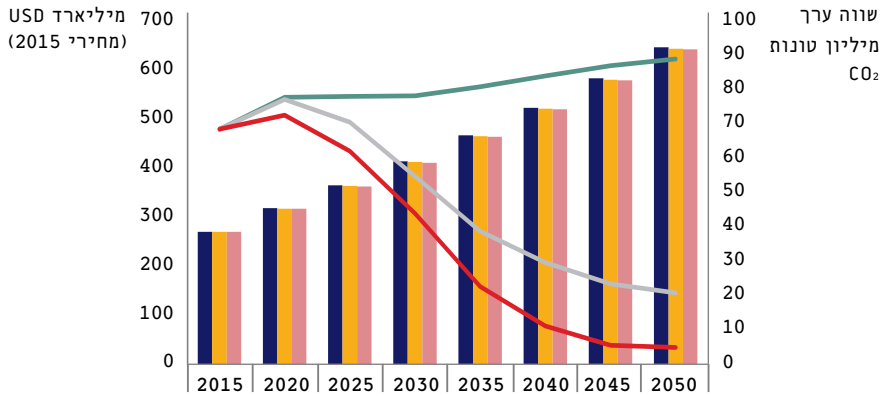
לפי הנחות הבסיס של תרחיש עסקים כרגיל 2 ותרחיש מדיניות מתון Pol צפויה הפחתת פליטות של כ-60% ב-2050 ביחס ל-2005 ופיגעה בתמ"ג במונחי תוצר 2050 של 0.02%. בתרחיש מדיניות שאפתני AmbPol לפי אותן הנחות, הפחתת הפליטות צפויה להיות כ-73% ב-2050 ביחס ל-2005, והפיגעה בתמ"ג לנפש מוערכת בכ-0.32%. לשם השוואה, אצל Khan ועמיתיו (2019) אובדן התוצר לנפש בעקבות שינויי אקלים בישראל בשנת 2050 נאמד ב-1.15%. לעומת זאת, אם יואטו שינויי האקלים בשל הפחתת הפליטות בעולם, ישראל תרוויח 0.24% לצמיחת התוצר בשנת 2050. המסקנה היא שאם ישראל ויתר מדינות העולם לא ינקטו צעדים להאטת שינויי האקלים, הנזק הכלכלי משינויי אקלים יהיה גבוה

יותר מהעלות למשק של תהליך הפחתת הפליטות. יתר על כן, בהינתן הפחתת פליטות על ידי מדינות העולם, התועלת לכלכלה הישראלית מהפחתת שינויי אקלים מקזזת את העלות של הפחתת הפליטות.

המסקנה המתבקשת מתוצאות הניתוח היא שהמשק הישראלי יכול להגיע לירידה ניכרת בפליטות גזי חממה הקשורות באנרגיה מבלי לפגוע ביעדי צמיחה ארוכי טווח. כפי שצוין לעיל, ניתוח זה מתמקד בעלות הישירה ואינו כולל את התועלות, הישירות והעקיפות, של המעבר לאנרגיה נקייה – כגון התועלות מהפחתה בפליטת מזהמים מקומיים ומהשקעה בתשתיות ומו"פ. על כן התוצאות אינן משקפות את השיפור הצפוי בבריאות ואת הגידול בפיריון העבודה במשק. הניתוח גם אינו כולל את התוספת במקומות עבודה, הנובעת משינוי מבני בענפי הכלכלה הקשורים במעבר לאנרגיה נקייה, כגון ענפי הקלינטק, פינטק וענפי צווארון כחול אחרים. לפיכך, בניתוח עלות-תועלת כוללני, המעבר לאנרגיה נקייה יוכל להביא לעלייה של ממש בתוצר וברווחה החברתית.

תרשים 14

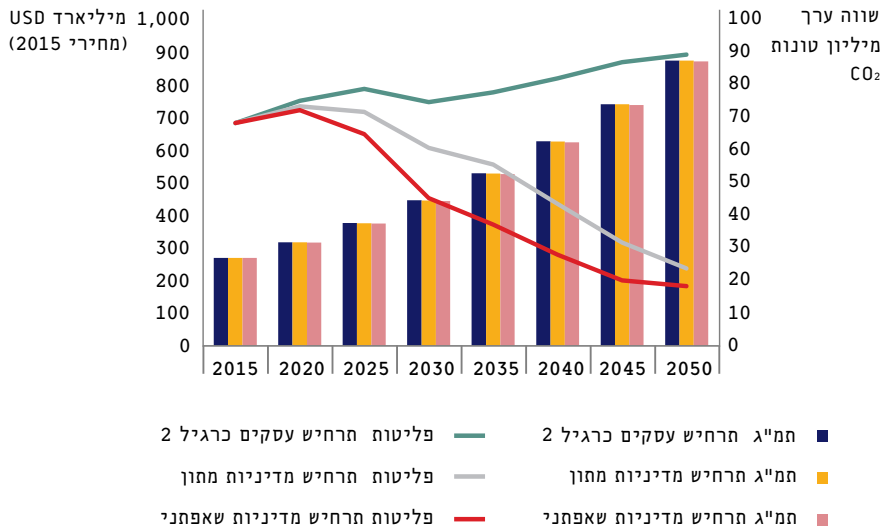
תמ"ג ופליטות פחמן בתרחיש עסקים כרגיל 1, תרחיש מדיניות מתון ובתרחיש מדיניות שאפתני



- תמ"ג תרחיש עסקים כרגיל 1
- תמ"ג תרחיש מדיניות מתון
- תמ"ג תרחיש מדיניות שאפתני
- פליטות תרחיש עסקים כרגיל 1
- פליטות תרחיש מדיניות מתון
- פליטות תרחיש מדיניות שאפתני

מקור: תוצאות ניתוח מודל MESSAGEix_IL-MACRO, צוות מקור.

תרשים 15
 תמ"ג ופליטות פחמן בתרחיש עסקים כרגיל 2,
 בתרחיש מדיניות מתון ובתרחיש מדיניות שאפתני



מקור: תוצאות ניתוח מודל MESSAGEix_IL-MACRO, צוות מקור.

(ו) בדיקות עמידות לתוצאות המודל MESSAGEixIL-MACRO מול מקרה הבוחן של פורטוגל

בגזירת תחזית הביקושים לאנרגיה בכלל ולחשמל בפרט השתמשנו במודל MESSAGEix_IL-MACRO, הניזון מנתונים על המשק הישראלי ומתחזיות לביקושים לאנרגיה במגזרים. כדי לוודא את מהימנות התוצאות המבוססות על מערכת הנחות בדבר תרחישים עתידיים השתמשנו במתודולוגיה של Synthetic Control Methods (SCM).²³ על פי מתודולוגיה זו ועל מנת לקבל אומדן איך הייתה נראית ישראל לו הייתה מאמצת את היעדים שאימץ האיחוד האירופי בחרנו לנתח באופן סטטיסטי מדינות שהחלו ליישם את הסכמי קיוטו להפחתת פליטות (בעיקר באיחוד האירופי) כבר ב־2008/9 ודומות במאפייניהן הכלכליים לישראל. היעדים של האיחוד האירופי ב־2008 היו שאפתניים פחות מהיעד הנוכחי של אפס

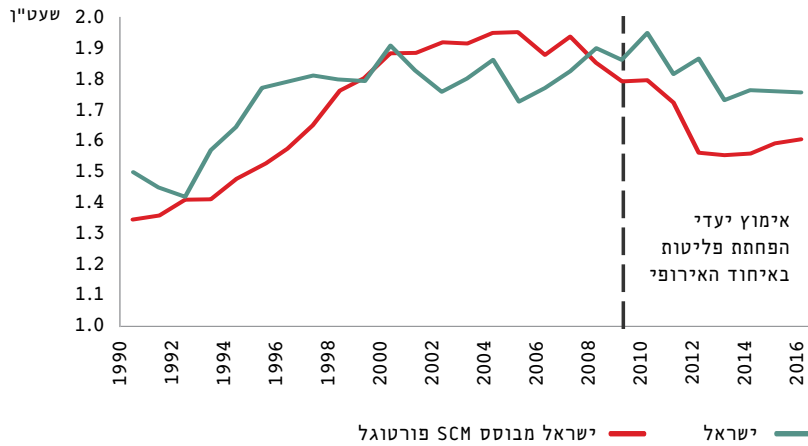
פליטות ב־2050 (ראו מבוא), אך להערכתנו עמידה ביעדים מ־2009 היא יעד סביר בהינתן הכניסה המאוחרת של ישראל לתהליך.

מהניתוח עולה כי מדינת ההשוואה הדומה לנו ביותר מבחינת צריכת אנרגיה וחשמל היא פורטוגל. לפורטוגל אוכלוסייה דומה בגודלה לישראל (כ־10 מיליון) והתוצר לשעת עבודה (פריון) גם הוא דומה לשל ישראל. כמו כן, בגלל הבעיות הכלכליות של פורטוגל היא קיבלה מהאיחוד הנחות לעמידה ביעדים של הפחתת פליטות בהשוואה לחברות העשירות יותר באיחוד. בתרשים 16 ניתן לראות שעד 2008, מועד אימוץ המדיניות של הפחתת פליטות באיחוד האירופי לפי הסכם קיוטו, צריכת האנרגיה לנפש בישראל הייתה דומה לזו של פורטוגל. לאחר מכן, לו ישראל הייתה מאמצת כבר ב־2008 את יעדי ההפחתה של האיחוד, צריכת האנרגיה לנפש בישראל הייתה נמוכה בכ־10% ממה שהייתה ב־2016.

כאמור, אפשר להשוות בין התוצאות שקיבלנו ממודל MESSAGEix_IL לבין התחזיות של ממשלת פורטוגל, אשר השתמשה במודלים מאותה משפחת מודלים ששימשו אותנו במחקר זה. השוואה של התחזית של ממשלת פורטוגל, הכוללת הפחתה של 85% מן הפליטות ביחס לשנת הבסיס (2005), עם התחזית שלנו מלמדת על דמיון גדול ביניהן והיא משמשת מעין בדיקת עמידות (סבירות) לתחזיות שייצרנו בעזרת המודל. תרשים 17 מדגים כי התוצאות של מודל MESSAGEix_IL אף חיוביות יותר מהתוצאות שהתקבלו מתחשיב המבוסס על התחזית של פורטוגל, שכן הן מראות על צריכת אנרגיה ליחידת תוצר נמוכה יותר. בפרט, התחזית שלנו על פי שיטת SCM גבוהה יותר בשנים 2017-2020, שם נפער עיקר הפער לטובת התחזית שלנו באמצעות מודל MESSAGEix_IL. עם זאת יש לציין כי התחזית עבור פורטוגל נערכה ב־2015 ומאז נרשמה ירידה במחירי אנרגיות מתחדשות, ולכן המחיר היחסי שלהן נמוך יותר בהשוואה לאנרגיה מזהמת. גם מיסי הפחמן בתסריט שלנו גבוהים ממיסי הפחמן בתחזית עבור פורטוגל, מכיוון שההערכות החדשות של עלות הזיהום של פחמן עודכנו בהתאם להתייקרות. תוצאות המודל לשנת 2020 הושוּוּ עם נתונים סטטיסטיים לשנת 2019 ונמצאו תואמות את המגמות הנרשמות בפועל.

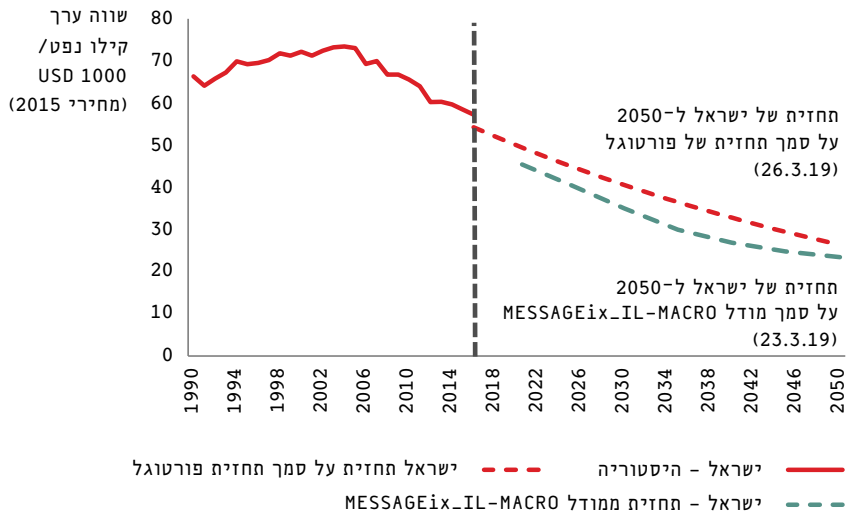
תרשים 16

צריכת אנרגיה לנפש בישראל לעומת צריכת אנרגיה לנפש בפורטוגל לפי מודל
2016-1990, Synthetic Control Method (SCM)



תרשים 17

צריכת אנרגיה ליחידת תוצר - תחזית המבוססת על תחזית הפחתת הפליטות של
פורטוגל לעומת תחזית המבוססת על מודל MESSAGEix_IL



מקור (לתרשימים 16,17): תוצאות ניתוח מודל MESSAGEix_IL-MACRO, צוות מקור.

סיכום והמלצות

משבר הקורונה הגלובלי תפס את מרבית המדינות לא מוכנות להתמודדות עם משבר רפואי שמומחים התריעו עליו. חוסר המוכנות בדמות השקעת חסר בתשתיות רפואה ובציוד בסיסי חייב, בין היתר, נקיטת אמצעים חריפים שהשלכתם הכלכלית גדולה ביותר. הצורך הדחוף של הממשלה להתמודד עם המשבר לנוכח וירוס הקורונה ובתוך כך העמקת הגירעון הממשלתי עלולים לעכב אימוץ יעדים להפחתת פליטות לשנת 2050. עם זאת המשבר הזה מדגיש את חשיבות התכנון מראש וההיערכות למזעור נזקי ההתחממות הגלובלית ולהתמודדות עימם. ראוי להדגיש כי ההמלצה של הארגונים הבינלאומיים המובילים היא לנצל את ההרחבות הפיסקליות הנדרשות ליציאה מן המיתון הכלכלי לצורך השקעה בתשתיות התחבורה, הבנייה והאנרגיה בהתאם לאסטרטגיות של המדינות להפחתת פליטות, ומדינות רבות כבר הצהירו על כוונתן לנקוט גישה זו (IEA and IMF, 2020; OECD, April 2020; World Bank, 2020).

מסקנת הדוח הזה היא שאפשר להגיע להפחתה ניכרת בפליטות המזהמות במשק על ידי מעבר לשימוש בחשמל המסופק ממקורות מתחדשים והתייעלות בשימוש באנרגיה. השגת יעדים אלו כרוכה בהשקעה, ואם היא תבוצע באופן מיטבי היא תתרום הן להשגת היעדים להפחתת פליטות והן לצמיחת המשק. בשיקולי צמיחה של טווח ארוך נמצאה סינרגיה בין אימוץ היעדים להפחתת פליטות לבין הצורך בהשקעה ניכרת בתשתיות על מנת להשיג את יעדי הצמיחה של המשק הישראלי, לנוכח הגידול הדמוגרפי הצפוי: אפשר להשיג את היעדים על ידי השקעה בתשתיות חדשות ירוקות, בלא צורך לגרוט תשתיות מזהמות בטרם מיצו את תוחלת חייהן. בהינתן המשאבים הפיסקליים הגדולים שיידרשו על מנת לחלץ את המשק מנזקי משבר הקורונה יש למצוא סינרגיות בין תוכניות ההוצאה של הממשלה בטווח הקצר ובין היעדים ארוכי הטווח שהצבענו עליהם בדוח זה.

המעבר לאנרגיה ממקורות מתחדשים יהיה שילוב של מעבר לשימוש בחשמל במקום שימוש בדלקים פוסיליים, בעיקר בתחבורה ובתעשייה, ומעבר להפקת חשמל ממקורות של אנרגיה מתחדשת. בתחשיב שלנו מוערך מעבר מ-30% צריכת אנרגיה מחשמל כיום ל-70% במשק.

תחום התחבורה אחראי ליותר משני שלישים מהצריכה הסופית של האנרגיה המזהמת בישראל. בתחום זה העדיפות הראשונית היא השקעה בתשתיות להסעת המונים, משום שהסעת המונים מביאה להתייעלות אנרגטית, וחשמול של הנסועה בתחבורה הציבורית פותח אפשרות להגדלת השימוש באנרגיות מתחדשות. העברת מגזר התחבורה לכלי רכב חשמליים גם היא צפויה להביא להתייעלות אנרגטית ניכרת ולאפשר שימוש באנרגיות

מתחדשות. בשל הדחיפות בפתרון בעיות הגודש בכבישים והעלייה הגדולה במספר כלי הרכב החדשים בכבישים מדי שנה, המושפעת מן הגידול הדמוגרפי והצמיחה הכלכלית, אנו רואים בתחבורה את התחום העיקרי שבו מעורבות הממשלה צריכה להיות משמעותית מבחינת התקציב ומיידית מבחינת הביצוע.

תחום הבנייה למגורים מספק אף הוא הזדמנות להשגת היעדים של התייעלות אנרגטית - הן על ידי תכנון של פרישת המגורים ומקומות התעסוקה והצריכה באופן שמקטין את הצורך בנסיעה בכלי רכב פרטיים, והן על ידי בנייה חדשה בתקן ירוק שמקטינה את צריכת האנרגיה למגורים.²⁴ צעדים אלו כרוכים בהגדלת העלויות של הקמה ורכישה של יחידות מגורים חדשות בטווח הקצר אך הם מפחיתים את עלות השימוש במגורים בעתיד. לנוכח הרצון הלאומי להפחית את עלות הדיור, רצוי לייצר מוצרי מימון מותאמים אשר יגשרו על התייקרות הבנייה בטווח הקצר עקב חסמים של השוק (כגון מחסור בכוח אדם מיומן, הסתגלות לשיטות עבודה חדשות ומחסור בחומרי גלם לבנייה ירוקה). כמו כן יש להחיל את התקינה הירוקה על בנייה במסגרת פינוי-בינוי, תמ"א 38 ושיפוץ של דירות, מבני ציבור ומבנים המשמשים לעסקים. בבנייה מאופסת אנרגיה יחידת המגורים מספקת את האנרגיה הדרושה לה על ידי אנרגיה סולרית - צעד זה מסית צריכה לאנרגיות מתחדשות אך אין הוא מקטין את צריכת האנרגיה. על כן רצוי להתחשב בשיקולי עלות-תועלת ברמת משק האנרגיה ועלות הדיור לפני אימוץ יעד של בנייה מאופסת אנרגיה.

התעשייה אחראית גם היא לחלק ניכר של פליטות מזהמות. תגליות הגז פתחו פתח להשקעות בתעשיות עתירות אנרגיה. ההתקדמות האיטית בהרחבת התשתית להולכת הגז ובהסבת מפעלים לשימוש בגז מאפשרת לשקול מחדש את יעדי המדיניות המבוססים על שימוש בגז, לנוכח אימוץ היעדים להפחתת פליטות. עם זאת, שימוש בגז עודנו עדיף, במונחי פליטות מזהמות, על שימוש בתזקיקי נפט ויכול לסייע בהיפרדות מתעשיית זיקוק הנפט בישראל בשלבי המעבר.

מגזר התעשייה צריך להיערך לאפשרות שמדינות יאמצו תקינה ירוקה שתקשה על ייצוא מוצרים שאפשר לייצרם בעזרת אנרגיה מתחדשת ומיוצרים בישראל בשימוש באנרגיה מזהמת. ההשקעות הרבות, בארץ ובעולם, הנחוצות לאימוץ טכנולוגיות יעילות מבחינה אנרגטית ולא מזהמות בתחומי התחבורה, הבנייה וכו' יוצרות גם הזדמנות להשקעה בחדשנות טכנולוגית בתעשייה. ואולם תהליכים אלו ארוכים יחסית. משום כך, ובהתאם להמלצה לפעולה מהירה בתחום התחבורה, אנו ממליצים שלא להיחפז באימוץ יעדים של הפחתת פליטות בתעשייה.

תמריץ עיקרי להתייעלות אנרגטית ולמעבר לאנרגיה מתחדשת הוא מחיר האנרגיה המזדממת. מס הפחמן נגבה לפי ההשפעה החיצונית של זיהום האוויר ובכך מקטין את הביקוש למקורות אנרגיה מזהמים. על כן הצעדים המומלצים בתחום זה הם הטלת מס פחמן בכלל ענפי המשק בהתאם לתכולת גזי החממה באנרגיה הנצרכת וכן מתן סובסידיות לשימוש בהון שאינו מזהם, על מנת לצמצם את הפגיעה בבעלי הון מזהם קיים. מומלץ גם לצמצם מס רגרסיבי מעוות אחר, כגון בלו או מע"מ, כך שישמר איזון תקציבי של תקבולים ואף יתאפשר מתן תמריצים לתעשייה במעבר לטכנולוגיות נקיות.²⁵ היות שכיום ההכנסות מבלו הן כ-7% מהכנסות המדינה, כשיפחת השימוש באנרגיה מזדממת ייווצר הצורך במקור מס חלופי. יש לתת על כך את הדעת בתכנון לטווח ארוך. עוד מומלץ לתת תמריצים למו"פ בתחום אימוץ טכנולוגיות מפחיתות פליטות ובטכנולוגיות המגדילות את ניצולת האנרגיה.²⁶

25 המכון הישראלי לדמוקרטיה והמשרד להגנת הסביבה צפויים לפרסם מסמך המתמקד כולו בנייתו החלת מס פחמן במשק הישראלי, שם יידונו הנדבכים של מדיניות זו.

26 למשל על ידי עידוד השקעות בטכנולוגיות ובתהליכי ייצור ירוקים במסגרת מענקי מרכז ההשקעות.

נספחים

נספח א: רשימת מקורות נתונים למודל MESSAGEix_IL-MACRO

Data	Source
Population growth	Medium and high scenarios CBS (2017)
GDP growth	Medium (BOI, 2019); High (IEC, 2017)
Energy prices till 2030	World Bank 2019
Energy prices 2031-2050	EIA 2019
Interest rate	Israeli National Economic Council
Energy taxes Israel	Ministry of Energy, Fuel Department (4/ 2019)
Coal power generation Israel	Ministry of Energy Chief Scientist
Storage costs Israel	Ministry of Energy Chief Scientist
NG Capital cost and OM cost	Ministry of Energy Chief Scientist
Coal Capital cost and OM cost	Ministry of Energy Chief Scientist
Solar Capital cost and OM cost	Ministry of Energy Chief Scientist
Technology efficiency	Ministry of Energy Chief Scientist
Power plants lifetime	Ministry of Energy Chief Scientist
NG reserves	Adiri committee 2018
NG export till 2050	Adiri committee 2018
Historical data on energy balance, Israel	EIA, IEA and CBS
Elasticities of electricity demand	BOI (Galo 2017)
Emissions factors	Ministry of Environmental Protection
Carbon Tax	EPA (2015)
Electricity Transportation	Ministry of Energy
Renewable energy goals	Ministry of Energy Roadmap 2030 and PUA (2019)

נספח ב: רשימת מדדים ויעדים בתחום התחבורה, משרד התחבורה

שם המדד	אופן החישוב	יעד
יעילות הובלת מטענים	הפחתת נסועת משאיות ורכבים כבדים יחסית לתרחיש עסקים כרגיל	25%-*
הגדלת שימוש באמצעים מקיימים	אחוז נסיעות באמצעים מקיימים (תח"צ, אמצעים אישיים ואמצעים לא ממונעים)	60-70%
נגישות	אחוז האוכלוסייה שיכולה להגיע למרכז המטרופולין הקרוב ב-45 דקות	70%
רמת מינוע	סך כלי הרכב הפרטיים בישראל, במיליונים	5.0 מיליון רכבים <

* כ-11 מיליארד ק"מ בשנת 2050 במקום כ-15 מיליארד ק"מ

שם המדד	אופן החישוב	יעד
רכבים מאופסי פליטה	אחוז רכבים מאופסי פליטה מסך מצבת הרכבים*	100%
יעילות אנרגטית	צריכת אנרגיה סופית מתחבורה לתושב לשנה (MWh/capita)	יקבע בהמשך
נסועה ברכב פרטי	הפחתת נסועת רכב פרטי יחסית לתרחיש עסקים כרגיל	25%-**

* כלי רכב שאינם פולטים גזי חממה וזיהום אוויר במישרין

** כ-70 מיליארד ק"מ בשנת 2050 במקום כ-94 מיליארד ק"מ

מקור: משרד האנרגיה, משרד התחבורה, משרד האוצר ומשרד הכלכלה 2019.

נספח ג: רשימת מדדים ויעדים בתחום מבנים וערים, מינהל התכנון

יעדים לשיעור התחלות הבנייה הבנויות בהתאם לתקן לבנייה ירוקה							סוג הבנייה	מדד	2025	2030	2035	2040	2045	2050
100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	שיעור מהתחלות הבנייה (יח"ד)	מגורים - בנייה רוויה						
100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	שיעור מהתחלות הבנייה (מ"ר)	מסחרי						
100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	שיעור מהתחלות הבנייה (מ"ר)	ציבורי						

סוג מבנה	מדד	2020	2025	2030	2035	2050
בתי מגורים צמודי קרקע	מהתחלות הבנייה	-	100%	100%	100%	100%
מבני מגורים בבנייה רוויה 3-5 קומות	מהתחלות הבנייה	-	25%	100%	100%	100%
מבני מסחר	מהתחלות הבנייה	-	25%	50%	100%	100%
מבני ציבור	מהתחלות הבנייה	-	25%	100%	100%	100%
מבני חינוך	מהתחלות הבנייה	-	50%	100%	100%	100%
מבני ממשלה בבעלות מינהל הדיור הממשלתי*	מהתחלות הבנייה	25%	100%	100%	100%	100%

* יעד זה מסמן שילוב עקרונות למבנים מאופסי אנרגיה במרכזי מנהל הדיור הממשלתי ובכפוף לישימות ולבדיקת עלות-תועלת.

מחוז	התחדשות נדרשת באחוזים עד 2020	התחדשות נדרשת באחוזים עד 2025	התחדשות נדרשת באחוזים עד 2030
צפון	10	15	20
חיפה	20	30	40
מרכז	20	30	40
תל אביב	40	50	60
ירושלים	12	20	30
דרום	8	12	17

יעדים לשיעור התחלות הבנייה הבנויות בהתאם לתקן לבנייה ירוקה							
סוג הבנייה	מדד	2025	2030	2035	2040	2045	2050
שיפוץ מעטפת העומד בתקן בנייה ירוקה (בבניינים ישנים)	מיח"ד, מסחרי וציבורי שעוברים שיפוץ מעטפת	-	75%	100%	100%	100%	100%

מקור: משרד האנרגיה, משרד התחבורה, משרד האוצר ומשרד הכלכלה, 2019.

נספח ד: רשימת מדדים ויעדים בתחום תעשייה ופסולת, משרד הכלכלה

שם המדד	הגדרה	יעד
יעילות השימוש במשאבים	GDP/DMI בשנת 2050	יקבע בהמשך
הפחתת פליטות גזי חממה של התעשייה	הפחתת פליטות גזי חממה ביחס לשנת 2015 (עד שנת 2050)	40%
הטמנת פסולת עירונית מעורבת	אחוז פסולת עירונית מעורבת מוטמנת	0%
מחזור פסולת עירונית מעורבת	אחוז פסולת עירונית מעורבת ממוחזרת	60%
מחזור פסולת בניין	אחוז פסולת בניין ממוחזרת	100%

* מדד המחושב באמצעות סכימה של משקל חומרי הגלם הנכרים במדינה ומשקל החומרים המיובאים אליה (לא חומרי גלם בלבד) בחחומים הבאים: ביומסה, אנרגיה (דלקים), מינרלים ומתכות.

נספח ה: רשימת מדדים ויעדים בתחום האנרגיה, משרד האנרגיה

שם המדד	אופן החישוב	יעד
הפחתת הייצור בפחם	שיעור ייצור הפחם מסך ייצור החשמל	הפסקת השימוש עד לסוף שנת 2025
יעילות באנרגיה/עצימות אנרגיה	ייקבע בהמשך	ייקבע בהמשך
ייצור באנרגיות מתחדשות	שיעור ייצור החשמל שמקורו באנרגיות מתחדשות מסך ייצור החשמל במשק	נבחן יעד של 25%-30% לשנת 2030
מבנים מאופסי אנרגיה	שיעור מבנים מאופסי אנרגיה מסך החלות הבנייה	פורט במסגרת צוות מבנים
הפחתת פליטות מייצור חשמל	שיעור הירידה בהיקף הפליטות מייצור קוט"ש חשמל בהשוואה לשנת 2015	ירידה של 51% לקוט"ש מיוצר בשנת 2026 בהשוואה לשנת הבסיס
הפחתת פליטות מייצור חשמל	שיעור הירידה בהיקף הפליטות הכולל בייצור חשמל בהשוואה לשנת 2015	ירידה של 32% מסך הפליטות בייצור חשמל בהשוואה לשנת הבסיס

מקור: משרד האנרגיה, משרד התחבורה, משרד האוצר ומשרד הכלכלה, 2019.

רשימת המקורות

אבירס־ניצן, דפנה, וארז סומר, דצמבר 2019. ישראל 2050: כלכלה משגשגת בסביבה מקיימת – השפעת התוכנית על איכות החיים של הציבור בישראל, כנס אלי הורביץ לכלכלה וחברה.

אבירס־ניצן, דפנה, וירדן קידר, יולי 2020. סקר מיוחד של המכון הישראלי לדמוקרטיה: עמדות הציבור על משבר האקלים על רקע משבר הקורונה.

ארגוב, איל, ושי צור, 2019. מודל צמיחה ארוכת טווח למשק הישראלי, בנק ישראל. בנק ישראל, חטיבת מחקר, 2019. העלאת רמת החיים בישראל באמצעות הגדלת פריון העבודה.

דוידוביץ', איילת, רוסלנה רחל פלטניק, מרדכי שכטר ואופירה אילון, דצמבר 2019. "כיצד ישפיע שינוי האקלים על ענף הביטוח העולמי והישראלי?", אקולוגיה וסביבה 10 (4): 58–59.

המשרד להגנת הסביבה, 2016. התכנית הלאומית ליישום הסכם פריז.

המשרד להגנת הסביבה, 2018. הפחתת פליטות גזי חממה בישראל: דו"ח מעקב שנתי אחר יישום התוכנית והיעדים הלאומיים להפחתת פליטות גזי חממה.

זוסמן, נתן, אורי שרון והילה שואף־קולביץ, יולי 2020. תכנית חילוץ ירוקה 2020: צעדים לקידום בתקציב המדינה, המכון הישראלי לדמוקרטיה וקואליציית ארגוני הסביבה.

מרכז הידע הישראלי להערכות לשינויי אקלים, מאי 2012. דו"ח מסי' 1: סקירת ידע קיים, זיהוי פערי ידע ועדיפות להשלמתם.

משרד ראש הממשלה, 2015 (עדכון 2017). הפחתת פליטות גזי חממה וייעול צריכת האנרגיה במשק.

משרד ראש הממשלה, 2016 (עדכון 2017). תכנית לאומית ליישום היעדים להפחתת פליטות גזי חממה ולהתייעלות אנרגטית.

משרד האנרגיה, משרד התחבורה, משרד האוצר ומשרד הכלכלה, 2019. ישראל 2050: כלכלה משגשגת בסביבה מקיימת – מדדים, יעדים וחזון לפי תחומים.

פלטניק, רוטלנה רחל, אילת דוידוביץ', תמר טרופ ואופירה אילון, 2018. "ירוק זה כדאי? ניתוח עלות-תועלת של בתי ספר ירוקים בישראל", *אקולוגיה וסביבה*, 9 (1): 57-50.

רינת, צפריר, 18.3.2020. "חוקרים: זיהום אוויר הופך את הגוף פגיע יותר לווירוס הקורונה", *הארץ*.

רשות החדשנות, דצמבר 2018. "סקירה ענפית: טכנולוגיות נקיות בישראל".

Abadie, Alberto, and Javier Gardeazabal, March 2003. "The Economic Costs of Conflict: A Case Study of the Basque Country," *American Economic Review* 93 (1): 113-132.

Acemoglu, Daron, Philippe Aghion, Leonardo Bursztyn, and David Hemous, 2012. "The Environment and Directed Technical Change," *American Economic Review* 102 (1): 131-166.

Acemoglu, Daron, Ufuk Akcigit, Douglas Hanley, and William Kerr, 2016. "Transition to Clean Technology," *Journal of Political Economy* 124 (1): 52-104.

Anbumozhi, Venkatachalam, Masahiro Kawai, and Bindu N. Lohani (eds.), 2015. *Managing the Transition to a Low-Carbon Economy Perspectives, Policies, and Practices from Asia*, Asian Development Bank Institute.

Arndt, Channing, Rob Davies, Sherwin Gabriel, Konstantin Makrelov, Bruno Merven, Faaiqa Hartley, 2016. "A Sequential Approach to Integrated Energy Modeling in South Africa," *Applied Energy* 161: 591-599.

Baum, Zvi, Ruslana Rachel Palatnik, Iddo Kan, and Mickey Rapaport-Rom, 2016. "Economic Impacts of Water Scarcity under Diverse Water Salinities," *Water Economics and Policy* 2 (1).

Binswanger, Mathias, 2001. "Technological Progress and Sustainable Development: What about the Rebound Effect?," *Ecological Economics* 36 (1): 119-132.

Bohringer, Christoph, and Thomas F. Rutherford, 2008. "Combining Bottom-up and Top-down," *Energy Economics* 30 (2): 574-596.

Buffie, Edward E., Andrew Berg, Catherine Pattillo, Rafael Portillo, and Luis-Felipe Zanna, 2012. *Public Investment, Growth, and Debt Sustainability: Putting Together the Pieces*, International Monetary Fund, Washington DC.

Burke, Marshall, W. Mathew Davis, and Noah S. Diffenbaugh, 2018. "Large Potential Reduction in Economic Damages under UN Mitigation Targets," *Nature* 557: 549-553.

Calderon, Cesar, and Luis Servén, 2014. *Infrastructure, Growth and Inequality: An Overview*, World Bank, Washington DC.

Climact, the Belgian Federal Planning Bureau, and Oxford Economics, October 2016. *Macroeconomic Impacts of the Low Carbon Transition in Belgium*.

Committee on Climate Change, May 2019. *Net Zero: The UK's Contribution to Stopping Global Warming*.

European Commission, Global Energy, and Climate Outlook, 2017. *How Climate Policies Improve Air Quality*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

European Commission, 28 November 2018. *A Clean Planet for All: A European Long-Term Strategic Vision for a Prosperous, Modern, Competitive and Climate Neutral Economy*, Brussels.

Feitelson, Eran, and Amit Tubi, 2017. "A Main Driver or an Intermediate Variable? Climate Change, Water and Security in the Middle East," *Global Environmental Change* 44: 39-48.

Fricko, Oliver, Petr Havlik, Joeri Rogelj, Zbignew Klimont, Mykola Gusti, Nils Johnson, and Peter Kolp, 2017. "The Marker Quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A Middle-of-The-Road Scenario for the 21st Century," *Global Environmental Change* 42: 251-267.

Gabay, Hadas, Isaac A. Meir, Moshe Schwartz, and Elia Werzberger, 2014. "Cost-Benefit Analysis of Green Buildings: An Israeli Officebuildings Case Study," *Energy and Buildings* 76: 558-564.

Governo de Portugal, 2012. *Roterio Nacional De Baixo Carbono 2050*.

Helgesen, Per Ivar, and Asgeir Tomasgard, 2018. "From Linking to Integration of Energy System Models and Computational General Equilibrium models - Effects on Equilibria and Convergence," *Energy* 159: 1218-1233.

Hourcade, Jean Charles, Mark Jaccard, Chris Bataille, and Frederic Gherzi, 2006. "Hybrid Modeling: New Answers to Old Challenges - Introduction to the Special Issue of the Energy Journal," *The Energy Journal* 27: 1-11.

Huppmann, Daniel, Mathew Gidden, Oliver Fricko, Peter Kolp, Clara Orthofer, Michael Pimmer, Nikolay Kushin, Adriano Vinca, Alessio Mastrucci, Keywan Riahi, Volker Krey, 2019. "The MESSAGEix Integrated Assessment Model and the ix Modeling Platform (ixmp): An Open Framework for Integrated and Cross-cutting Analysis of Energy, Climate, the Environment, and Sustainable Development," *Environmental Modelling & Software* 112: 143-156.

IEA and IMF, June 2020. *Sustainable Recovery: World Energy Outlook Special Report*.

ILO and IILS, 2011. *A Review of Global Fiscal Stimulus*, International Labour Organisation and International Institute for Labour Studies, Geneva.

- IMF, 2014. "Is It Time for an Infrastructure Push? The Macroeconomic Effects of Public Investment," *World Economic Outlook 2014: Legacies, Clouds, Uncertainties*, International Monetary Fund, Washington DC.
- Jewell, J., A. Cherp, and K. Riahi, 2014. "Energy Security under De-Carbonization Scenarios: An Assessment Framework and Evaluation under Different Technology and Policy Choices," *Energy Policy* 65: 743–760.
- Khan, Matthew E., Kamiar Mohaddes, Ryan N.C. Ng, M. Hashem Pesaran, Mehdi Raissi, and Jui-Chung Yang, 2019. *Long Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis*, National Bureau of Economic Research, Working Paper No. 26167, Cambridge U.S.A.
- Kiula, Olga, 2018. "Decarbonisation Perspectives for the Polish Economy," *Energy Policy* 118: 69–76.
- LuckmannJunas, Harald Grethe, Scott McDonald, Anton Orlov, and Khalid Siddig, 2014. "An Integrated Economic Model of Multiple Types and Uses of Water," *Water Resources Research* 50: 3875–3892.
- Manne, A. S., and C. O. Wene, 1992. *MARKAL-Macro: A Linked Model for Energy-Economy Analysis – Report BNL Brookhaven National Laboratory*, Brookhaven National Lab., Upton, NY.
- Messner, Sabine, and Leo Schrattenholzer, 2000. "MESSAGE-MACRO: Linking an Energy Supply Model with a Macroeconomic Module and Solving it Iteratively," *Energy* 25 (3): 267–282.
- Nordhaus, William D., September 2007. "A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change," *Journal of Economic Literature* 45: 686–702.
- OECD, 2013. "Greener Skills and Jobs for a Low-Carbon Future," *OECD Green Growth Papers*, Paris: OECD Publishing.

OECD, 2014. *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*.

OECD, 2017. *Investing in Climate, Investing in Growth*, Paris.

OECD, April 2020. *From Containment to Recovery: Environmental Responses to the COVID-19 Pandemic*.

OECD, July 2020. *Accelerating Climate Change in Israel: Refocusing Mitigation Policies for the Electricity, Residential and Transport Sector*.

Orimoloye, Israel Ropo, Sonwabo Perez Mazinyo, Ahmed Mukalazi Kalumba, Olapeju Yewande Ekundayo, and Werner Nel, 2019.

"Implications of Climate Variability and Change on Urban and Human Health: A Review," *Cities* 91: 213-223.

Orthofer, Clara Luisa, Daniel Huppmann, and Volker Krey, 2019.

"South Africa after Paris: Fracking Its Way to the NDCs?," *Frontiers in Energy Research* 7 (Article 20).

Palatnik, Ruslana Rachel, 2019. "The Economic Value of Seawater Desalination –The Case of Israel," *Economy-Wide Modeling of Water at Regional and Global Scales: Advances in Applied General Equilibrium Modeling*, Singapore: Springer.

Palatnik, Ruslana Rachel, Helena Faitelson, and Mordechai Shechter, 2012. "Israeli Policy towards Reaching Cancun Pledge: A Comparison of Actions in Plan and Economically Efficient Measures".

Palatnik, Ruslana Rachel, and Mordechai Shechter, 2008. "Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emission Controls within the Framework of a General Equilibrium Model of the Israeli Economy," *Economic Quarterly* 55 (4): 545-573.

Pindyck, Robert S., 2019. "The Social Cost of Carbon Revisited," *Journal of Environmental Economics and Management* 94: 140-160.

- Rozenberg, Julie, Adrien Vogt-Schilb, and Stephane Hallegatte, 2014. *Transition to Clean Capital, Irreversible Investment and Stranded Assets*, The World Bank.
- Seixas, J., P. Fortes, J. P. Gouveia, S. G. Simoes, A. Pereira, and R. Pereira, 2017. *The Role of Electricity in the Decarbonization of the Decarbonization of the Portuguese Economy*, Universidade Nova De Lisboa.
- Siddig, Khalid, and Harald Grethe, 2014. "No More Gas from Egypt? Modeling Offshore Discoveries and Import Uncertainty of Natural Gas in Israel," *Applied Energy* 136: 312-324.
- Solomon, A. A., Dmitrii Bogdanov, and Christian Breyer, 2018. "Solar Driven Net Zero Emission Electricity Supply with Negligible Carbon Cost: Israel as a Case Study for Sun Belt Countries," *Energy* 155: 87-104.
- Stern, Nicholas, 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- SueWing, Ian, 2006. "The Synthesis of Bottom-up and Top-down Approaches to Climate Policy Modeling: Electric Power Technologies and the Cost of Limiting US CO2 Emissions," *Energy Policy* 34 (18): 3847-3869.
- Tishler, Asher, J. Newman, I. Spekterman, and C. Woo, 2008. "Assessing the Options for a Competitive Electricity Market in Israel," *Utilities Policy* 16: 21-29.
- UK Government, Department for Business, Energy, Industrial Strategy, October 2017. *The Clean Growth Strategy Leading the Way to a Low Carbon Future*.
- UN, 2016. *The Sustainable Development Goals Report 2016*, United Nations.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2017. *Summary of the Paris Agreement*.

WHO and OECD, 2015. *Economic Cost of the Health Impact of Air Pollution in Europe: Clean Air, Health and Wealth*, Copenhagen.

World Bank, March 2020. *Thinking Ahead: For a Sustainable Recovery from COVID-19 (Coronavirus)*.

Yu, Hojin, David Pearlmutter, and Moshe Schwartz, 2018. "Life Cycle Assessment of an Energy-Economy Nexus: The Case of Israel and South Korea," *Environmental Impact Assessment Review* 69: 61-69.

