

# הזדמנויות במשק אנרגיה משתנה

סקירת משק האנרגיה הגלובלי,  
הישראלי והמקומי - מגמות, אתגרים  
והזדמנויות עבור איגוד ערים שרון-כרמל

פרופ' אופירה אילון  
ד"ר גילי פורטונה  
ד"ר אורנה רביב  
נעמה שפירא

מוסד שמואל נאמן  
למחקר מדיניות לאומית

03/23 | סביבה ואנרגיה





**מוסד שמואל נאמן**  
למחקר מדיניות לאומית

# הזדמנויות במשק אנרגיה משתנה

סקירת משק האנרגיה הגלובלי, הישראלי  
והמקומי - מגמות, אתגרים והזדמנויות  
עבור איגוד ערים שרון-כרמל

---

פרופ' אופירה אילון

ד"ר גילי פורטונה

ד"ר אורנה רביב

נעמה שפירא

יולי 2023

---

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים  
במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר.ת ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן

---

## תקציר

הדרך שבה מייצרים, מספקים, ומשתמשים במקורות אנרגיה לייצור חשמל, להניע תחבורה ולהפקת חום הינה בעלת השפעות נרחבות על הכלכלה, החברה והסביבה, ברמה הגלובלית, הלאומית וגם ברמה המקומית. יעדים לאומיים להפקת חשמל ודלקים משתנים עקב תמורות עולמיות ומקומיות במשק האנרגיה ומשפיעים על ייצור ואספקת האנרגיה ברמה המקומית, וכן על ההשפעות הסביבתיות שלה. תמהיל האנרגיה בעולם בשנת 2021 אמנם כלל יותר אנרגיות מתחדשות בהשוואה לשנת 2011, אך עדיין 83% ממקורות האנרגיה הם מחצביים, וכוללים 32% נפט, 27% פחם, ו-24% גז מחצבי. כמו כן 13% מהתמהיל הוא ממקור אנרגיה מתחדש, ברובו מרוח ושמם (55% מתוך ה-13%), וכן 4% מהתמהיל מקורו באנרגיה גרעינית.

מוסד שמואל נאמן בטכניון נדרש לסוגיית עתיד משק האנרגיה בישראל בכלל ובאיגוד ערים שרון-כרמל בפרט, על מנת לבחון את האתגרים וההזדמנויות בנושא.

חשוב מאוד לציין כי תחזיות ומגמות בעולם נתונות לשינויים בלתי צפויים, אשר גורמים לשינויים מהותיים בתחזיות. כך למשל במקרה של מגפת הקורונה, המלחמה באוקראינה או השינוי במדיניות ההשקעות והרגולציה בארה"ב באנרגיה מתחדשת, במסגרת החוק למלחמה באינפלציה. כמו כן, מעבר לתהליכים הגלובליים, תהליכים בישראל, עלולים לנתק את קצב השינוי בישראל מהתהליכים העולמיים (ההתייחסות הרפה לחוק האקלים, הגברת ייצוא הגז, ההתקדמות האיטית בפיתוח מערכת הייצור וההולכה של חשמל ממקורות מתחדשים ועוד).

מסמך זה סוקר מגמות בטווח הקצר (עד 2030), בטווח הארוך (עד 2050) ובטווח הבינוני (עד 2040), ברמת וודאות משתנה. ככל שהטווח רחוק יותר, רמת אי הודאות עולה ולכן תיאור התרחישים האפשריים יכלול התייחסות למשמעויות ולהמלצות לאיגוד ערים שרון-כרמל, בטווח הקצר והארוך.

**התחזית לשנת 2050 מראה מגמה עולמית של תזוזה (Transition) מאספקה של אנרגיה לאספקת חשמל, כך שאחוז הפקת החשמל והמימן ביחד בתמהיל האנרגיה צפוי להיות פי שלושה מערכו כיום ויהפוך ל-30% מהתמהיל ב-2030 ו-50% מתמהיל מקורות האנרגיה ב-2050. הצפי ל-2050 הוא ש-50% מהביקוש לאנרגיה יסופק ע"י אנרגיה מתחדשת. על פי תרחיש הפחתת הפליטות (NZE), כ-80-90% מהפקת החשמל בעולם תיעשה על-ידי אנרגיה מתחדשת, והטכנולוגיות העיקריות להפקה יהיו שמש ורוח לצד דלק מבוסס מימן.**

בהתאם לכך, ההשקעה הצפויה בעולם בטווח הקצר בתשתיות אנרגיה היא בעיקר בהתייעלות אנרגטית ובמתקנים לאספקת אנרגיה (חשמל וחום) גם ממקור מתחדש וגם ממקור מחצבי. בטווח הארוך המיקוד עובר להשקעה בחשמל ממקור מתחדש בלבד. השינוי בתמהיל הדלקים לאנרגיה תלוי בשיתוף הפעולה הבינלאומי להפחתת פליטות ובפרט במאמץ לעמידה ביעד של עלייה של 1.5 מעלות צלסיוס, בהתאם להחלטות ועידת האקלים בפריז.

**בעקבות המיקוד בהפקת חשמל ממתחדשות, הביקוש בעולם לדלק מחצבי צפוי לרדת בכ-40%, כך שההספק הנדרש של דלק מחצבי יהווה ב-2050 כ-33% מסך הביקוש למקורות אנרגיה, כ-150 מיליוני טרה-ג'אול. הצפי הוא שרוב האנרגיה ממקור מחצבי תסופק מגז מחצבי ונפט, בעוד הפחם יהווה את המקור הכי פחות נדרש.**

על מנת לעמוד בתחזיות ל-2050, נדרש שיפור משמעותי בקצב הקמת מתקני האנרגיה המתחדשת ועמידה ביעדים לטווח הקצר (2030). אופן וקצב המעבר לאנרגיה מתחדשת שונה בכל מדינה ותלוי בזמינות ההון הנדרש להשקעה בתחום האנרגיה, בהיקף השימוש כיום באנרגיה ממקור מחצבי, ובפוטנציאל הפיזי להפקת אנרגיה ממקור מחצבי או מתחדש כדוגמת שמש ורוח. אתגר מרכזי במעבר לאנרגיה ממקור מתחדש היא הדרישה הגוברת לכריית

מחצבים שהם קריטיים לתהליכי הייצור של תשתיות האנרגיה (בפרט סולארי ואגירה). לחילופין, **נדרשת חדשנות והמצאת תחליפים הולמים למחצבים כגון נחושת, קובלט ומנגן, כחלק מפיתוח טכנולוגי עתידי.**

**אתגרים נוספים הם בפיתוח מקורות אנרגיה נוספים, כדוגמת מימן ואגירת חשמל, לאספקת אנרגיה שעתית ותקופתית.** למימן שימושים נוספים ככלי המשלב אגירה ושינוע של אנרגיה, המתאים יותר לתעשייה שצורכת חום.

**בנוסף, דלק סילוני לתעופה יהווה אתגר וגורם מרכזי בהתפתחות טכנולוגיות חלופיות בעתיד** ובמעבר לאנרגיה דלת-פחמן. דלק סילוני ניתן לייצר מנפט או מקונדנסט שנפלט בתהליך הפקת גז מחצבי, כפי שנעשה כיום, או לחילופין בתהליך גזפיקציה או הידרוליזה של חומר גלם חלופי, שאינו ממקור מחצבי ומופק בתהליך דל-פחמן.

מבחינת הצרכנים, ובפרט התעשיות עתירות האנרגיה, התלות באנרגיה והתחרותיות בין החברות בתעשייה תלויה באופן השימוש שלהן באנרגיה. לכן, היעד לעבור עד 2050 לאנרגיה נקיה דורש שינוי גם בתעשייה, הן מבחינת מקורות האנרגיה והן בהתייעלות הטכנולוגית לשימוש באנרגיה ולהפחתת הפליטות בתהליכים השונים ובכל שרשראות האספקה. אחת הסיבות להמשך התלות של התעשייה באנרגיה היא, למשל, העובדה שמקורות אנרגיה נקיה וטכנולוגיות לאצירת פחמן לשימוש בתעשייה נמצאות עדיין בשלב הפיתוח ולכן לא ניתן יהיה ליישמן בתעשייה בשנים הקרובות. כתוצאה מהשינוי בטווח הקצר, מסתמן, לדוגמה, שבעשור הבא חברות במגזר הזיקוק וההובלה צפויות לעמוד בפני ירידה בביקוש לדלק מזוקק, החמרה בתקנות הסביבתיות, ירידה בתפוקת בתי הזיקוק, והכנסות נמוכות יותר. כך למשל, דלק סילוני יוחלף בביו-דלק, זפת ואספלט כבישים יוחלפו בתחליפים דלי-פליטות ומימן אפור וכחול יוחלפו במימן ירוק, מבוסס הידרוליזה ע"י מקור אנרגיה מתחדש.

**בישראל, כיום, אנרגיה מתחדשת מהווה 10% מייצור החשמל, כאשר 70% מופק מגז ו-20% מפחם.** אנחנו רואים התחלה של חשמול ציי התחבורה (כלי רכב פרטיים, רכבת, וכן אוטובוסים) וכן חשמול בתעשייה.

בשנת 2040 צפויה האוכלוסייה להגיע לכ-14 מיליון איש ולהכפיל את צריכת החשמל בהשוואה לשנת 2020. היעד בישראל הוא לייצור 30% חשמל מאנרגיה מתחדשת בשנת 2030, עם יעד ביניים של 20% בשנת 2025. קיימים מודלים בישראל המאתגרים את תחזיות משרד האנרגיה וטוענים שכבר בשנת 2030 אנרגיה ממקור מתחדש תוכל לתת מענה ל-50% מהביקוש הצפוי לחשמל, ולכ-95% מהביקוש ב-2050.

**שתי שאלות מרכזיות עולות מול הצורך לעבור לאנרגיות מתחדשות: ההיתכנות הטכנית, בפרט מול מגבלות רשת ההולכה הקיימת בישראל, והסוגייה הכלכלית.** בתיאוריה, קיימות מספר תחזיות שמראות שניתן לעמוד ביעדים ואף לזרז את המעבר, ומבחינה כלכלית, עם ירידת עלות החשמל ממקור מתחדש והכלת העלויות החיצוניות בשכלול המחיר (לרבות, מס פחמן), המעבר למתחדשות הוא נכון גם כלכלית.

חשוב לציין, התוכנית בישראל מתמקדת בהפקת חשמל בפרט ולא בהפקת אנרגיה בכלל, כפי שנעשה בעולם. ישנה התייחסות מסוימת בתוכניות של מדינת ישראל לנושא חשמול (בעיקר של כלי רכב פרטיים והרכבת) וכן התייחסות לנושא התחבורה הציבורית. אולם, היעדים בישראל כלל לא התייחסו לסוגיות כמו דלק נזולי/גזי לתחבורה ימית ואווירית וחדשנות בתחום הביו-דלק.

**המעבר להפקת אנרגיה ממקור מתחדש ולתעשייה בת קיימא מחייב השקעה כספית בפיתוח תחום המתחדשות כך שיהיה כפול מההשקעה הקיימת היום** ויאפשר האצה של תהליכי ההתקנה. בנוסף, נדרשת התגייסות של הרגולטור כדי (1) לקצר תהליכי אישור ושחרור של אדמות שנדרשות למתקני אנרגיה ולהרחבת קווי ההולכה של חשמל – כהכנה לשילוב חשמל משמש ורוח, וקווי הולכת הדלק – לצורך הנגשת השימוש בגז בתעשייה, (2) להכשיר כוח אדם וליצור שרשראות אספקה (כולל כריית מחצבים, גז מחצבי ואולי נפט במקרה של ישראל) וביקוש לטכנולוגיות ולמוצרים החדשים, (3) להשקיע בחדשנות ובהתייעלות אנרגטית גם במתקנים קיימים כדי

להפחית את הביקוש למחצבים נדירים, (4) לצמצם את הפליטות מתעשיות מבוססות דלק מחצבי ו-(5) לעודד תעשייה בת-קיימא והשקעות באנרגיה מתחדשת.

ישראל נחשבת למדינה בעלת אמצעים להשקעה באנרגיה מחד ומאידך בעלת פגיעות גבוהה בתחום בטחון-האנרגיה, ולכן הפנמה של מגמות השינוי היא הכרחית ונדרשים לשם כך (1) עידוד והגברה של אגירת אנרגיה והפקה של אמוניה ומימן בתהליכים שמממטים בפליטות פחמן, תוך כדי עידוד הביקוש המקומי והגלובלי למימן ירוק והפחתת היקפי הייצור של מימן "כחול" ו"אפור" שמקורו בדלק מחצבי, (2) יצירת הזדמנויות לפיתוח מתקנים של אנרגיה מתחדשת וחזוק התעשיות התומכות בה, (3) חיזוק שיתופי פעולה בינלאומיים לפיתוח ושיווק טכנולוגי של מתקני אגירה ומימן "ירוק", ו-(4) הפחתת פליטות והגברת התייעלות אנרגטית בתהליכים המתבססים על דלק מחצבי בתעשייה, בבנייה ובתחבורה, וכן עידוד רכב חשמלי ודלק "ירוק" במטוסים.

**התגייסות ממשלתית ושיתופי פעולה בכל הרמות יאפשרו מימוש החזון והצבתה של מדינת ישראל בחזית הניתוק ממקורות אנרגיה מחצביים. החשיבות בקידום חזון זה נובעת, בראש ובראשונה, מהצורך לצמצם את זיהום האוויר המקומי הנגרם ממקורות אלה. הפחתת פליטות גזי החממה, תהא פועל יוצא מכך.**

עיריות ורשויות מקומיות ואזוריות ברחבי העולם הינן שחקניות מפתח בהתמודדות עם משבר האקלים, ובמקרים רבים אף מובילות את הפעילות להפחתת פליטות גזי החממה ולמעבר לאנרגיות מתחדשות. בארץ, מגמה זו נמצאת בראשיתה. האצת המעבר למשק מבוסס אנרגיות מתחדשות מחייב לראות ברשויות המקומיות שותף מרכזי לתהליך ולהעניק לשלטון המקומי ידע, סמכויות, תקנים ותקציבים לקידום ייצור אנרגיה מתחדשת ואגירה בשטחן.

**האתגרים המרכזיים של איגוד ערים שרון-כרמל בתחום האנרגיה נוגעים להמשך השימוש בפחם בתחנת הכוח אורות רבין (לרבות, המשך פעילות יחידות 1-4, שבינוי 2022 היו אמורות לסיים את פעילותן), הגברת הייצור, הייצוא והשימוש המקומי בגז מחצבי, בעיקר ממאגר לווייתן, וכן סוגיות הכוללות אחסון דלקים ותזקיקים במרחב האיגוד, ככל שתתקדם התוכנית לפינוי מתחם בתי הזיקוק בחיפה. המשך השימוש בפחם תלוי בין היתר ברזרבות הגז של ישראל שייתכן ויאפשרו את הקטנת השימוש בפחם גם בטווח הקצר. נושא זה דורש בדיקה מעמיקה של התנאים והתרחישים בהם ניתן יהיה להקטין או לבטל את הצורך בפחם בישראל.**

ההזדמנויות למרחב שרון-כרמל במשק האנרגיה המשתנה ולהפחתת השימוש בפחם וגז מחצבי כוללות המלצות לטווח הקצר (עד 2030) והארוך (עד 2050) בתחומי האכיפה, שיתופי הפעולה, העידוד והרגולציה, כמפורט להלן.

תחום	טווח קצר: הפחתת פליטות	טווח ארוך: פיתוח בר-קיימא
הפקת חשמל	לאכוף הפקת חשמל יעילה ונקייה, גם מדלק מחצבי וגם ממקור מתחדש כמו בהפקת חשמל מפסולת שלא ניתן למחזר. וכן לפעול לאצירת פחמן ופליטות	לעודד, להקים ולאפשר מתקני אנרגיה מתחדשת ופתרונות אגירה ומימן, ולהקים "ארגז חול" אזורי לחדשנות באנרגיה
התייעלות אנרגטית	לאכוף התייעלות אנרגטית שתפחית שימוש בדלק מחצבי והמרות אנרגיה בתעשייה, במבנים ובתחבורה	לעודד בנייה ירוקה משרשרת אספקה שתמזער שימוש באנרגיה תפעולית (למשל בידוד שימזער חימום וקירור)
אנרגיה בתעשייה	לחוקק חוקים עירוניים לאכיפת תעשייה בת קיימא ודלת-פליטות, מעבר לאנרגיה נקיה והחלת הטיפול בעלות-חיצונית על הייצור	לעודד הקמת תעשייה בת קיימא, אצירת פחמן במפעלים עתירי פליטות ושימוש בו להפקת אנרגיה
תחבורה	לאכוף כניסת כלי רכב דלי-פליטות וללא חומרים מסוכנים בתחום השיפוט ועידוד תחבורה ציבורית דלת-פליטות, הקמת מתקני טעינה לרכב חשמלי ומימן למשאיות	עידוד יוזמות להפקת דלק ירוק עבור התחבורה היבשתית, הימית והאווירית עקב הצפי לשדה תעופה גדול יותר בחיפה, התפתחות הנמל הימי, וכדומה

## תוכן העניינים

3	תקציר.....
9	1. מבוא.....
12	2. המגמות להפקת אנרגיה בעולם.....
13	2.1 מקורות אנרגיה – המצב ב-2022.....
15	2.2 הצפי להפקת אנרגיה עד 2050.....
18	2.3 אתגרים במעבר לאנרגיה מתחדשת עד 2050.....
	2.4 הפקת דלק נזלי. 19
20	3. שימוש במקורות אנרגיה.....
21	3.1 שימוש בחשמל וחום.....
23	3.2 מגמות בביקוש לפחם.....
23	3.3 מגמות בביקוש לדלק נזלי.....
26	4. המגמות והאתגרים בישראל.....
29	4.1 השימוש בגז ופחם.....
32	4.2 המעבר לאנרגיה מתחדשת.....
36	4.3 רגולציה.....
38	5. סיכום ודין.....
38	5.1 אתגרים במועצות ורשויות מקומיות ואזוריות.....
39	5.2 אתגרים והזדמנויות במרחב שרון-כרמל.....
41	5.3 הזדמנויות למחקר המשך.....

## רשימת הטבלאות

- טבלה 1: יעדי משרד האנרגיה והתחבורה לשנת 2050 בתחום החשמל והתחבורה..... 26
- טבלה 2: חלוקת ייצור החשמל ממקור מתחדש ב-2050..... 28
- טבלה 3: ההזדמנויות להפחתת פליטות ופיתוח בר-קיימא במרחב שרון-כרמל..... 40

## רשימת האיורים

- איור 1: הפקת אנרגיה כיום בעולם [אקסג'אול] על פי סוג המקור – מחצבי או מתחדש..... 12
- איור 2: ההשקעה בהספק מותקן [ג'יגה-ואט בשנה] ממקור מתחדש להפקת חשמל..... 14
- איור 3: הצפי להפקת אנרגיה בעולם [אקסג'אול בשנה] לפי סוג מקור האנרגיה בתרחיש הפחתת הפליטות..... 15
- איור 4: השינוי בתמהיל מקורות האנרגיה על פי הביקוש [מיליון טרה-ג'אול בשנה] ב-2050..... 16
- איור 5: עלות מימן ירוק [דולר לק"ג] בהשוואה למימן אפור וכחול..... 17
- איור 6: הביקוש לאנרגיה [אקסג'אול] במגזרים השונים בשנת 2030..... 21
- איור 7: גידול בביקוש לדלק נוזלי [מיליון חביות ביום] בטווח הקצר בתחום התחבורה..... 24
- איור 8: סימולציה שעתית ליום אופייני, מודל האנרגיה, משרד האנרגיה..... 27
- איור 9: צפי הפחתת הפליטות במגזר האנרגיה והתחבורה עד שנת 2050..... 31
- איור 10: תחזית רכישת רכב חשמלי בישראל ובאירופה (% ממכירות)..... 32
- איור 11: הספק מותקן צפוי בעשורים הקרובים, על פי סוג מקור הדלק ותרחישים שונים..... 33
- איור 12: פליטות גזי חממה ומזהמים בתרחישי היישום השונים..... 34
- איור 13: הביקוש לאנרגיה [פטה-ג'אול] על פי מקור הדלק והרגולציה..... 37



## רשימת קיצורים

- |                                    |                  |        |
|------------------------------------|------------------|--------|
| (GHG – Greenhouse Gas)             | גזי חממה         | גז"ח • |
| (CO <sub>2</sub> – Carbon Dioxide) | פחמן דו-חמצני    | פד"ח • |
| (GDP – Gross Domestic Product)     | תוצר מקומי גולמי | תמ"ג • |
|                                    | חברת חשמל ישראל  | חח"י • |
- 
- APS Announced Pledges Scenario
  - CNG Condensed Natural Gas
  - EJ Exajoule (10<sup>18</sup> joules)
  - GWh Gigawatt hours
  - LNG Liquefied Natural Gas
  - MWh/capita Megawatt hours per person
  - NZE Net Zero Emission
  - PJ Petajoule (10<sup>15</sup> joules)
  - PTG Power to Gas
  - PTL Power to Liquid
  - STEPS Stated Policies Scenario
  - TPES Total Primary Energy Supply

## 1. מבוא

הדרך שבה מייצרים, מספקים, ומשתמשים בחשמל ובדלק<sup>1</sup> הינה בעלת השפעות נרחבות על הכלכלה, החברה והסביבה, ברמה הלאומית וגם ברמה המקומית. אספקת חשמל ודלק בטוחה, אמינה, תוך שמירה על איכות הסביבה ובמחיר סביר הינה עורק חיים חיוני לתושבי העיר והכפר, לעסקים ולתעשייה. יתרה מכך, הרשויות המקומיות והאזוריות נדרשות להשקעת תשומות אנרגיה ופיתוח כלכלי לא מבטלות על מנת לקיים את כלל השירותים שהן מספקות לתושבים ולמבקרים בהן. השקעה בפיתוח תשתיות אנרגיה, כמו גם ההוצאות השוטפות על אנרגיה כחלק מהצרכים התפעוליים, מהווים נתח משמעותי מההוצאה המוניציפלית. החלטות לאומיות בתחום האנרגיה הן לעיתים בעלות השפעה מרחיקת לכת על סביבת הרשויות המקומיות והאזוריות, כמו במקרה של המשך השימוש בפחם בתחנות הכוח בחדרה או ההכרח במיקום אסדת הגז של מאגר לווייתן בתחום המים הצמוד לרשות.

תחזיות ויעדים לאומיים להפקת חשמל ודלק משתנים עקב תמורות עולמיות ומקומיות במשק האנרגיה ומשפיעים על ייצור ואספקת האנרגיה ברמה המקומית. בעולם, התחזיות להתחממות גלובאלית האינצו בתחילה את המעבר לשימוש באנרגיה ממקור מתחדש ובאגירת אנרגיה, אך כיום השפעות שינויי האקלים מביאים להאטה בשימוש באנרגיה ממקור מתחדש. כך למשל השימוש באנרגיה הידרואלקטרית ובטורבינות-רוח באירופה אמנם גבר בעשור האחרון, אך שינויי האקלים הביאו לשינוי במשטר הרוחות וזרימת המים בנהרות ולהפחתה בייצור חשמל ממקור מתחדש. בנוסף, תקופת הקורונה ומלחמת רוסיה-אוקראינה הביאו לשינוי בהיצע ובמחיר של חלופות האנרגיה המחצבית בעולם ולמשבר אנרגיה באירופה<sup>2</sup>. בארה"ב, השינוי במדיניות ההשקעות והרגולציה באנרגיה מתחדשת, במסגרת החוק למלחמה באינפלציה, הוא דוגמא חשובה שמראה שינוי מגמה אחר באותו נושא<sup>3</sup>.

תמורות בהיצע ובביקוש לאנרגיה נובעות גם מחדשנות ושיפורים טכנולוגיים כדוגמת התייעלות באגירת אנרגיה, שימוש במימן והיתוך גרעיני<sup>4</sup>. שינויים אלה מאותתים לגבי עתיד הביקוש לדלק מחצבי במשקי החשמל, התחבורה והתעשייה, ולגבי ההיצע של מקורות אנרגיה חלופיים בעידן של משק אנרגיה משתנה.

ההשפעה של התמורות האחרונות במשק האנרגיה בעולם מתבטאת בישראל הן בתחזיות בתחום האנרגיה, התעשייה והתחבורה, והן בעדכון תחומי ההשקעה של חברות ומגזרים מקומיים.

כך למשל בתחום **הפקת החשמל** בישראל יעדי הממשלה כללו צמצום בפליטות מזהמים וגזי חממה ומעבר להפקת חשמל משמש ורוח של עד 30% מתמהיל האנרגיה עד שנת 2030. הצפי במשק החשמל היה להפיק פחות חשמל מפחם ויותר מגגות סולאריים ואגירת אנרגיה<sup>5</sup>. במגזר המקומי, חברות ומשקי בית השקיעו בגגות סולאריים, מתקנים לאגירה ומעבר להפקת חשמל מאנרגיה מתחדשת. עם זאת, האטה ביישום יעדי הממשלה הביאה להאטה הן בקצב הפחתת השימוש בפחם להפקת חשמל והן

<sup>1</sup> המילה דלק משמעותה מקור-אנרגיה, גם מחצבי, כדוגמת פחם, גז ונפט, וגם מתחדש, כדוגמת ביו-דלק. כשמדובר בשמש ורוח כמקור אנרגיה, נהוג להשתמש במושג אנרגיה (ולא דלק) כמקור מתחדש או אנרגיה מתחדשת.

<sup>2</sup> כלכליסט [קישור]

<sup>3</sup> The white house: Inflation Reduction Act Guidebook – Clean Energy [Link]

<sup>4</sup> ארז ח וצירמן נ. 2022. מהפכת המימן – אסטרטגיות לאומיות ושינויים גאופוליטיים. אקולוגיה וסביבה 13(3): 25-33.

<sup>5</sup> פיסו ר. 2021. כיצד יכולים פאנלים סולאריים לצמצם פערים חברתיים? אקולוגיה וסביבה 12(2).

לעלייה בהוצאות הפקת החשמל עקב עלייה חדה במחירי הפחם והדלק בעולם. ההאטה ביישום היעדים הלאומיים היא לכן בעלת השפעות מקומיות מרחיקות לכת, הן במישור הבריאותי עקב המשך זיהום האוויר באזורי הפקת החשמל מפחם, מגז ומנפט<sup>6</sup> והן במישור הכלכלי עקב עלויות גבוהות של שימוש בחשמל לצרכן.

הדרך שבה מייצרים ומשתמשים בחשמל ובדלק בישראל הינה בעלת השפעות נרחבות על הכלכלה, החברה והסביבה, ברמה הלאומית וברמה המקומית. אספקה בת-קיימא של חשמל ודלק היא הכרחית לתושבים, לעסקים ולתעשייה. עם זאת, ההשפעה המרכזית בהמשך השימוש והפקת דלק מחצבי היא סביבתית. הפקה ושריפה של פחם, נפט וגז הן התורמות העיקריות לזיהום אוויר מקומי ולשינויי האקלים. מעבר לתמורות בשוק האנרגיה העולמי, שינויי האקלים שנגרמים כתוצאה מההתחממות הגלובלית מהווים סיכון גם לתשתיות חיוניות במרחב המקומי וייתכן ויגרמו לגלי חום ושרפות, הצפות ואירועי קיצון אחרים<sup>7,8</sup>.

בנוסף, השימוש המוגבר בחשמל מעלה את הסיכון לעלויות במתח, להפסקות חשמל, ולהעלאת עומסי שיא, אשר לא רק מגבירים את פליטות המזהמים וגזי החממה, אלא גם מעמידים את תשתיות החשמל בסיכון של הפרעה מערכתית, ועלולים להביא לשיבושים בעסקים ובמסחר, ובשירותי הרפואה והתחבורה. עם זאת, על פי דוח של מבקר המדינה<sup>9</sup> שעוסק בהיערכות ישראל לשינויי האקלים, לישראל אין עדיין תוכניות פעולה לאומית מתקצבת ליצירת מנגנוני היערכות להשפעות של שינויי האקלים, ובגופים הציבוריים ניהול הסיכונים הנובעים משינויי האקלים אינו מעמיק.

תעשיית הדלק המחצבי נוגעת לתחומי חיים רבים מלבד הפקת חשמל, וביניהם דלק לתחבורה, זיקוק הנפט ותעשיית פלסטיק והפקת אנרגיה עצמאית במתקני תעשייה על כל תחומיה.

**בתחום התחבורה**, כחלק מהיעדים הלאומיים להפחתת פליטות עולה השימוש בכלי רכב פרטיים וברכבת חשמליים, והצפי הוא להפחתה בשימוש בדלק ממקור מחצבי בטווח הארוך הן במגזר הפרטי והן בתחבורה הציבורית. בעקבות תהליכי השינוי חברות דלק ואנרגיה מחפשות תחומי השקעה חלופיים כדוגמת פתרונות לאגירת מימן אפור או כחול שמקורו בדלק מחצבי בטווח הקצר ואגירת מימן ירוק שמקורו באנרגיה ממקור מתחדש בטווח הרחוק<sup>10</sup>. אחד האתגרים הצפויים הוא פיזור תחנות תדלוק של תחליפי-הדלק, כדוגמת עמדות טעינה לרכבים חשמליים, תדלוק במימן, CNG וכדומה. ההשפעות המקומיות יתבטאו הן בתחום עלויות הנסיעה הפרטית והציבורית והן בתחומי התעסוקה במפעלי תעשייה מקומיים. כך למשל, בתעשיית הנפט והזיקוק, השינוי צפוי בכמה מגמות עיקריות ובהן (1) הפסקת זיקוק נפט ושימור המערך של בית הזיקוק כמסוף ליבוא ושיווק מוצרי נפט<sup>11</sup>, (2) אינטגרציה של פרקציות ביולוגיות במערך ייצור דיזל ודלק סילוני בכדי לעמוד בדרישות רגולטוריות וליהנות מסובסידיה ממשלתית עבור שימוש בפרקציות ממקורות מתחדשים<sup>12</sup>, (3) אינטגרציה ושדרוג של מערך הזיקוק

<sup>6</sup> פחם באורות רבין [קישור]

<sup>7</sup> C40 cities: Heat Extremes [Link]

<sup>8</sup> EEA (European Environment Agency) (2020). Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe. [Link]

<sup>9</sup> דוח מבקר המדינה בנוגע לשינויי אקלים [קישור]

<sup>10</sup> גרוסמן גרשון, שפירא נעמה. פורום אנרגיה 49: שילוב מימן במשק האנרגיה מוסד שמואל נאמן, 2021. [קישור]

<sup>11</sup> California's Petroleum Market [Link]

<sup>12</sup> Doliente SS, Narayan A, Tapia JFD, Samsatli NJ, Zhao Y and Samsatli S (2020). Bio-aviation Fuel: A Comprehensive Review and Analysis of the Supply Chain Components. Frontiers in Energy Research 8:110.

להפקת תוצרים פטרוכימיים שעלותם גבוהה יותר מאשר שיווק דלקים, ו-(4) החדרת טכנולוגיות מתקדמות עם דגש של מעבר להפקת מימן כחול או ירוק.

**בתחום אספקת המים**, מתקני ההתפלה הזורשים חשמל הם חיוניים לאספקת מים סדירה גם בעידן שינויי האקלים. גם מתקני הטיפול בשפכים מבוססים על חשמל ולכן, שינויים במשק החשמל והשפעות האקלים על מתקני החשמל מהווים מקור לחוסר יציבות באספקת החשמל שהוא קריטי בתפעול מתקני המים. נדרשת התייחסות לכך בתכנון משק החשמל<sup>13</sup>.

**בתעשייה**, חשמל הוא משאב קריטי. בנק ישראל חקר לאחרונה את הנושא של השפעת ההתחממות הגלובלית על הביקוש לחשמל בישראל<sup>14</sup> ומצא שבישראל רגישות הביקוש לחשמל ביחס לטמפרטורה המקסימלית גבוהה ביחס לאזורים חמים במדינות מפותחות אחרות כגון טקסס ואוסטרליה. מחקר נוסף שהתמקד גם הוא בצד הביקוש, בוצע על ידי משרד התשתיות הלאומיות ובחן את עלות אי אספקת החשמל בישראל<sup>15</sup>. לממצאיו, חסרה בישראל בחינה מעמיקה ורחבה של האיומים הצפויים למערכות החשמל העירוניות וזרכי ההתמודדות האפשריות. בנוסף לשימוש בחשמל ומאחר וייצור חום ישירות מחשמל הוא יקר מדי עקב המרות האנרגיה, בחלק גדול מהתעשייה נדרש חום למימוש התהליכים, שמיוצר במפעל עצמו. עד כה נעשה שימוש בדלק מחצבי להפקת החום. לאחרונה, במרבית המפעלים בארץ נעשה מעבר להפקת אנרגיה מגז מחצבי. בעתיד ניתן יהיה להמיר תהליכים מזהמים מבוססי דלק מחצבי בתעשייה בתהליכים דלי פליטות, על ידי חשמול תהליכים או שימוש בדלק לא מחצבי כדוגמת מימן "ירוק", שניתן לשנע ולהמיר לאנרגיה תהליכית במפעלים<sup>16</sup>.

לסיכום, חשמל ודלק הם מקור חיוני וקריטי בחיינו, אך מחייבים שיקול דעת ותוכניות לפיתוח בר-קיימא שיסייעו בשמירה על הרווחה החברתית בישראל ובעולם. מסמך זה סוקר מגמות בטווח הקצר (עד 2030), בטווח הארוך (עד 2050) ובטווח הבינוני (עד 2040), ברמת וודאות משתנה. ככל שהטווח רחוק יותר, רמת אי הוודאות עולה ולכן תיאור התרחישים האפשריים יכול להיות תיחוסות למשמעויות ולהמלצות לאיגוד ערים שרון כרמל, בטווח הקצר והארוך.

התמורות בתחום האנרגיה וההשפעות הדדיות בין הגורמים השונים המשנים את ההיצע והביקוש של חשמל ודלק, מחייבים הבנה של המגמות וההשפעות השונות בטרם קבלת החלטה לגבי מדיניות ההשקעה ופיתוח בר-קיימא ברמה המקומית. מסמך זה מבקש לבחון את ההזדמנויות במגזר החשמל והדלק בישראל לנוכח השינויים בשוק האנרגיה והשפעות שינויי האקלים, תוך מיקוד בבחינת ההתאמה והשימושים של הממצאים למרחב איגוד ערים שרון-כרמל.

<sup>13</sup> המשרד להגנת הסביבה, 2017. היערכות ישראל להסתגלות לשינויי אקלים: המלצות לממשלה לאסטרטגיה ותוכנית פעולה לאומית [קישור]

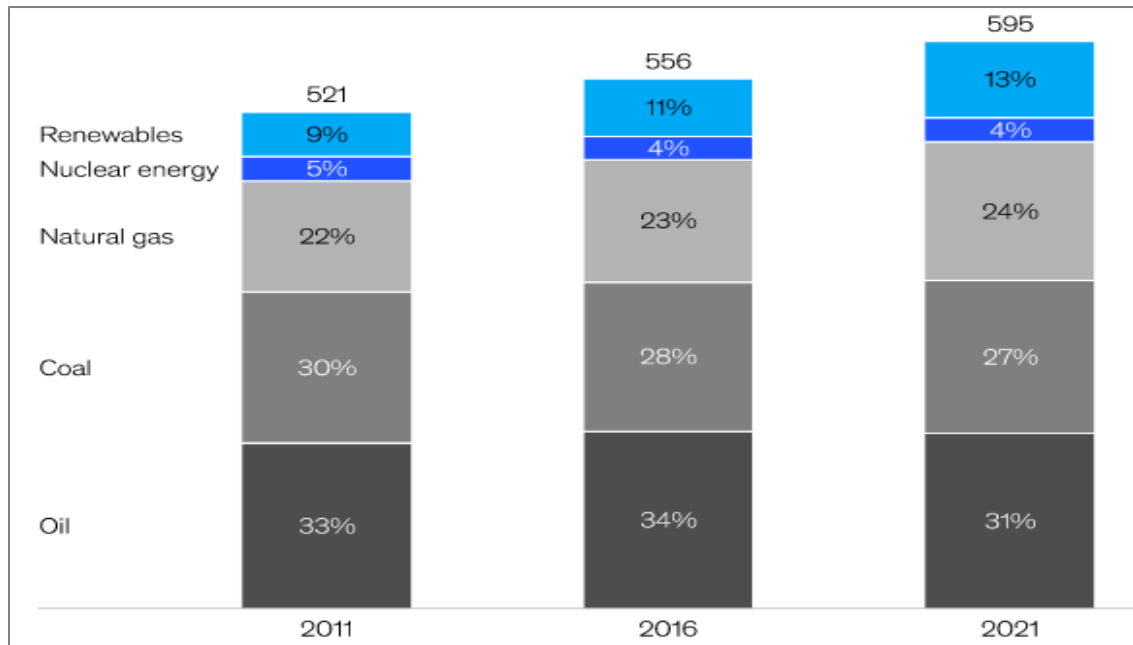
<sup>14</sup> בנק ישראל, חטיבת המחקר (2021). השפעת ההתחממות הגלובלית על הביקוש לחשמל בישראל. [קישור]

<sup>15</sup> משרד התשתיות הלאומיות (2011). תוצאות מחקר אומדן עלות אי-אספקת חשמל צד הביקוש.

<sup>16</sup> המשרד להגנת הסביבה, 2022. הוצאת תזקי נפט משימוש בתעשייה [קישור]

## 2. המגמות להפקת אנרגיה בעולם

תמהיל האנרגיה בעולם בשנת 2021 אמנם כלל יותר אנרגיות מתחדשות בהשוואה לשנת 2011, אך עדיין 83% ממקורות האנרגיה הם מחצביים, וכוללים 32% נפט, 27% פחם, ו-24% גז מחצבי. כמו כן 13% מהתמהיל הוא ממקור אנרגיה מתחדש, ברובו מרוח ושמש (55% מתוך ה-13%), וכן 4% מהתמהיל מקורו באנרגיה גרעינית (איור 1).



איור 1: הפקת אנרגיה כיום בעולם [אקסג'אול<sup>17</sup>] על פי סוג המקור – מחצבי או מתחדש<sup>18</sup>

העלייה בביקוש והאחוז הגבוה של דלק מחצבי בתמהיל העולמי צפויים להמשיך גם בחמש שנים הבאות. מלבד אחוז האנרגיה המתחדשת שעלה בעשור האחרון עלה גם אחוז הפקת הגז, בעוד שאר המקורות נותרו באחוז הפקת דומה לזה שהיה ב-2011. באירופה, 37% מהאנרגיה כיום מופקת ממקורות מתחדשים, כולל חשמל משמש, רוח והידרואלקטרי<sup>19</sup>.

**בטווח הקצר**, שלוש שנות קורונה ושנת מלחמה באוקראינה מציבים בפני אירופה ומדינות העולם ארבעה **אתגרים** מרכזיים בתחום האנרגיה ושינוי האקלים<sup>20</sup>:

ראשית, איך ישפיע משבר האנרגיה באירופה על המעבר לאנרגיה מתחדשת והפחתת הפליטות? במקביל לתגובה הראשונית בהגדלת יבוא הגז הנוזלי, ייצור אנרגיה גרעינית ושימוש בפחם, גדל באירופה

<sup>17</sup> 1 exajoule = 10<sup>18</sup> joule

<sup>18</sup> McKinsey, 2022. The energy transition: A region-by-region agenda for near-term action [\[Link\]](#)

<sup>19</sup> McKinsey & Company: Tai H, Samandari H, Pachtod D, et al., 2022. The energy transition: A region-by-region agenda for near-term action. Global Energy & Materials Practice and McKinsey Sustainability [\[Link\]](#)

<sup>20</sup> WRI, 2023. The Big Environmental Stories to Watch in 2023 World Resources Institute [\[link\]](#)

גם בשנת 2022 השימוש באנרגיה מתחדשת מ-40% ל-45%<sup>21</sup>. כמו כן עודכנו היעדים להפחתת פליטות ב-2030 מ-55% ל-57% ונמצא כי 83% מתושבי אירופה מאמינים שדווקא עקב המשבר חשוב להשקיע במתחדשות.

שנית, האם מנהיגות חדשה בעולם תתמוך בשימור והשבה של בתי גידול ומערכות אקולוגיות כדוגמת היערות באמזונס, באינדונזיה ובקונגו? המדינות המפותחות ועשירי העולם יתמכו עם תמריצים כלכליים במדינות המתפתחות שישמרו על המערכות האקולוגיות וכעת ממתנים לראות כיצד תיושם הרפורמה.

האתגר השלישי נוגע למימון המעבר לאנרגיה מתחדשת, שדורש התגייסות לא פשוטה בכל מדינה אך בעיקר במדינות מתפתחות. האם זה אפשרי ליישום? מדינות מפותחות בעולם הקציבו כסף במענקים שונים למדינות מתפתחות לצד סיוע של הבנק העולמי ועשירי העולם. הצפי הוא שהשינוי יתרחש במהלך 20 השנים הקרובות וימומן גם בעזרת מיסוי על חברות הדלק ושיפור מנגנוני המיסוי במדינות המתפתחות.

האתגר הרביעי נוגע לאופן שבו תיישמנה ארה"ב וסין את השינוי להפחתת הפליטות. האם הוא יתבצע רק במקרה של תועלת כלכלית מיידית? היעדים הקיימים לשנת 2030 הם להפחתה של 50% מהפליטות שהיו בשנת 2005. לשם כך יידרשו שינויי חקיקה נרחבים, שבלעדיהם תתאפשר הפחתה של 15% בלבד. בטווח הארוך, קיימות מגמות נוספות בשוק הדלק בעולם, תחזיות ואתגרים רבים כמפורט להלן.

## 2.1 מקורות אנרגיה – המצב ב-2022

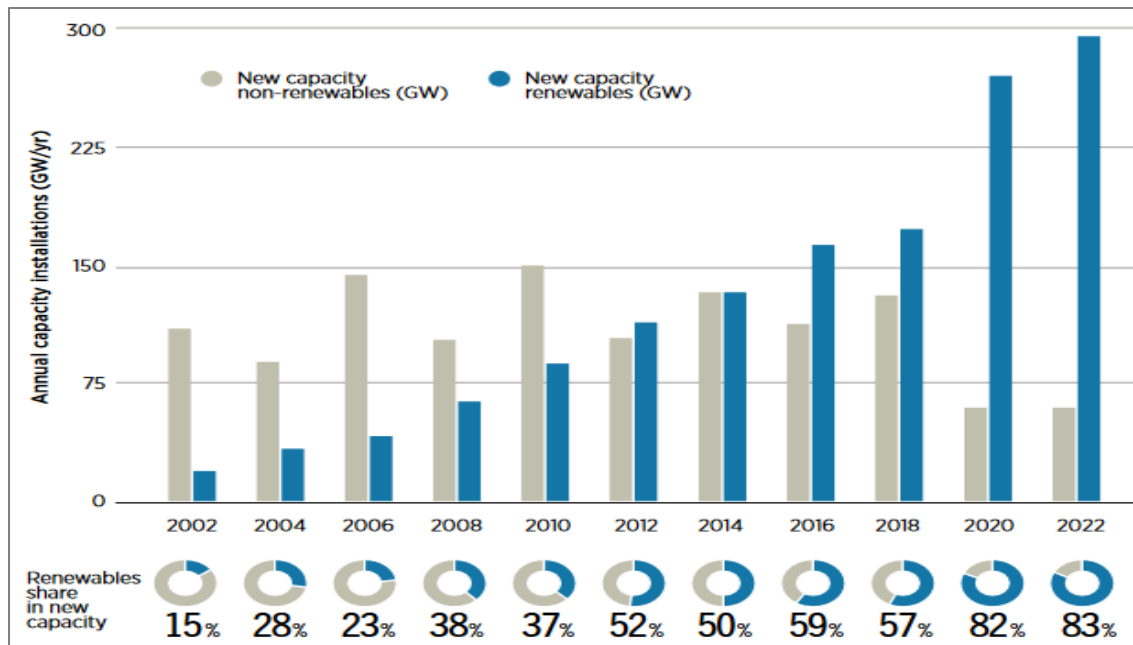
התשקיף לשנת 2050 מראה מגמה של תזוזה מאספקה של אנרגיה לאספקת חשמל, כך שאחוז הפקת החשמל והמימן ביחד בתמהיל האנרגיה יהיה פי שלושה מערכו כיום ויהפוך ל-30% מתמהיל האנרגיה ב-2030 ו-50% מתמהיל האנרגיה ב-2050. זאת, בעיקר הודות למיקוד באנרגיה מתחדשת ולמאמצים לצמצום הפליטות בכל שלבי ההפקה, האגירה וההולכה של החשמל<sup>22</sup>. עם זאת, המעבר לאנרגיה מתחדשת נמצא עדיין בשלב ההתנעה. כמו כן, רוב ההשקעות באנרגיה מתחדשת בשנים 2013-2020 היו מבוססות על השקעות של המגזר הפרטי ולא הציבורי (1,825 מיליון דולר מהמגזר הפרטי לעומת 607 מיליון דולר מהמגזר הציבורי). לכן, כדי להפחית פליטות ולעמוד ביעד לעלייה גלובלית ממוצעת בטמפרטורה של עד 1.5 מעלות צלסיוס בלבד, נדרשת השקעה משמעותית בהגדלה של ההספק המותקן בטכנולוגיות דלות-פליטות להפקת חשמל ואנרגיה<sup>23</sup>.

המעבר לאנרגיה מתחדשת מתבטא בעיקר בהספק המותקן בתשתיות החשמל ולכן הפקת האנרגיה ממקורות מתחדשים בשנים האחרונות מיושמת רובה ככולה בהפקת חשמל. היקף ההספק המותקן גדל בהדרגתיות משנת 2002 מהתקנה של כ-20 ג'יגה-ואט בשנה לכ-180 בשנה ב-2018, ואז בקפיצה חדה לכ-260 ו-290 ג'יגה-ואט בשנה ב-2020 ו-2022 בהתאמה. לפיכך, שיעור ההשקעה בהספק המותקן של אנרגיה מתחדשת עלה ל-83% ב-2022 לצד ירידה בהשקעה בהספק מותקן של אנרגיה מחצבית שנעה בין 150 ג'יגה-ואט בשנה ב-2010 ל-65 ג'יגה ואט בשנה (17% מכלל ההשקעה) ב-2022 (איור 2).

<sup>21</sup> Jones D, 2023. European Electricity Review 2023. EMBER [\[Link\]](#)

<sup>22</sup> McKinsey & Company: McKinsey Technology Trends - Outlook 2022, Future of clean energy [\[Link\]](#)

<sup>23</sup> IRENA and CPI (2023), Global landscape of renewable energy finance, 2023, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi [\[Link\]](#)



איור 2: ההשקעה בהספק מותקן [ג'יגה-ואט בשנה] ממקור מתחדש להפקת חשמל<sup>24</sup>

ככל ששלבי הפקת האנרגיה כוללים יותר המרות אנרגיה ממקור הדלק או האנרגיה ועד למוצר בו נעשה השימוש ע"י הצרכן, כך קטנה היעילות וגדלה העלות הישירה והסביבתית. יעילות הפקת האנרגיה משתנה גם ממתקן למתקן. המרות האנרגיה מגדילות את מספר התהליכים המעורבים בהפקת התוצר הסופי ובהתאם לכך גם את הפוטנציאל ליותר השפעות סביבתיות ולפליטות לאוויר, לקרקע, למים ולים. מספר המרות אנרגיה גדול קיים למשל בהפקת דלק נוזלי או גזי לתחבורה (המרת נפט או גז מחצבי לסינגז, ואז המרה וזיקוק לדלק נוזלי כדוגמת בנזין, ואז לאנרגיה לרכב).

לכן, **המעבר להפקת אנרגיה בת-קיימא והפחתת הפליטות דורש השוואת חלופות הכוללת את כל שלבי ההפקה ושרשרת האספקה**, החל מ-(1) הפחתת השימוש בדלק מחצבי ומעבר להפקה מאנרגיה מתחדשת, (2) הפחתה של המרות האנרגיה והתייעלות אנרגטית בכל שלבי ההפקה והשימוש, (3) אצירה ואחסון של פחמן שנפלט מכל התהליכים, גם לצורך הפקת מימן, ו-(4) חשמול תהליכים בהם לא ניתן לאצור פחמן. עקב כך, **ההשקעה הצפויה בטווח הקצר בתשתיות אנרגיה, עד 2030, היא בעיקר בהתייעלות אנרגטית ובמתקנים לאספקת אנרגיה (חשמל וחום) גם ממקור מתחדש וגם ממקור מחצבי**. בטווח הארוך, עד 2050, המיקוד עובר להתייעלות אנרגטית, כלכלה מעגלית והשקעה בחשמל מתחדש בלבד<sup>25 26 27</sup>.

<sup>24</sup> IRENA (2023), World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [\[link\]](#)

<sup>25</sup> Gielen D, Boshell F, Saygin D, Bazilian MD, Wagner N, Gorini R, 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. Energy Strategy Reviews, 24: 38-50 [\[link\]](#).

<sup>26</sup> McKinsey, 2022. Net-zero heat: Is it too hot to handle? [\[link\]](#)

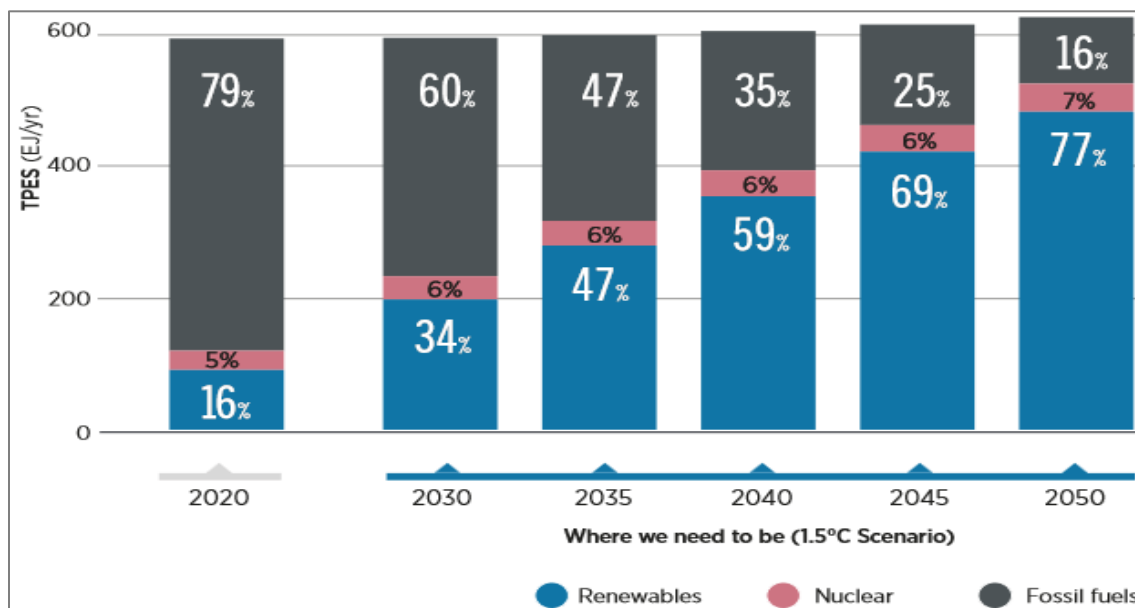
<sup>27</sup> IRENA (2023), World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi [\[link\]](#).

לפיכך, עד 2030 פחם וגז צפויים עדיין להיות חלק חשוב מתמהיל האנרגיה בעולם והשינוי במגמת ההשקעה בתשתיות מבוססות דלק מחצבי תהיה רק בשנים 2030-2050.

המגמות לשינוי בתמהיל הדלקים והתחזיות תלויות במאמץ להפחתת הפליטות בעולם, כמפורט בפרק הבא.

## 2.2 הצפי להפקת אנרגיה עד 2050

השינוי בתמהיל הדלקים<sup>28</sup> לאנרגיה תלוי בשיתוף הפעולה הבינלאומי להפחתת פליטות וצמצום ההשפעות של שינויי האקלים, ובפרט במאמץ לעמידה ביעד של עלייה של 1.5 מעלות צלסיוס בלבד. שיתוף פעולה פורה יאפשר את המהפך הרצוי לפיו אנרגיה מתחדשת תהווה את רוב הספק הייצור עד שנת 2050. עם זאת, ללא שיתופי פעולה – השינוי ייתכן ויימשך גם עד שנת 2090.<sup>29</sup> לפיכך, עמידה במטרות הפחתת הפליטות יאפשרו ב-2050 הפקה של 77% מהאנרגיה בעולם ממקור מתחדש כל שנה, לצד הפקת 16% מהאנרגיה מתשתיות של דלק מחצבי. שינוי זה יהווה היפוך של שיעורי ההפקה ב-2020 (איור 3).



איור 3: הצפי להפקת אנרגיה בעולם [אקסג'אול בשנה] לפי סוג מקור האנרגיה בתרחיש הפחתת הפליטות<sup>30</sup>  
(TPES=Total primary energy supply; EJ = exajoule; yr = year)

המגמות בשוק האנרגיה בעולם משקפות מעבר מהשימוש בדלק מחצבי למען הפקת אנרגיה (הכולל חום, חשמל ועוד) לשימוש במקורות אנרגיה מתחדשת למען הפקת חשמל. הצפי ל-2050 הוא ש-50% מהביקוש לאנרגיה יסופק ע"י אנרגיה מתחדשת ובפרט, 80-90% מהפקת החשמל בעולם תיעשה על-

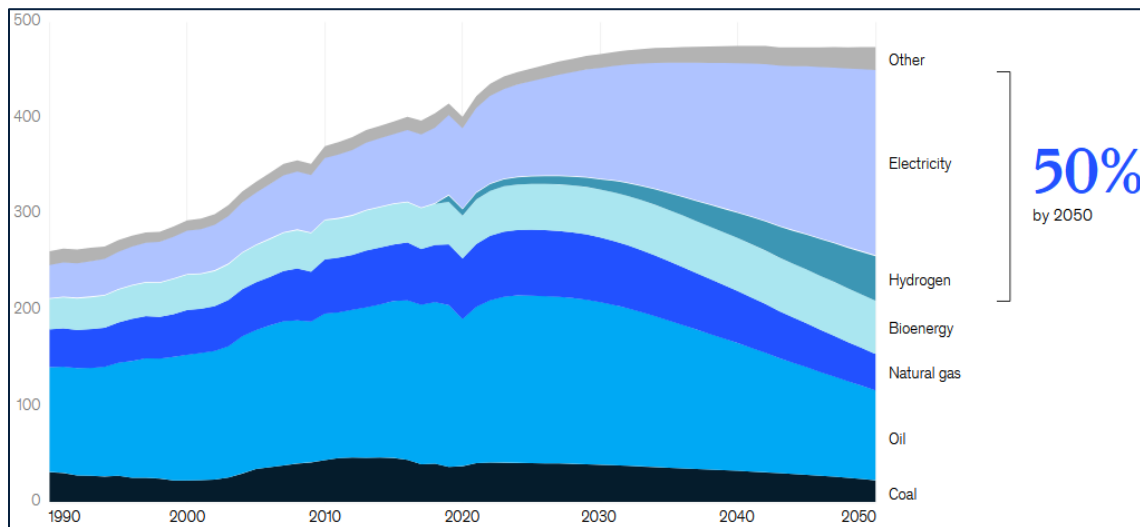
<sup>28</sup> המושג תמהיל-דלקים מתייחס לכלל מקורות האנרגיה להפקת חשמל או אנרגיה מכל סוג שהוא

<sup>29</sup> IEA, 2021. Net zero by 2050 [\[Link\]](#)

<sup>30</sup> IRENA (2023), World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi [\[Link\]](#)



ידי אנרגיה מתחדשת<sup>31</sup>, והטכנולוגיות העיקריות להפקה יהיו שמש ורוח לצד דלק מבוסס מימן. במקביל לגידול בהפקת חשמל ממקורות מתחדשים, תמהיל הדלקים להפקת אנרגיה (הכולל הפקת חשמל, חום ועוד) לשנת 2050 יכלול גידול של כ-7% בתחום המימן והדלק-מבוסס-המימן. השאיפה היא להגדיל את כמות המימן המופק ממים בשיטות בנות-קיימא ודלות בפליטות וכן צפויה עלייה בביקוש לדלקים סינטטיים<sup>32</sup>, ובכללם סינגז וביו-דלק, באופן שהטכנולוגיות לאספקה שלו צפויות להיות מבוססות ויעילות די הצורך לאספקה של 8-22% מתמהיל הדלק הנוזלי בשנת 2050 (איור 4).



איור 4: השינוי בתמהיל מקורות האנרגיה על פי הביקוש [מיליון טרה-ג'אול בשנה] ב-2050<sup>33</sup>

בעקבות המיקוד בהפקת חשמל ממתחדשות, צפוי לרדת בכ-40% הביקוש לדלק מחצבי כך שההספק הנדרש של דלק מחצבי יהווה ב-2050 כ-150 מיליוני טרה-ג'אול, בהשוואה לכ-250 מיליון טרה ג'אול ב-2023 (כ-50% מסך הדלקים). הצפי הוא שרוב האנרגיה ממקור מחצבי תסופק מגז מחצבי ונפט, בעוד הפחם יהווה את המקור הכי פחות נדרש<sup>34</sup>.

מבחינת תעסוקה, הצפי לשנת 2030 הוא שתהיה ירידה של כ-15% בתעסוקה בתחום הפקת מקורות האנרגיה המחצביים, בהשוואה לשנת 2019. כמו כן צפוי, שאחוז גדול יותר מהעוסקים בתחום יתמקדו בדלק-פלחמן או דל-פליטות, כלומר פחות מועסקים בתחום הפחם, הנפט והגז ויותר בתחום הדלק דל הפחמן וכריית מינרלים הכרחיים. בתחום הפקת החשמל צפויה עלייה של כ-70% בתעסוקה, ובעיקר גידול בתחום פיתוח רשתות החשמל והאגירה וייצור החשמל באנרגיה מתחדשת (פוטו-וולטאי ואחרים). זאת, בעיקר עקב הצפי לעלייה של כ-50% בצריכת החשמל על ידי משתמשי הקצה. כמו כן צפויה ירידה בתעסוקה בתחום התחבורה בייצור ותחזוקה של מנועים מבוססי דלק מחצבי ועלייה בתעסוקה בתחום הרכב החשמלי, הסוללות והטכנולוגיות להתייעלות אנרגטית בבניינים ובתעשייה.

<sup>31</sup> אחוזי השינוי דומים בתחזיות האנרגיה של McKinsey ושל IEA, בתרחיש הפחתת הפליטות (NZE=Net Zero Emission).

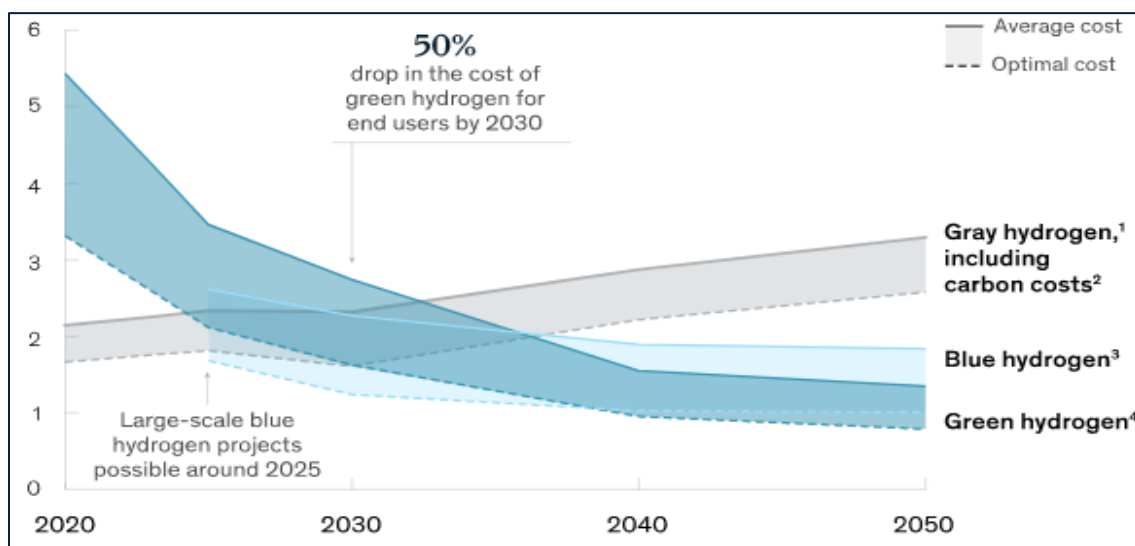
<sup>32</sup> המונח שנעשה בו שימוש עבור דלק נוזלי בר-קיימא הוא Synfuels, כלומר דלק סינטטי נוזלי או גז שמקורו בסינגז. סינגז הוא תערובת גזים של מימן ופחמן חד-חמצני והוא תוצר ביניים בייצור של גז מחצבי סינתטי ודלקים סינתטיים, כדוגמת מתנול.

<sup>33</sup> IEA (2023), Energy Technology Perspectives 2023, IEA, Paris, License: CC BY 4.0 [Link]

<sup>34</sup> McKinsey & Company: Global Energy Perspective 2022 - Executive Summary, April 2022 [Link]

מבחינת אגירת החשמל (בכל טכנולוגיה אפשרית), התחזית היא שיוקמו מתקנים קבועים לאגירה לטווח ארוך שייתמכו בכ-20% מהביקוש למתחדשות לצד מתקנים לאגירה לטווח קצר ובינוני שייתמכו בכ-80% מאספקת המתחדשות ב-2050. הולכת החשמל תהיה ברשת חכמה (Smart-grid) מבוססת מאגרי-מידע גדולים (Bigdata) ובמתקנים יעילים יותר לטעינה חשמלית לרכב, שיורידו את זמן הטעינה משעות לדקות ויפחיתו את העלות לפחות בחצי.

אחת מהטכנולוגיות המרכזיות לאגירה בעתיד היא השימוש במימן, על כל סוגיו, ובפרט השאיפה היא לשימוש במימן ירוק, שתהליך הפקתו והשימוש בו דלים בפליטות. עם זאת, מחירו של מימן ירוק צפוי לרדת בכ-50% רק ב-2030, ואז יהפוך אטרקטיבי לשימוש בהשוואה למימן "כחול" ו"אפור", שמקורם מחצבי (איור 5).



איור 5: עלות מימן ירוק [דולר לק"ג] בהשוואה למימן אפור וכחול<sup>35</sup>

מימן ניתן להפיק ממקורות שונים, שהם גם בעלי השפעות סביבתיות שונות; (1) מימן אפור, המהווה 93% מהמימן בעולם, שמופק בעיקר (73%) מגז מחצבי. תהליך הייצור שבו ממירים מתאן (מגז מחצבי או מביוגז) למימן ולפחמן דו חמצני (פד"ח) הוא מזהם ובעל טביעת רגל פחמנית גבוהה. מקור נוסף של מימן אפור הם תהליכי גזיפיקציה של פחם; (2) מימן כחול מופק גם הוא ממתאן, בתהליך זה למימן האפור עם שינוי מהותי אחד – שילוב טכניקות ללכידת הפחמן מהתהליך והטמנתו באדמה כדי להפוך את הפקת האנרגיה ממימן לדלה או נטולת פליטות לאוויר. הפקת המימן האפור ופיצול הגז למימן ופד"ח נעשה על ידי חשיפתו ללחץ אדים וחום גבוה. התהליך יוצר כמויות גדולות של פד"ח (כ-153 גרם של שווה-ערך פד"ח למגה-ג'אול אחד של אנרגיה ממימן אפור או כחול), שאת חלקן שואפים להטמין בשכבות גיאולוגיות בקרקע. עם זאת, אין לדעת מה השפעתה האקולוגית והסביבתית של הטמנת פחמן בסדר גודל נרחב כזה. כמו כן, **הטכניקה ללכידת פחמן והטמנתו נמצאת עדיין בשלבי פיתוח**<sup>36</sup>; (3) מימן ירוק המופק ממים, בהליך אלקטרוליזה של מים, המסתמך על אנרגיה ממקור מתחדש כמו אנרגיית שמש או רוח. תוצר הלוואי של מימן ירוק הוא חמצן בלבד אך הפקתו דורשת השקעה אנרגטית גבוהה

<sup>35</sup> McKinsey and Company, 2022. The clean hydrogen opportunity for hydrocarbon-rich countries [\[link\]](#)

<sup>36</sup> מוסד נאמן, 2018. בחינה השוואתית של חלופות לתפיסת פחמן בתהליכי ייצור דלקים מבוססי גז טבעי [\[קישור\]](#)

מאוד. בעולם ובישראל חסרה תשתית נרחבת מבוססת אנרגיה נקייה שתאפשר אגירת מימן ירוק<sup>37</sup>. יש לציין כי מוסד שמואל נאמן דן בעבר בסוגיית שילוב המימן במשק הישראלי<sup>38</sup>.

עם זאת, שינוי תמהיל הדלקים עד 2050 מחייב פתרונות לאתגרים רבים, כפי שמפרט הפרק הבא.

## 2.3 אתגרים במעבר לאנרגיה מתחדשת עד 2050

למרות התחזיות ל-2050, **נדרש שיפור משמעותי בקצב הקמת מתקני האנרגיה המתחדשת כדי לעמוד ביעדים** לשנת 2030. באירופה, שהתקינה בעשור האחרון כ-14 ג'יגה-ואט בשנה נדרש קצב מהיר פי 4 כדי להתקין 50 ג'יגה-ואט בשנה. שיפור דומה נדרש גם באוסטרליה ובארה"ב. באזורים אחרים כדוגמת המזרח התיכון, הודו ואפריקה נדרש שיפור גדול אף יותר והאצה של פי 7 עד 11 בקצב הקמת מתקני אנרגיה מתחדשת בהשוואה למצב הקיים כדי לסגור את הפער<sup>39</sup>.

אופן וקצב היישום של מגמת המעבר לאנרגיה מתחדשת שונה בכל מדינה ותלוי בזמינות ההון הנדרש להשקעה בתחום האנרגיה, בהיקף השימוש כיום באנרגיה ממקור מחצבי, ובפוטנציאל הפיזי להפקת אנרגיה ממקור מחצבי או מתחדש כדוגמת שמש ורוח. כך למשל, ספקיות אנרגיה או מדינות בעלות מחצבי טבע כדוגמת אוסטרליה, ערב-הסעודית וארה"ב כנראה ימשיכו לייצר דלק ממקור מחצבי כל עוד יהיה בו שימוש. עם זאת, הודות להכנסות מייצור אנרגיה והפקת מינרלים והודות לתמ"ג גבוה, יש ביכולתן להחליט איך לשנות את תמהיל האנרגיה בארצן בהתאם לזמינות משאבי השמש, המים והרוח. לעומתן, ארצות אפריקה ודרום אמריקה חסרות לעיתים הן את ההון הנדרש והן את משאבי הטבע המתחדשים כדי לייצר שינוי בתמהיל האנרגיה.

**אתגר נוסף במעבר לאנרגיה ממקור מתחדש היא הדרישה הגוברת לכריית מחצבים** שהם קריטיים לתהליכי הייצור של תשתיות האנרגיה (בפרט סולארי ואגירה). לחילופין, נדרשת חדשנות והמצאת תחליפים הולמים למחצבים כגון נחושת, קובלט ומנגן, כחלק מהפיתוחים הטכנולוגיים העתידיים. המעבר למתקנים של אנרגיה מתחדשת תלוי באספקת משאבי טבע נדירים שזמינותם הולכת ומצטמצמת ותלויה בעיקר במספר קטן של מדינות. כך, למשל, קובלט וליתיום נדרשים בייצור סוללות, בעוד נחושת וניקל נדרשים במתקני חשמול, ואת ארבעתם ניתן בעיקר לכרות בקונגו, אינדונזיה, צ'ילה ואוסטרליה (בהתאמה) לצד כמות גדולה שלהם שקיימת בסין<sup>40</sup>. שרשראות האספקה לייצור מקורות האנרגיה משתנים גם הם בהתאם לשינוי בטכנולוגיות הפקת האנרגיה. כך למשל לייצור פאנלים סולאריים או טורבינות רוח נדרשים בין היתר גם סיליקון, נחושת, אלומיניום, ברזל ופלדה, בטון וסיבי פחמן, בנוסף לאנרגיה שנדרשת בתהליכי הייצור שלהם. בדומה לכך, בתהליכי ייצור המימן נדרשים ניקל, זירקוניום, אירידיום, פלטנום וטיטניום לייצור האלקטרוליזר, וכן נחושת, פלדה ובטון לייצור מתקני האגירה של המימן. חומרים דומים נדרשים גם לייצור דלק פחמימיני סינטטי לתחבורה (נוזלי וגזי), תאי דלק או משאבות להפקת חום (heat-pump) שנדרש בתהליכי חימום או קירור.

<sup>37</sup> Howarth, RW, Jacobson, MZ, 2021. How green is blue hydrogen? Energy Sci Eng. 9: 1676–1687 [\[link\]](#)

<sup>38</sup> מוסד נאמן, 2021. שילוב מימן במשק האנרגיה - סיכום והמלצות דיון פורום אנרגיה 49 [\[קישור\]](#)

<sup>39</sup> IRENA (2023), World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi [\[link\]](#).

<sup>40</sup> IEA (2022), World Energy Outlook 2022, IEA, Paris (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A) [\[Link\]](#)

מבחינה טכנולוגית, ישנן כמה נקודות של אי-ודאות שיש לפתור לפני שיתאפשר ליישם את המעבר הנדרש לאנרגיה מתחדשת כך שתהפוך למקור אספקת חשמל מרכזי: **חשוב להפחית את העלויות ולהגדיל את היעילות וההספק של מתקנים להפקת אנרגיה מתחדשת, מימן ירוק וסוללות לאגירה**, וכן לספק פתרונות טכנולוגיים מוכחים (מעבר לשלב המחקר) של אגירה לטווח ארוך.

## 2.4 הפקת דלק נוזלי

דלק נוזלי מופק כיום בעיקר מנפט בבתי זיקוק ומשמש בעיקר בתחבורה ביבשה, בים ובאוויר. בשנים האחרונות השתנה מחיר הנפט בעקבות שינויים פוליטיים והמדיניות לעמידה ביעדי פליטות בעולם, דבר שמשפיע גם על המשך הצריכה של הנפט וגם על פיתוח תחליפים ומחיר השוק שלהם<sup>41</sup>.

מבחינת תחליפים, ניתן לייצר דלק נוזלי דל פחמן מביומסה. חומר הגלם שממנו ניתן להפיק דלק דל-פחמן מחולק לקבוצות על פי מאפייניו והדרכים להפקתו, כך שדלק מדור ראשון מבוסס על ביומסה שהפקתה דורשת גדול באדמה חקלאית (קנה סוכר, תירס וכד'), דלקים מדור שני מבוססים על פסולת ביומסה, דור שלישי מבוסס על ביומסה שאינה תלויה באדמה חקלאית ודלקים מהדור הרביעי מתבסס על תהליכים אנזימטיים מתקדמים.

היתרונות של הפקת דלק מביומסה הם שלכאורה חומר הגלם קיים ללא הגבלה ויש בו פחות מזהמים, גם בתהליך השריפה, לכן הסיכון לזיהום עקב ההפקה או השימוש בו נמוך יותר בהשוואה לנפט. דלק מדור ראשון (ביו-דלק) שמופק מביומסה שגדלה באדמות חקלאיות יוצר סיכון סביבתי עקב התחרות על משאבי הקרקע בין הפקת אנרגיה להפקת מזון, וכן עקב השינוי בשימוש במים, דשנים וחומרי הדברה, בשימושי הקרקע ובמערכות האקולוגיות. ביומסה אפשרית בהפקת ביו-דלק היא למשל שמן-דקל וסליקורניה (ממשפחת הסלקיים), זוחן ותירס למספוא, קנה-סוכר ולפתית, מיסקנתוס ופולי סויה, קש חיטה או אורז וג'טרופה (סוג של חלבלוב). חומר גלם לדוגמא שאין לו תלות באדמה חקלאית (דור שלישי) הוא אצות מהים, או שאריות ופסולת של ביומסה כמו גזם יערות, שאריות מזון ושמן ועוד. התועלת בשימוש בפסולת ו שאריות היא כפולה, גם בטיפול בפסולת וגם בייצור אנרגיה.

כיום, עיקר ההפקה של דלק סינטטי (נפט או קרוסין) היא בטכנולוגיית Fischer-Tropsch שניתן לשדרג כדי להמשיך ולהפיק דלק בעתיד, אך לא ניתן בשלב המחקר הנוכחי לאשר שהתוצר בתהליך המשודרג תתאים לכל השימושים הנדרשים, ולדלק סילוני בפרט. ייצור דלק סינטטי מנפט בטכנולוגיות קיימות יאפשר אספקה רק של חלק מהדרישה הצפויה לדלק סילוני ב-2050.

לכן, **דלק סילוני לתעופה יהווה גורם מרכזי בהתפתחות טכנולוגיות חלופיות בעתיד** ובמעבר לאנרגיה דלת פליטות ודלת-פחמן. דלק סילוני ניתן לייצר מנפט או מקונדנסט שנפלט בתהליך הפקת

<sup>41</sup> CREA, 2023. Insight: Weighed down oil prices support lowering the price cap on Russian oil [\[Link\]](#)

גז מחצבי<sup>42</sup>, כפי שנעשה כיום, או לחילופין בתהליך גזיפיקציה או הידרוליזה של חומר גלם חלופי, שאינו ממקור מחצבי ומופק בתהליך דל-פחמן<sup>43</sup>.

הפקת דלק סילוני מחומר-גלם שאינו ביולוגי (דור רביעי) מתבסס למשל על מים, חשמל משמש ורוח, או מפחמן (לרוב פד"ח, פחמן דו-חמצני שנפלט בתהליכים תעשייתיים ובתחבורה). שיטות ההפקה כוללות המרת חשמל לנוזל (power-to-liquid, PTL) או לגז (power-to-gas, PTG) שבהן מפרקים מים בעזרת האנרגיה לחמצן ומימן ולאחר מכן מחברים את החמצן שמתקבל עם פחמן (למשל עם פד"ח) להפקת ביו-דלק או סינגז (דלק נוזלי וגז, בהתאמה).

**טכנולוגיות אלה אמנם מפחיתות את רמת הפליטות ומאפשרות ייצור דלק סילוני בר-קיימא, אך הן עדיין נמצאות בשלבי מחקר ולא כדאיות כלכלית, כי עלות הפקת הדלק בעזרתן הוא גבוה בהשוואה לעלות הפקת דלק קונבנציונאלי.**

המגמות הצפויות לשימוש בסוגי הדלק השונים מפורטות בפרק הבא.

## 3. שימוש במקורות אנרגיה

השימוש בחשמל ובדלק כמקורות-אנרגיה כולל שימוש בתהליכי ייצור חשמל וחום, בתעשייה, בתחבורה ובמבנים (כולל חברות מסחר ותיירות, משקי בית ושימוש בבימוסה לבישול).

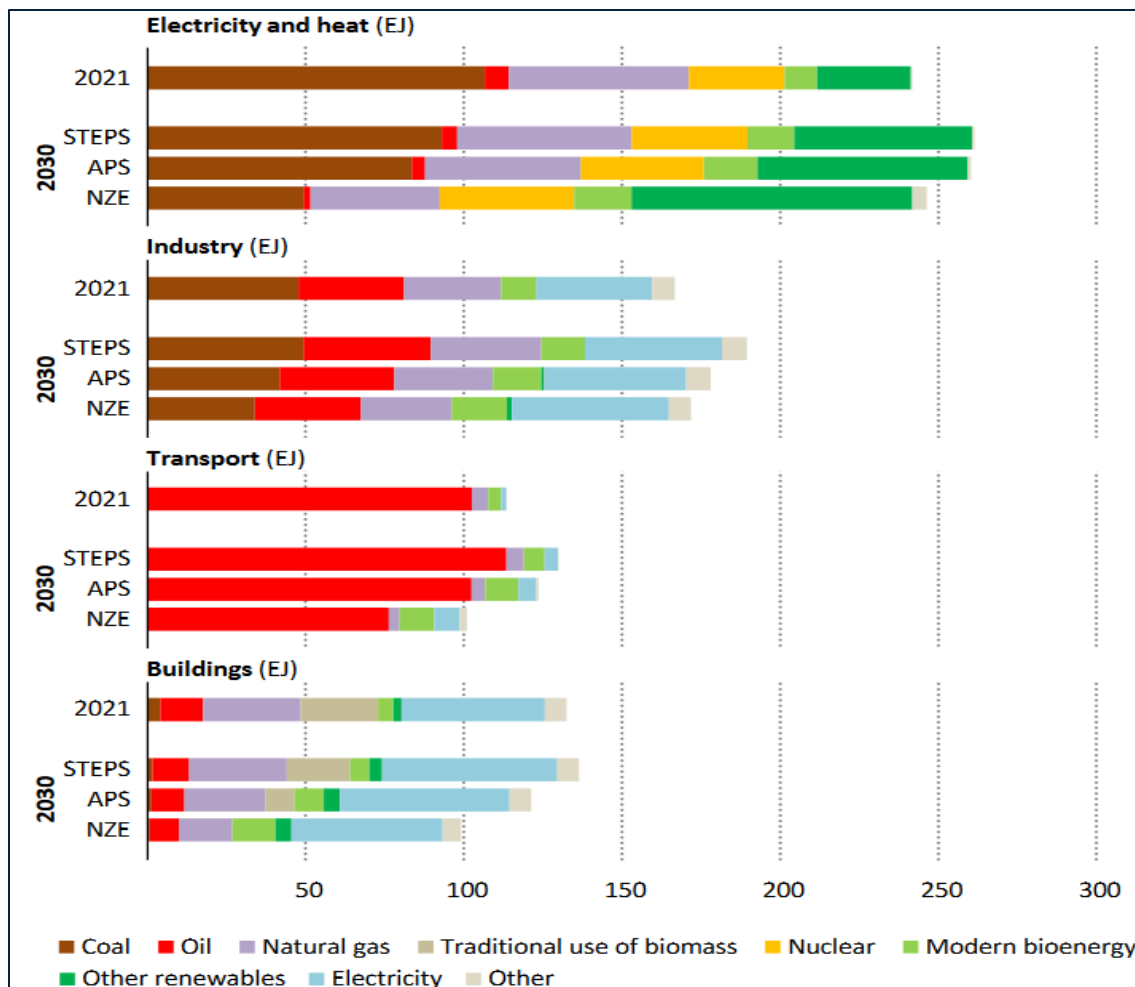
איור 6 מפרט את הצרכנים השונים לאנרגיה ואת מקורות האנרגיה שצפויים לענות על הביקוש, בשנים 2021 ו-2030 בשלושה תרחישים שונים של הערכות להפחתת פליטות גז"ח: בהתאם להכרזות על רגולציה - STEPS (Stated Policies Scenario), בהתאם להכרזה על מחויבות להפחתת פליטות - APS (Announced Pledges Scenario), ובהתאם למחויבות לאפס פליטות - NZE (Net Zero Emission).

בעוד שבעולם השימוש במשקי הבית הוא בעיקר בחשמל לצד שימושים נוספים בדלק נוזלי וגז לצרכי חימום ותחבורה, בתעשייה השימוש בדלק מחצבי (מוצק, נוזלי וגז) הוא נרחב ומתמקד בהפקת חום ובהנעת תהליכים תעשייתיים.

הביקוש כיום (2021) לאנרגיה הוא 31% להפקת חשמל, וכ-23% לכל אחד מהשימושים של תעשייה, תחבורה, ובניינים (חימום/קירור). השינוי ב-2030 תלוי, כאמור, בהשקעה וברגולציה תומכת.

<sup>42</sup> Kazerooni NM, Adib H, Sabet A, Adhmi MA, Adib M (2016). Toward an intelligent approach for H<sub>2</sub>S content and vapor pressure of sour condensate of south pars natural gas processing plant. Journal of Natural Gas Science and Engineering. Elsevier BV. 28: 365–371 [\[Link\]](#)

<sup>43</sup> Doliente SS, Narayan A, Tapia JFD, Samsatli NJ, Zhao Y and Samsatli S (2020) Bio-aviation Fuel: A Comprehensive Review and Analysis of the Supply Chain Components. Frontiers in Energy Research. 8:110 [\[link\]](#)



איור 6: הביקוש לאנרגיה [אקסג'אול] במגזרים השונים בשנת 2030<sup>44</sup>

### 3.1 שימוש בחשמל וחום

מלבד הפקת החשמל והדלק לתחבורה (ממקור מחצבי או מתחדש), קיים שימוש במקורות-אנרגיה גם בתהליכים תעשייתיים. במדינות אירופה, המעבר לדלק דל פחמן והפחתת הפליטות בענף ייצור החשמל מתקדם יותר בהשוואה לענף השימוש באנרגיה בתעשייה. המגמה בשנים 2005-2017 מראה ירידה בשימוש בדלק להפקת חשמל ובפליטות מתהליכי הפקת החשמל, מגמה שצפויה גם להימשך בשנים הקרובות. לעומת החשמל, בתעשייה ישנן מדינות בהן הייתה וצפויה גם בעתיד עלייה בשימוש בדלק ובפליטות מהתהליכים בתעשייה העושים שימוש בדלק<sup>45</sup>. כיום השימוש הישיר בחשמל (ללא המרה נוספת) מהווה רק 21% מכלל הביקוש לאנרגיה בעולם, והצפי הוא שהשימוש הישיר בחשמל ב-2050

<sup>44</sup> IEA. World Energy Outlook 2022 [\[Link\]](#)

<sup>45</sup> Vieira LC, Longo M, Mura M, 2021. Are the European manufacturing and energy sectors on track for achieving net-zero emissions in 2050? An empirical analysis. Energy Policy, 156: 112464 [\[link\]](#).

יגדל ל-50% מכלל השימוש באנרגיה. מגמה זו כבר החלה להיות מיושמת והיא צפויה להתקיים על פי התחזיות<sup>46</sup>.

מבחינת התעשייה, ובעיקר התעשייה עתירת האנרגיה כדוגמת בתי הזיקוק, אנרגיה מהווה כיום ותמשיך להוות מרכיב חשוב בעלויות הייצור. בתעשיית הזיקוק הייתה קפיצה בביקוש לאנרגיה ב-2021 עקב מגפת הקורונה והעלייה בביקוש למסכות, כפפות וחוצצים, וכך למשל בארה"ב הוכפלה (פי 2) הדרישה למוצרים פטרוכימיים כדוגמת פוליאטילן ופוליפרופילן<sup>47</sup>, המשמשים כחומרי גלם בתעשיית הפלסטיק. עם סיום המגפה, נצפית ירידה בביקוש מבחינת התעשייה לרמות ביקוש שהיו ידועות בשנת 2020 ובהתאם לכך, נראית גם ירידה ביבוא לתוצרים פטרוכימיים באירופה<sup>48</sup>. עם זאת, ב-2022 נצפתה לאחר סיום מגפת הקורונה עלייה בביקוש לזיקוק של דלק סילוני, עקב הגידול בביקוש לטיסות, כך שבארה"ב אף הוכפל מחירו של הדלק סילוני ב-2022 בהשוואה ל-2021<sup>49</sup>.

בנוסף, במקביל לעלייה בהכנסות בשנתיים האחרונות ובעקבות רגולציה בתחום המעבר לדלק נקי (decarbonization), חברות תעשייה ופטרוכימיה פרסמו התחייבות לייצור בר קיימא והחלה השקעה במיזמים לאצירת פחמן (carbon-capture), כלכלה מעגלית, פיתוח ביו-כימיקלים, ואנרגיה ממקור מתחדש. כל אחד ממיזמים אלה הוא בדרגה שונה של מוכנות טכנולוגית, זמינות הון ומשאבים ליישום, עמידה בדרישות שרשרת האספקה והבנת ההשפעות הסביבתיות בתהליכי הייצור. לכן, יהיה חשוב בעתיד הקרוב להתכנס לפתרונות עם טכנולוגיה מוכחת מכל הבחינות, כך שניתן יהיה על פיהן לבסס תחזיות אמינות לעתיד הרחוק.

עקב התלות באנרגיה, התחרותיות בין החברות בתעשייה תלויה באופן השימוש שלהן באנרגיה, החסכון באנרגיה והפחתת העלויות<sup>50</sup>. לכן, היעד לעבור עד 2050 לאנרגיה 'נקיה' דורש שינוי גם בתעשייה, הן מבחינת מקורות האנרגיה והן בהתייעלות הטכנולוגית לשימוש באנרגיה ולהפחתת הפליטות בתהליכים השונים ובכל שרשראות האספקה. אחת הסיבות להמשך התלות של התעשייה באנרגיה היא למשל העובדה שמקורות אנרגיה 'נקיה' וטכנולוגיות לאצירת פחמן לשימוש בתעשייה נמצאות עדיין בשלב הפיתוח ולכן לא ניתן יהיה ליישם בתעשייה בשנים הקרובות.

בתהליכים שצורכים אנרגיה ושקיים בהם קושי להפחית פליטות באמצעות המעבר לשימוש בחשמל ממקור מתחדש נבדק המעבר האפשרי לשימוש במימן ירוק כתחליף לדלק מחצבי. כך למשל בתעשייה הכבדה, בתעבורה הימית והאווירית ובתחבורה היבשתית הכבדה (משאיות וכדומה). בתהליכים שעושים שימוש באלקטרוליזה, הירידה בעלויות הפקת אנרגיה ממקורות מתחדשים והגידול בחדשנות בטכנולוגיית האלקטרוליזה הביאו את הפקת המימן הירוק (renewable hydrogen) לעלויות ייצור קרובות מאוד לאלה של מימן אפור, והכדאיות הכלכלית שלו עלתה בהשוואה לשימוש במימן ממקור מחצבי.

<sup>46</sup> IRENA (2022), World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi [\[link\]](#).

<sup>47</sup> Polyethylene (PE) and polypropylene (PP)

<sup>48</sup> McKinsey and Company, 2023. Chemicals Practice - Petrochemicals in 2022: A return to normalcy, with uncertainty ahead [\[Link\]](#).

<sup>49</sup> עלייה בביקוש לדלק סילוני [\[קישור\]](#)

<sup>50</sup> IEA (2023), Energy Technology Perspectives 2023, IEA, Paris, License: CC BY 4.0 [\[Link\]](#)

מלבד התעשייה הכבדה ובתי הזיקוק, הרגולציה מביאה לבחינה מחודשת של תהליכי הייצור ושרשראות האספקה. כך למשל, בתעשיית הרכב זוהה שימוש מוגבר באנרגיה בעיקר בתהליכים צורכי חום בשלבי הצביעה של כלי הרכב. ניתוח תהליכים, מקורות אנרגיה ופליטות מאפשר מציאת פתרונות להתייעלות אנרגטית ומעבר למקורות אנרגיה ברי קיימא שמתאימים לתהליכים בתעשיית הרכב<sup>51</sup>. תהליכים דומים מתרחשים בתעשיית המזון עתירת האנרגיה שבה מתמקדים בהפחתת המרות אנרגיה, כולל לחום/קור, הפחתת איבודי-אנרגיה (למשל, איבוד חום/קור בצנרת או בתהליך), מעבר לייצור אנרגיה מתחדשת המותאם לשימוש בתהליכי הייצור, למשל בדודי שמש לחימום מים, וכדומה<sup>52</sup>.

### 3.2 מגמות בביקוש לפחם

בעולם קיימות מגמות שונות להמשך הצריכה של פחם. השימוש העיקרי בפחם הוא להפקת חשמל ומשתנה בהתאם לרגולציה להפחתת פליטות. כמו כן, קיים שימוש בפחם בתעשייה להפקת חום, בעיקר בתעשיות המלט, הכימיקלים, הברזל והפלדה. השינוי בשימוש בפחם בתעשייה ובמעבר לאנרגיה ממקור מתחדש או שאינו מחצבי צפוי להיות אף איטי מזה שצפוי במשק החשמל, ותלוי בהשקעות בהתייעלות אנרגטית ובהפחתת פליטות בתעשייה<sup>53</sup>. בנוסף, קיים שימוש ביתי בפחם לבישול, שהפחתתו דורשת התערבות של רגולציה, כמו שנעשה לאחרונה באנגליה, בה נאסר השימוש בפחם לבישול<sup>54</sup>.

### 3.3 מגמות בביקוש לדלק נוזלי

תחזית הביקוש בעולם לדלק מחצבי נוזלי<sup>55</sup> לקראת שנת 2050 מראה עלייה בביקוש בטווח הקצר לפני ירידה שצפויה בין השנים 2025-2033, על פי תרחישים שונים של קצב החלת השינוי בתמהיל הדלקים והמעבר לדלק בר קיימא. הנחה זו ניתנה לפני משבר האנרגיה שנגרם עקב מלחמת אוקראינה ולכן העלייה בביקוש צפויה להיות אף גבוהה יותר מהתחזית.

הצרכן העיקרי לדלק מחצבי נוזלי הוא התחבורה היבשתית המהווה 40% מהביקוש (15.3 מיליון חביות ליום ב-2019) ולאחריה הפקת הכימיקלים 20% וענפי התעשייה והבניין שכל אחד מהם מהווה כ-10% מהביקוש. התחבורה הימית והאווירית מהוות כל אחת 5% נוספים מהביקוש והפקת החשמל מדלק נוזלי כ-3% בלבד. כלל הצריכה צפויה לרדת בשנת 2040 בכ-19% ובשנת 2050 בכ-38% (איור 7).

<sup>51</sup> Giampieri A, Ling-Chin J, Ma Z, Smallbone A, Roskilly AP, 2020. A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. Applied Energy, 261:114074

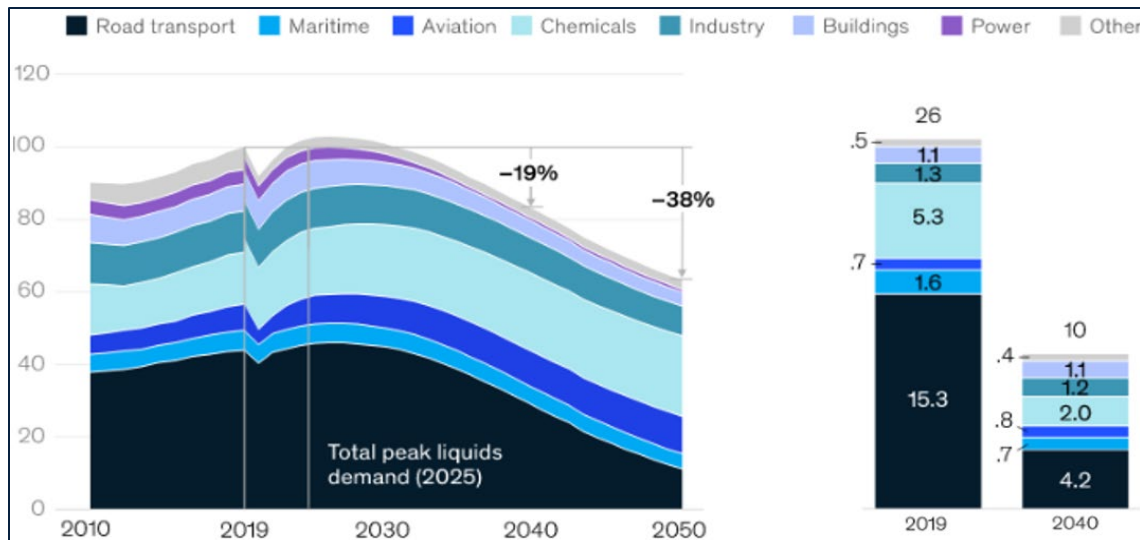
<sup>52</sup> Cameron I, Lopez A, Yule A, 2021. Decarbonisation road map for the European food and drink manufacturing sector. Ricardo Energy & Environment [\[link\]](#).

<sup>53</sup> IRENA (2023), World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi [\[Link\]](#)

<sup>54</sup> DEFRA (2022), Selling coal for domestic use in England", GOV.UK [\[link\]](#)

<sup>55</sup> מדובר בעיקר בנפט מזוקק או ביו-דלק





איור 7: גידול בביקוש לדלק נוזלי [מיליון חביות ביום] בטווח הקצר בתחום התחבורה<sup>56</sup>

תרחישי השינוי התבססו על שלוש תחזיות המשקפות קצב הפחתה שונה בשימוש בדלק מחצבי וייצור פלסטיק, בהתאם לקצב המעבר לרכב חשמלי וליישום כלכלה מעגלית ומחזור של פלסטיק. על פי תרחישים אלה בשנת 2050 צפויה הפחתה של כ-15%-5 בביקוש לדלק מחצבי נוזלי בתחבורה היבשתית ובהפקת החשמל, אך לא צפויה הפחתה בכל שאר המגזרים.

ההפחתה בשימוש שהתחילה בשנים האחרונות תימשך הודות להתייעלות בצריכת הבנזין בכלי רכב עם מנוע-בערה פנימית<sup>57</sup>, וכן הודות למעבר לרכב ורכבת היברידיים ולרכב חשמלי, ובכללם רכב מבוסס סוללה, הטענה חשמלית ותאי-דלק. בהתאם לתרחיש ללא פליטות (NZE), החל ב-2035 לא יימכר יותר רכב עם מנוע-בנזין. כלי הרכב שיישאו יוכלו לצרוך דלק דל-פחמן, שמקורו בעיבוד של פד"ח או ביומסה. עם זאת, חסר עדיין פתרון לדלק סילוני בר-קיימא ומחירו של דלק דל-פחמן צפוי להישאר גבוה בהשוואה לדלק קונבנציונאלי.

בנוסף לשינוי בתחום הרכב, תעשיות הזיקוק עומדות באתגרים חדשים של רגולציה להפחתת פליטות, מתחרות בביו-דלק למיניו וכן המעבר של תעשיות שעשו שימוש בדלק מזוקק לשימוש בגז שלא דורש זיקוק. כתוצאה מהשינוי בטווח הקצר, מסתמן שבעשור הבא חברות במגזר הזיקוק וההובלה צפויות לעמוד בפני ירידה בביקוש לדלק מזוקק, החמרה בתקנות הסביבתיות, ירידה בתפוקת בתי הזיקוק, והכנסות נמוכות יותר<sup>58</sup>. כך למשל, דלק סילוני יוחלף בביו-דלק, זפת ואספלט כבישים יוחלפו בבטון דל-בפליטות ומימן אפור וכחול יוחלפו במימן ירוק מבוסס הידרוליזה<sup>59</sup>.

<sup>56</sup> McKinsey & Company: Ding S, Ferro A, Fitzgibbon T, Szabat P, 2022. Oil & Gas Practice: Refining in the energy transition through 2040. [\[Link\]](#)

<sup>57</sup> המינוח לרכב-בנזין הוא ICE – Internal combustion engine

<sup>58</sup> Deloitte Touche Insights, Building resilience in refining, 26 October 2020 [\[link\]](#)

<sup>59</sup> Gordon D and Acharya M, 2018. Oil Shake-Up: Refining Transitions in a Low-Carbon Economy, Carnegie Endowment for International Peace.

בתי הזיקוק בעולם, בניסיון למצב את עסקיהם למול האתגרים, שוקלים מעבר לשווקים מתפתחים חלופיים. המסלולים שייבחרו יהיו שונים עבור כל חברה, והמגמות המרכזיות באבולוציית בתי הזיקוק יכללו –

1. הסבת תשתיות לשימוש כמסופי יבוא לשיווק מקומי של מוצרי נפט, בעיקר בבתי זיקוק עם קיבולת קטנה יותר שבהם תופסק פעילות זיקוק נפט גולמי;
2. מיזוג פרקציות ביולוגיות בתהליכי ייצור דלקים כגון ביו-דיזל ודלק סילוני, כמענה לדרישות רגולטוריות חדשות להפחתת טביעת הרגל הפחמנית של מוצרי נפט ובציפייה לתמריצים ממשלתיים והקלות מס בעבור הגדלת השימוש במרכיבים ממקורות מתחדשים בדלק לתחבורה;
3. שילוב תהליך הזיקוק עם ייצור חומרי גלם למוצרים פטרוכימיים, בעיקר בבתי זיקוק גדולים יותר, שמייצרים מעל 200,000 חביות ליום. המרות כאלה עשויות להפחית את טביעת הרגל הפחמנית של מוצרים פטרוכימיים כתוצאה מעיבוד ישיר של נפט גולמי לכימיקלים;
4. שימוש באתר הזיקוק כמוקד לבחינה בשטח של טכנולוגיות חדשות ויעילות יותר לייצור דלק לתחבורה תוך שימת דגש על מעבר לדלקים מתחדשים ושיטות חדשות לייצור מימן ירוק<sup>60</sup> <sup>61</sup>.

---

<sup>60</sup> Honeywell, Refinery of the Future [\[link\]](#)

<sup>61</sup> IEA, The Future of Petrochemicals, October 2018 [\[link\]](#)

## 4. המגמות והאתגרים בישראל

בשנת 2040 צפויה אוכלוסיית ישראל להגיע לכ-14 מיליון איש ולהכפיל את צריכת החשמל בהשוואה לשנת 2020. לקראת כינוס ועידת האקלים בגלזגו בשלהי 2021, הצהירה ישראל על יעד לאומי של איפוס פליטות גזי חממה עד שנת 2050. המשמעות היא שבעשורים הקרובים גז מחצבי יהיה אנרגיית מעבר עד לשימוש באנרגיות מתחדשות והוא ישמש תחלופה זולה ונקייה יחסית לשימוש בפחם בייצור חשמל<sup>62</sup>. באוקטובר 2020 החליטה ממשלת ישראל להגדיל את היעד לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשנת 2030 ל-30%, עם יעד ביניים של 20% בשנת 2025 (טבלה 1)<sup>63</sup>.

כיום אנרגיה מתחדשת מהווה 10% מייצור החשמל בישראל, כאשר 70% מופק מגז ו-20% מפחם. האנרגיה המתחדשת היא ברובה אנרגיה סולארית (מתקנים פוטו-וולטאיים קרקעיים ובדו-שימוש על גגות או חקלאות, ומתקנים תרמו סולאריים). מבחינת ההספק המותקן<sup>64</sup>, אנרגיה מתחדשת מהווה 21% מההספק המותקן בישראל ובשנים האחרונות הואץ קצב ההתקנה.

טבלה 1: יעדי משרד האנרגיה והתחבורה לשנת 2050 בתחום החשמל והתחבורה

יעדים ראשיים	מדד	2018	יעד 2030	יעד 2050
<b>הפחתת פליטות גזי חממה במשק האנרגיה</b>	% הפחתת פליטות יחסית ל-2015	0%	22%	80%
<b>הפחתת פליטות גזי חממה במגזר החשמל</b>	% הפחתת פליטות יחסית ל-2015	7.5%	30%	75-85%
<b>יעילות באנרגיה בחשמל ותעשייה</b>	% שיפור שנתי בעצמות אנרגיה (טרה-ואט/מלש"ח)	0.7%	1.3% לשנה	1.3% לשנה
<b>שימוש בפחם</b>	% פחם בתמהיל לייצור חשמל ואנרגיה	30%	0%	0%
<b>כלי רכב מאופס פליטות</b>	% כלי רכב מסך מצבת הרכב	0%	25% לרכב קל 10% למשאיות	100%
<b>יעילות באנרגיה בתחבורה</b>	צריכת אנרגיה בתחבורה לתושב לשנה (MWh/capita)	7.7%	6-7	2-3
<b>הפחתת פליטות גזי חממה שמקורן בתחבורה</b>	הפחתה ביחס ל-2015	0	11%	94%

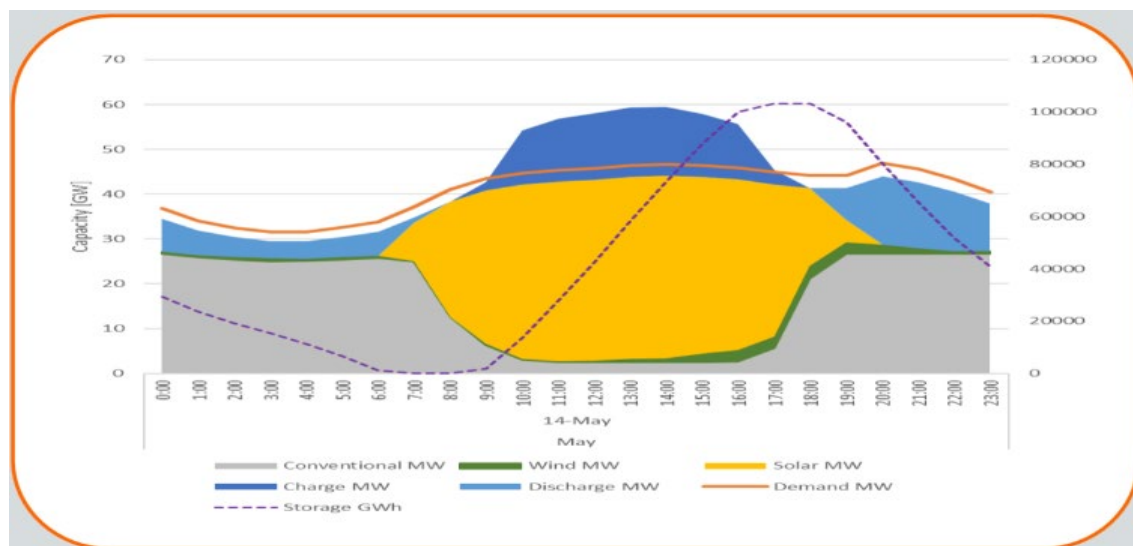
<sup>62</sup> הכנסת, 2023. השפעת השימוש בפחם על משק החשמל ותעריף החשמל [קישור].

<sup>63</sup> משרד האנרגיה, 2021. מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050 [קישור].

<sup>64</sup> הספק מותקן הוא ההספק המקסימלי שניתן לייצר ממערכת מותקנת. הספק הייצור הוא ההספק המופעל בפועל בכל שעה, בהתאם לתנאי השמש והרוח. הספק הייצור המקסימלי בכל מערכת הוא ההספק המותקן בהתאם ליעילות האנרגטית של המערכת.

## מודלים בישראל מאתגרים את תחזיות משרד האנרגיה וטוענים שכבר בשנת 2030 אנרגיה ממקור מתחדש תוכל לתת מענה ל-50% מהביקוש הצפוי לחשמל, ולכ-95% מהביקוש ב-2050.<sup>65</sup>

זאת, אם תשכיל ישראל להתקין מערכות פוטו-וולטאיות בהספק של כ-115 ג'יגה-וואט (GW), ולהקים מערכות לאגירת חשמל בקיבולת של כ-320 ג'יגה-וואט-שעה (GWh). המפתח הוא בייצור חשמל סולארי בעודף על הביקוש, בשעות בהן זה מתאפשר, ואגירת החשמל לשימוש בשעות בהן לא ניתן לייצר חשמל סולארי. איור 8 מראה איך ניתן להשלים את אספקת האנרגיה משמש בעזרת אגירה מעודפים במהלך שעות הייצור משמש ביום ושחרור העודפים לרשת בשעות החוסר, בלילה.



איור 8: סימולציה שעתית ליום אופייני, מודל האנרגיה, משרד האנרגיה<sup>66</sup>

שתי שאלות מרכזיות עולות מול הצורך לעבור לאנרגיות מתחדשות: ההיתכנות הטכנית, בפרט מול מגבלות רשת ההולכה הקיימת בישראל, והסוגייה הכלכלית. מבחינת ההיתכנות הטכנית, טבלה 2 מציגה נוסחה אפשרית להפקת 95% מהביקוש לחשמל בישראל באמצעות אנרגיה פוטו-וולטאית, עם התקנת פאנלים על מבנים למגורים ולתעסוקה, במרחב העירוני והכפרי, כולל שדות סולאריים באדמות שאין להן שימוש אחר. מבחינה כלכלית, על פי הערכות של ירום אריאב<sup>67</sup>, הפרויקט להאצת היישום והעמידה ביעד של 50% חשמל סולארי בשנת 2030, כמו ברבות מהמדינות המתוקנות בעולם, הוא אכן יעד מאתגר, אך שכרו בצידו: זהו פרויקט כדאי כלכלית מנקודת הראות של המשק הלאומי. אריאב קובע כי האצת הפרויקט וקביעת יעד של 50% חשמל מאנרגיות מתחדשות, לעומת יעד של 30% בשנת 2030, כמעט ואינה כרוכה בהשקעות ממשלתיות, וניתן לאמץ יעד של 50% ייצור חשמל סולארי כמעט ללא עלות נוספת למשק<sup>68</sup>.

<sup>65</sup> חשוב לשים לב שמודלים של NZO עד שנת 2021 לא לקחו בחשבון את עלויות האגירה, טעות שתוקנה בדוחות משנת 2022 והלאה והראו שהתוצאות מהעבר נכונות גם עם הכללת עלויות האגירה.

<sup>66</sup> משרד האנרגיה, 2021. מפת הדרכים למשק אנרגיה זל פחמן עד שנת 2050 [קישור]

<sup>67</sup> ירום אריאב – פרופיל במשרד האוצר [קישור]

<sup>68</sup> השל, פרויקט NZO-בחינה כלכלית של האצת המעבר לאנרגיה סולארית [קישור]

טבלה 2: תמהיל ייצור החשמל ממקורות מתחדשים ב-2050<sup>69</sup>

2050	2030	2021	סוג שטח / שנים
42,576	13,174	9,068	מבנים למגורים ותעסוקה
24,591	9,276	7,924	תכסית במרחב העירוני
41,937	9,052	4,859	תכסית במרחב הכפרי
5,897	3,071	0	שדות סולאריים קרקעיים
<b>115,000</b>	<b>34,573</b>	<b>21,851</b>	<b>סה"כ</b>
195.5	58.8	37.1	ייצור שנתי ב-TWh
95%	60%	50%	אחוז מהביקוש השנתי לחשמל

מבחינת הצורך באגירה, אחת הגישות המובילות לאגירת חשמל בת קיימא היא אגירה כימית של עודפי חשמל ממקור מתחדש באמצעות אלקטרוליזה (שימוש בחשמל) לייצור מימן. תהליך שריפת המימן בזמן שחרור האנרגיה לשימוש הינו תהליך נקי המפיק חום רב ומים בלבד כתוצר לוואי. אפשרות אחרת היא ניצול המימן בתאי דלק, הממירים אותו ישירות לחשמל בנצילות גבוהה, כך שהוא מוכן לשימוש.

לכן המימן נחשב לדלק נקי ולאופציה אפשרית לאגירה והפקת חשמל בעתיד מופחת פליטות. אולם כיום, בישראל ובעולם בכלל, רובו המוחלט של המימן מופק מדלק מחצבי תוך פליטה משמעותית של פד"ח ("מימן אפור") שלא יכול להוות בסיס לכלכלה דלת פליטות עתידית. את המימן ניתן לאגור ולהזין לטורבינות ייעודיות לייצור חשמל (טורבינות הדומות לטורבינות גז עם שינויים מסוימים) לתנורים תעשייתיים כחלופה לדלקים מזהמים, או לתאי דלק, ההופכים מימן וחמצן למים תוך כדי ייצור חשמל.

במקביל לפעילות ולתוכניות ביבשה ובהתאם ליעדים להפחתת פליטות במשק האנרגיה עד 2050, משרד האנרגיה נערך לביצוע סקר אסטרטגי סביבתי במים הכלכליים של ישראל<sup>70</sup>. הסקר נועד לבחון את האפשרות לייצור ולאגירה של אנרגיה מתחדשת וקיבוע פחמן במרחב הימי של ישראל בים התיכון. זאת, במטרה לבחון היבטים טכנו-כלכליים של ייצור ואגירה של אנרגיה מתחדשת וקיבוע פחמן בים, וכן היבטים סביבתיים, ציבוריים ותכנוניים<sup>71</sup>.

סקר האסטרטגי הסביבתי שיבוצע, יבחן את כלל השיקולים הרלבנטיים, תוך איסוף נתונים וניתוח מידע שעל בסיסו יתקבלו החלטות בנושא. עם הנושאים הללו ניתן למנות בנתונים כמו מהירות הרוח, גובה הגלים, עוצמת הזרימה, מסלולי נדידה של עופות ויונקים ימיים, בתי גידול, ונראות של מתקנים בקו האופק. המשרד בוחן בנוסף גם פיתוח רגולציה, שתאפשר הקצאת שטחים במים הכלכליים לצרכי פיתוח האנרגיה המתחדשת, האגירה וקיבוע הפחמן.

**חשוב לציין, התוכנית בישראל מתמקדת בהפקת חשמל בפרט ולא בהפקת אנרגיה בכלל, כפי שנעשה בעולם. ישנה התייחסות מסוימת בתוכניות של מדינת ישראל לנושא חישמול (בעיקר של**

<sup>69</sup> בן נחום י וסגל א. 2022. מעבר מואץ למשק מבוסס אנרגיות ממקורות מתחדשים – אפשרי וכלכלי. אקולוגיה וסביבה 13(3):

87-88. [קישור]

<sup>70</sup> Bizportal, 2022. האם בקרוב נחזה בייצור חשמל מאנרגיות רוח במים הכלכליים של ישראל [קישור]

<sup>71</sup> מסמך מדיניות למרחב הימי של ישראל - ים תיכון (2016). דוח שלב א'-סקירה וניתוח מצב קיים, כרך ב'-אטלס המפות

[קישור]

**כלי רכב פרטיים והרכבת) וכן התייחסות לנושא התחבורה הציבורית. אולם, חסרה התייחסות לדלק נזולי/גזי לתחבורה יבשתית, ימית ואווירית וחדשנות בתחום הביו-דלק.**

## 4.1 השימוש בגז ופחם

הגז המחצבי משמש מקור אנרגיה בתחנות כוח, במתקני התפלה, במפעלי תעשייה ובבתי חולים, כמו כן הוא חומר גלם לתעשיות הכימית והפטרוכימית (למשל חיפה כימיקלים) וחומר לתדלוק כלי רכב. בשל מחירו הנמוך יחסית ויעילותו האנרגטית בהשוואה לפחם למשל, התעשייה ומשק החשמל בישראל מסבים את מערכי הייצור לגז מחצבי, בעידודה של ממשלת ישראל. ב-2019 הגיע שיעור האנרגיה המופק מגז במשק הישראלי לכ-34% וייצור החשמל המופק מגז לכ-64%.

מהממצאים ניתן ללמוד שהושגו חלק מהמטרות שלשמן גובש מתווה הגז. פותחו שלושה מאגרי גז, ההחזקה הצולבת של המפעיל במאגרי "תמר" ו"לוויתן" צומצמה למתחייב במתווה ומפעיל נוסף יתחיל לספק גז למשק. בכך תקטן הריכוזיות ותשתפר במידה רבה היתירות במשק הגז. בשנים האחרונות גדלה צריכת הגז במשק המקומי, וצפויה להיווצר תחרות נוספת בענף עם תחילת הזרמת הגז מהמאגרים "כריש" ו"תנין" והפעלת ה"מכר בנפרד" ממאגר "תמר". כמו כן, נחתמו חוזי ייצוא גז למדינות סמוכות בהיקפים של מיליארדי דולרים ושופר מעמדה האסטרטגי של מדינת ישראל באזור. כמו כן, בקרן העושר נאסף כסף שאמור להיות מושקע במיזמים למען דור העתיד. הכסף יושקע ותשואת הקרן תעבור לתקציב המדינה למטרות חברתיות, כלכליות, סביבתיות וחינוכיות, על פי הצעות שתגיש הממשלה<sup>72</sup>.

ההשלכות עקב גילוי מרבצי הגז בים כוללות בטווח הקצר (1) יצירת הרגשה של ביטחון אנרגטי לאומי, (2) יצירת מקור הכנסות יציב לקופת המדינה, (3) חיזוק התחרותיות של ענפי תעשייה עתירי אנרגיה, ו- (4) פתיחה לכאורה של אפשרויות למגוון תחומי ייצור המתבססים על מקור אנרגיה זול<sup>73</sup>. עם זאת, בטווח הארוך תתכן פגיעה משמעותית בביטחון האנרגטי עקב דחיית ההשקעה במתחדשות וההסתמכות על מקור אנרגיה מתכלה.

נכון לשנת 2020, מרבית ההפקה השנתית ממאגר "תמר", כ-94% מסך ההפקה, נמכרה לשוק המקומי והיתרה, כ-6%, נמכרה למצרים ולירדן. עד יולי 2020 הייצוא היה רק לירדן והוא עלה מיולי 2020 בעקבות תחילת הייצוא למצרים. לעומת זאת, במאגר "לוויתן" כ-52% מסך ההפקה השנתית נמכרה לייצוא למצרים ולירדן, והיתרה, כ-48% נמכרה בשוק המקומי. בהתאם להסכם לווייתן משנת 2019, לחח"י אין חובה לרכוש כמות מינימלית כלשהי של גז מהמתקן, ובהתאם, מחזיקי הזכויות "לוויתן" אינם מחויבים לשמור נפח קיבולת להזרמת גז בצורתם כדי לספק לחח"י גז מכוח ההסכם<sup>44</sup>.

הביקוש לגז דורש רשת הובלה אל הצרכנים ומערכת ההולכה הארצית של נתיבי הגז (נתג"ז) לישראל הינה עורק הזרימה הראשי של הגז במדינה. שתי תחנות קבלת גז מהספקים הוקמו באשדוד וסמוך לחוף דור, מהן זורם הגז בצינורות רחבי קוטר ובלחץ גבוה ל"צמתים מרכזיים" להפחתת הלחץ ואספקה לצרכנים. מצופי ימי לקליטת גז מחצבי מאניות LNG מגזזות מוקם כעשרה קילומטרים מערבית לחופי

<sup>72</sup> מבקר המדינה, 2021. דוח ביקורת שנתי 72 א – חלק שני. משרד האנרגיה - התועלות מיישום מתווה הגז [קישור].  
<sup>73</sup> פורטונה גלעד, ניב יובל, דיין תמר. התעשייה הישראלית מאז הקמת המדינה – עבר, הווה ועתיד חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2020 [קישור].

חדרה (היה פעיל מינואר 2013 עד 2022), וחובר באמצעות קו ימי למערכת ההולכה הארצית. כ-800 ק"מ של צנרת תת קרקעית להולכת הגז נפרסה, כולל יצוא לירדן ולמצריים.

כיום כ-70% מהחשמל בארץ מופק באמצעות גז שמוליכה נתג"ז אל שבע תחנות הכוח הגדולות של חברת החשמל (פרט לתחנות הפחמיות) ואל יצרני חשמל פרטיים דוגמת דוראד, דליה, OPC (רותם וחדרה), אדלטק (רמת נגב אנרגיה, אשדוד אנרגיה), ת"כ אורות יוסף, רפק (שורק, אשקלון, אלון תבור, רמת גבריאלי), IPM באר טוביה, ת"כ אלון מרכזי אנרגיה ות"כ MRC. בנוסף, נתג"ז מוליכה גז אל מפעלי תעשייה מהגדולים בישראל, הממוקמים במפרץ חיפה, ברמת חובב, במישור רותם ובמקומות נוספים: בזן, פז"א, חיפה כימיקלים, אדמה מכתשים, אדמה אגן, מפעלי ים המלח ועוד<sup>74</sup>.

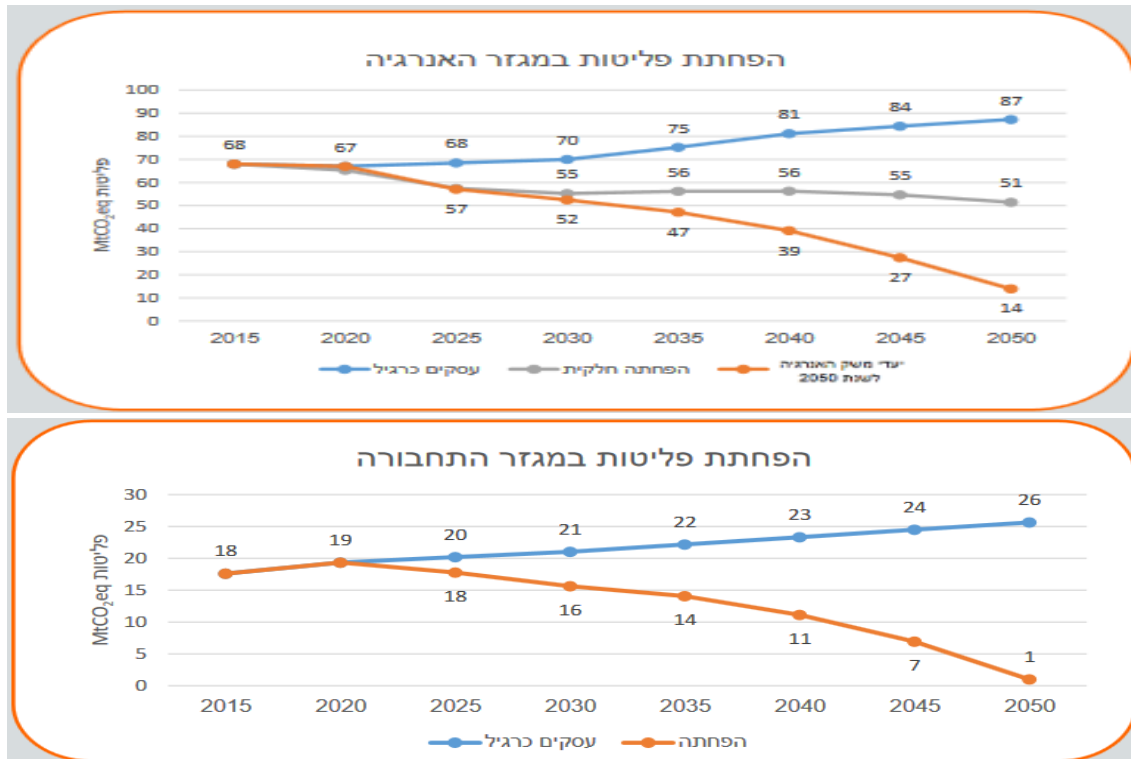
**האתגר** המרכזי מבחינה כלכלית וסביבתית הוא במעבר מהפקת חשמל בפחם להפקה מגז ואז במעבר מגז למתחדשות. בחודש יוני 2022 תוכנן להפסיק את פעילותן של יחידות 1-4 באורות רבין ובמקומן להפעיל שתי יחידות בגז. נכון ליולי 2023 מעבר זה טרם התרחש ולכן שיעור הייצור מחשמל בפחם בשנת 2022 עדיין גבוה ביחס לתחזיות (21.8%). המשמעות הכספית בשנים 2022-2023 בשל אי סגירת התחנות הפחמיות, הן **בעלויות הסביבתיות, שנאמדות בכ-4 מיליארד ₪** ובעלויות העודפות לתעריף החשמל, שנאמדות בכ-1.5 מיליארד ₪. עקב כך, בשנים 2022-2023 חלה עלייה בתעריף החשמל, בעיקר לאחר עליית מחירי הפחם העולמיים, שהשפיעה באופן משמעותי על עלויות הייצור של חח". כך לדוגמה בפברואר 2023 העלייה היתה בשיעור של 7.2% ביחס לשנת 2022<sup>75</sup>.

**אתגר** נוסף הוא האופן המיטבי למקסם רווח למדינה ממשאב הגז לצד העמידה ביעדי הפחתת הפליטות. אחת האפשרויות היא הרחבת הקידוחים בעשרים השנים הקרובות לצרכי יצוא, ומכירת הגז לפני שהעולם יספק את כל צרכי האנרגיה בהתבסס על אנרגיה מתחדשת. בשנת 2021 בחנה הממשלה מספר תרחישים של ביקוש עתידי לגז ב-25 השנים הקרובות (עד שנת 2045). התרחישים שונים בהנחות לגבי קצב הגידול הממוצע של צריכת החשמל, אופן מימוש היעדים שקבעה הממשלה להתייעלות באנרגיה, קצב המעבר לשימוש באנרגיות מתחדשות, וקצב חדירת הרכב החשמלי.

איור 9 מציג תרחיש לייצור אנרגיה לצד הפחתת פליטות במגזר האנרגיה והתחבורה (בערכים של מיליון-טון שווה-ערך פד"ח), שבו ההנחות הן עמידה ביעדי המדיניות להפקת 30% מהאנרגיה באנרגיות מתחדשות עד שנת 2030, הפסקת השימוש בפחם בשנת 2025, עמידה בהתייעלות באנרגיה עד 2030, וקצב מהיר של חדירת הרכב החשמלי (1.5 מיליון רכבים חשמליים עד שנת 2030). לפי תרחיש זה, התפלגות הביקוש בשנת 2045 צפויה להיות 58% לייצור חשמל, 20% לתעשייה הפטרוכימית, 15% לתעשייה וחלוקה, 4% לתחבורה בגז ו-3% לטעינת רכב חשמלי.

<sup>74</sup> אתר נתג"ז [קישור]

<sup>75</sup> הכנסת, 2023. השפעת השימוש בפחם על משק החשמל ועל תעריף החשמל [קישור]



איור 9: צפי הפחתת הפליטות במגזר האנרגיה והתחבורה עד שנת 2050<sup>76</sup>

לגבי ההתייעלות האנרגטית בתעשייה, התהליכים הנדרשים להסבת התעשייה לדלת או מאופסת פליטות גזי חממה הינם ארוכי טווח וזורשים הן בחינה הנדסית עמוקה והן השקעה כספית משמעותית. על פי הערכות עדכניות ניתן להמיר את מירב התהליכים העושים שימוש בדלק לשימוש במימן ובתהליכים דלי פליטות<sup>77</sup>. היות וכך יש להתחיל לקדם את התהליכים במהירות האפשרית בכדי לאפשר לתעשייה את הזמן הנדרש למעבר. ללא הסבה לגז בשלב הראשון במקביל לתהליכי חשמול ומעבר למימן בטווח הארוך, לא נוכל להפחית פליטות בסקטור זה ולעמוד ביעד העל.

**אתגר** נוסף הוא אי הודאות הגבוהה הקיימת בנוגע לתחזית הביקוש לגז בסקטור התחבורה. בשנת 2012 אושר תקן להנעת כלי רכב בגז מחצבי (CNG-Condensed natural gas), בנוסף לתקן הקיים עבור גז פחמימני מעובה (גפ"מ, LPG-Liquefied petroleum gas). עם זאת, קיימים פרמטרים רבים המהווים 'פקטור משמעותי' שיייתכן וישפיעו על התחזית, ובכללם קצב חדירת רכבים חשמליים ורכבים מונעים בגז, מאפייני הטכנולוגיה שתשמש בעתיד להנעת רכב בגז ויעילותה, רגולציה עתידית ופריסת תשתיות נדרשות במידה ותחבורה בגז תיושם בישראל, כולל תחנות תדלוק ומוסכים. התחזית מתייחסת באופן שונה לסוגי כלי הרכב השונים, וההנחה היא שכלי הרכב הפרטיים יהיו חשמליים, רכב מסחרי עד 3.5 טון ומשאיות כבדות יהיו מונעי CNG, האוטובוסים הפרטיים יהיו משולבים – חלקם יונעו בחשמלי וחלקם יהיו מבוססי CNG, ואילו האוטובוסים הציבוריים והמוניות יהיו חשמליים.

<sup>76</sup> משרד האנרגיה, 2021. מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050 [קישור]  
<sup>77</sup> המשרד להגנת הסביבה, 2022. הוצאת תזקי נפט משימוש בתעשייה [קישור]



עם זאת, רוב התחזיות מתייחסות רק לכלי רכב חשמליים (פרטי או ציבורי) ולא לשאר סוגי הדלק החלופיים בתחבורה. איור 10 מציג תחזית לרכישות רכב חשמלי בישראל עד שנת 2040, בהשוואה לרכב שאינו חשמלי (אחוז מכלל הרכישות) ולמצב הרכישות באירופה.



איור 10: תחזית רכישת רכב חשמלי בישראל ובאירופה (% ממכירות)<sup>78</sup>

לכן, בשנים הקרובות צפוי המשך פיתוח משק הגז, הן בצד ההיצע בעקבות פיתוחם של מאגר תנין וכריש ועידוד פיתוח מאגרים נוספים, והן בצד הביקוש בשל גידול צפוי בביקוש לגז בסקטור החשמל, התעשייה והתחבורה, כתוצאה מהמעבר מדלק קונבנציונלי לתחבורה חשמלית.<sup>79</sup>

## 4.2 המעבר לאנרגיה מתחדשת

אמנם לתחנות כוח גזיות בישראל עלות הונית וסביבתית נמוכה בהשוואה לתחנות כוח פחמיות, אולם היתרונות הכלכליים והסביבתיים של אנרגיות מתחדשות ואגירת אנרגיה בהשוואה להפקה מגז הם ברורים והטכנולוגיה קיימת ומיושמת בעולם. מחירי ייצור חשמל ממתקנים פוטו-וולטאיים ומטורבינות רוח, ומחירי אגירת אנרגיה-ירדו ב-60-90% בעשור האחרון וכבר כיום ניתן לספק אנרגיה מתחדשת, וחשמל פוטו-וולטאי בפרט, במחירים זולים משמעותית לעומת כל מקור אנרגיה אחר בישראל ובעולם. זאת, ללא כל סובסידיות, וגם במקרה שכוללים את העלות הנוספת עקב אגירת אנרגיה.

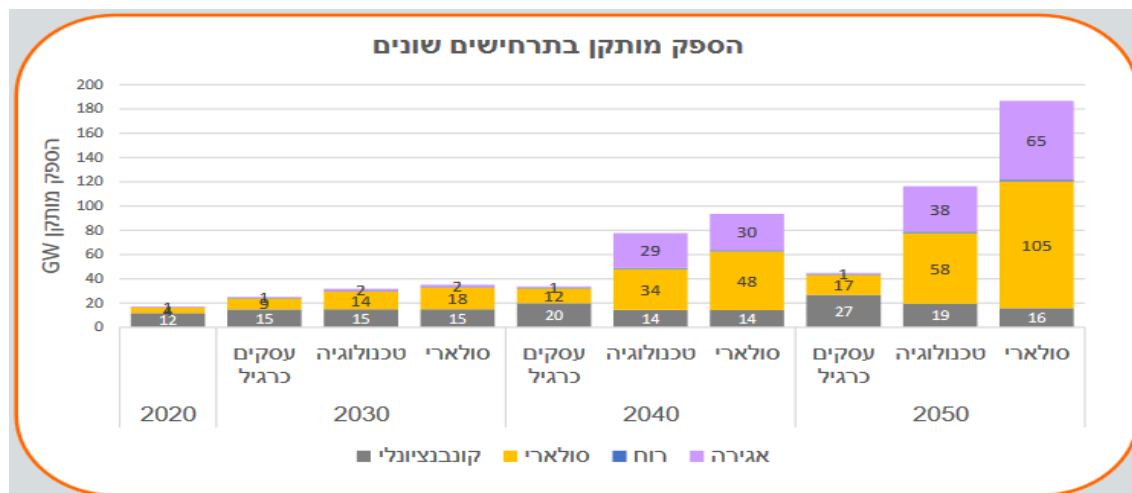
כבר בשנת 2019 נסגרו מכרזים לאנרגיה פוטו-וולטאית קרקעית בפחות מ-15-אגורות לקוט"ש, ואפילו בפחות מ-9-אגורות לקוט"ש. בשנת 2020 נסגרו מכרזים לאנרגיה פוטו-וולטאית הכוללת אגירה בפחות מ-20-אג' ובפחות מ-18-אג' לקוט"ש. טכנולוגיות האגירה הזולות ביותר הבשלות כיום מספקות אגירה לפחות ל-4 שעות (בטריות ליתיום-יון), מה שמאפשר הסטת שיא ייצור האנרגיה הפוטו-וולטאית משעות הצהריים לשיא הצריכה בשעות הערב. טכנולוגיות אגירה לטווח ארוך (מעל 10 שעות) כבר בשלות (אגירה שאובה, אגירת אוויר נוזלי, אגירת לחץ-אוויר) ובקרוב יצטרפו אליהן טכנולוגיות אגירה זולות יותר לטווח ארוך (אגירת מסה מוצקה, למשל).

<sup>78</sup> משרד האנרגיה, 2021. מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050 [קישור]

<sup>79</sup> דוח הצוות המקצועי לבחינה תקופתית שנייה של מדיניות הממשלה בנושא משק הגז הטבעי – טיוטה להערות הציבור, יוני 2021 [קישור]

כבר ב-2015 מחקרים הראו כי הסבת כל רשת החשמל האמריקאית עד שנת 2050 למבוססת על אנרגיות מתחדשות ואגירה תהיה בעלות זהה להמשך הרחבת ותחזוקת הרשת בהתבסס על מקורות אנרגיה קונבנציונאליים (פחם, נפט, גז מחצבי, גרעין, הידרואלקטרי). אפילו הסבה של כל משק האנרגיה אפשרית וההסבה כדאית בפרט כאשר לוקחים בחשבון את העלויות החיצוניות של השימוש בדלקי מאובנים<sup>80</sup>. גם בישראל, דוח NZO<sup>81</sup> שפורסם ב-2021, מצא כי ההסבה של 95% מרשת החשמל למבוססת אנרגיות מתחדשות (בעיקר חשמל פוטו-וולטאי) ואגירה עד 2050, תהיה בעלויות דומות לאלו של מימון 'עסקים כרגיל' במשק האנרגיה (business as usual). שוב, זאת בלי בכלל להכניס לחישוב עלויות חיצוניות, אשר שילובן ישפר עוד יותר את חלופת המתחדשות והאגירה<sup>82</sup>. כמו כן, חשוב לציין כי בתחשיבים אלה לא נלקחו עלויות אגירה, עלויות הקרקע ועלויות ההולכה של החשמל ממקום ייצורו.

איור 11 מציע תמהילים שונים להספק מותקן (בג'יגה-ואט) שיאפשר עמידה ביעדים, בעזרת כמות שונה של חשמל סולארי ושיפור טכנולוגי להתייעלות אנרגטית, בהשוואה למצב של עסקים כרגיל (ללא שינוי בתמהיל).



איור 11: הספק מותקן צפוי בעשורים הקרובים, על פי סוג מקור הדלק ותרחישים שונים<sup>83</sup>

מבחינת האגירה והמימן, הסכם חלוץ בתחום נחתם בין כלמוביל, בז"ן וסונול, שישתפו פעולה לקידום השימוש במימן לתחבורה. כלמוביל תייבא משאיות מימן לארץ, בז"ן תייצר עבורן את המימן (עם יכולת לייצר עד 8 טונות מימן לשעה, כרגע על בסיס שימוש בגז טבעי) ובסונול הן יוכלו לתדלק מימן<sup>84</sup>. השימוש בהנעה מימנית אינו פולט מזהמים לסביבה ולכן מהווה פתרון מוביל להנעה ללא פליטות עבור משאיות ולכלים כבדים דוגמת אוטובוסים וכלי צמ"ה. בדומה לכלי רכב חשמליים, כלי רכב בטכנולוגיית תאי-דלק מימניים ממירים אנרגיה כימית לזרם חשמלי. השימוש במימן לתאי דלק מייצר אפס פליטה משום

<sup>80</sup> מדר ד וכספי נ, 2021. התייחסות לדוח בחינה תקופתית שנייה של מדיניות הממשלה בנושא משק הגז הטבעי בישראל, מיוני 2021 [קישור]

<sup>81</sup> NZO, השל, 2021. [קישור]

<sup>82</sup> 95% חשמל ממקורות מתחדשים בישראל עד 2050. NZO, השל, 2021. [קישור]

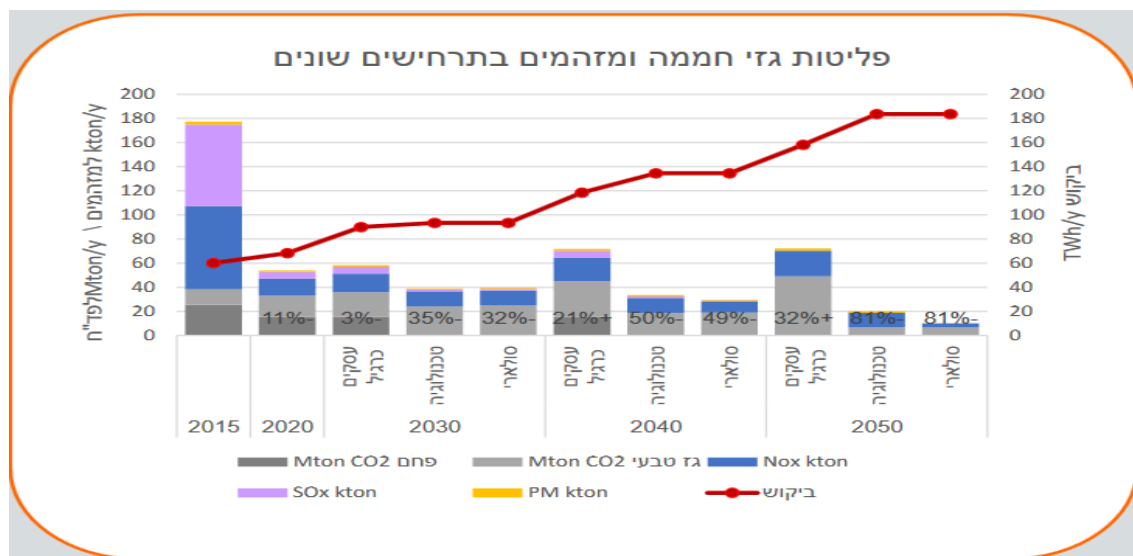
<sup>83</sup> משרד האנרגיה, 2021. מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050 [קישור]

<sup>84</sup> מהפכת המימן בישראל: משאיות, תחנת תדלוק ויצרן מימן, INFOSPOT, 2022. [קישור]

שהתוצר הנפלט כתוצאה מהשימוש הוא אדי מים. בטכנולוגיה הקיימת כיום, זמן תדלוק מימן של כ-8 דקות יאפשר טווח נהיגה של 400 קילומטר עבור המשאיות.

לפיכך, **האתגר המרכזי בהשוואת החלופות לאספקת אנרגיה הוא בהכלת העלות החיצונית במחיר האנרגיה**<sup>85</sup> והתחשבות בעלות החיצונית של סוגי הדלק וההפקה השונים בהחלטות לרכישת חשמל במודל השוק. אחת האפשרויות להכלת העלות החיצונית היא שהגורם הרוכש חשמל במשק, חברת נגה (חברת ניהול מערכת החשמל), תוסיף את מלוא העלות החיצונית למחיר המוצע ע"י יצרני דלק מחצבי, בבואה לבחור ממי לרכוש חשמל. בשיטה זו תיכלל העלות החיצונית בנקודת ההחלטה לבחירת ספק החשמל, אך ההשפעה של העלות למשק החשמל תהיה שולית. זאת, בעיקר בהשוואה להחלת מס פחמן על כלל הייצור של דלק מחצבי, כפי שנעשה בעולם.

איור 12 מפרט את הפליטות וההשפעות הסביבתיות השונות הצפויות מכל סוג דלק ובכל תרחיש של תמהיל דלקים עד 2050 (בערכים של מיליון טון בשנה לפד"ח ואלפי טון בשנה למזהמים כדוגמת תחמוצת גפרית - SO<sub>x</sub>, תחמוצת נתרן - NO<sub>x</sub>, וחלקיקים - PM). את כל אלה חשוב לקחת בחשבון בכל תחשיב עלויות עתידי.



איור 12: פליטות גזי חממה ומזהמים בתרחישי היישום השונים<sup>86</sup>

בנוסף לכך, אנרגיה נקיה שמיוצרת באופן לא אחיד לאורך שעות היום מעמידה **אתגרים** בניהול רשת החשמל, שיחייבו פתרון בשנים הקרובות, ובכללם<sup>87</sup>

<sup>85</sup> השל, 2022. התייחסות צוות NZO למפת הדרכים של משרד האנרגיה לאנרגיות מתחדשות לשנת 2030 ותוכנית הפעולה של רשות החשמל לאנרגיות מתחדשות [קישור]

<sup>86</sup> משרד האנרגיה, 2021. מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050 [קישור]

<sup>87</sup> גרוסמן גרשון, שפירא נעמה. פורום אנרגיה 51: אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי חיפה, ישראל, מוסד שמואל נאמן, 2022 [קישור].

- איזון ההספק ברשת – עקב שעות אספקה לא סדירות עשוי להיווצר עודף או מחסור באנרגיה. הדבר נכון במיוחד בישראל שבה רשת החשמל אינה מחוברת למדינות שכנות (אי אנרגטי), מה שמצמצם את יכולתה לאזן את ההספק באמצעות סחר בחשמל. לפיכך, יש לשפר את יכולת השליטה בפרופיל הייצור ו/או הצריכה, לדוגמה באמצעות מנגנוני ניהול עומסים או אגירה.
- הקמה וניהול הולכת החשמל – תחנות כוח גדולות בעלות כושר ייצור של עשרות או מאות מגה-ואטים ניתן למקם בסמוך למרכזי הצריכה ולכן מבנה הרשת יאפשר הולכת הספק גבוה בסמוך לתחנות הכוח במרכזי הצריכה, ופחות מכך עם ההתרחקות לאזורים פריפריאליים. אנרגיה מתחדשת היא מבוצרת ומחייבת התייחסות שונה לניהול רשת ההולכה והשטח הנדרש למתקנים בעלי הספק גבוה. אתגר החיבור לרשת יכול להתבטא בשני אופנים – גודש בהולכה (רשת ההולכה עמוסה ואינה מאפשרת חיבור של יצרן חדש באזור זה) או גודש בהשנאה (מתקנים המוקמים במתח גבוה אינם יכולים להתחבר למתח העליון, שכן תחנות ההשנאה גדושות).
- מצד שני, השאיפה היא לבזר את המתקנים הסולאריים הקטנים יותר על שימושי קרקע קיימים (מגורים, תעשייה, חקלאות, תשתיות ועוד). כך אמנם מתקרב מתקן הייצור לצרכן ומצמצם את הצורך בפיתוח רשת ההולכה להספק גבוה לאורכה ולרוחבה של המדינה, אך בשעות של ייצור גבוה וצריכה נמוכה ייתכן עומס על הרשת. בהקשר הישראלי אתגר הולכת האנרגיה הוא דחוף כי כיום מתקנים חדשים לא מחוברים לרשת עקב עומסים בקווים הקיימים. עם זאת, במיוחד מדינה קטנה וצפופה כמו ישראל חשובה גם ההתייחסות לסוגיות עקרוניות הקשורות למשאב הקרקע שנמצא במחסור.
- ניהול הביקוש וההיצע – ברשת החשמל הייצור צריך להיות שווה לצריכה בכל רגע נתון, אחרת מקבלים שינויים בתדר. יציבות התדר היא קריטית לפעולה תקינה של המערכת. כיום, יציבות התדר נשמרת באמצעות שני מנגנונים, מנגנון של אינרציה ומנגנון של מערכות בקרה אוטומטיות. במתקני אנרגיה מתחדשת אין כיום מנגנונים כאלה, אך ניתן להוסיף אותם בעלות כלכלית, שיש לאכוף ברגולציה. יישום נרחב של אנרגיה סולארית מחייב הוספת פתרונות תומכים, כגון, אגירה שעתית ואף עונתית ופיתוח משמעותי של רשת ההולכה.

**מסתמן כי בטווח הבינוני והארוך ניתן יהיה לראות ניצנים של תוכנית פיתוח הרשת החדשה, אך בטווח הקצר חשוב לגבש תוכנית מערכתית שתבחן בצורה שיטתית את החסמים ותאפיין את הפתרונות המומלצים, השינויים הרגולטוריים והאמצעים הטכנולוגיים, שיאפשרו את מיצוי הרשת הקיימת, גם במחיר של כדאיות כלכלית. זאת, בעיקר בתחום תכנון משולב של הרשת והשטחים הפתוחים, קידום פתרונות אגירה ותגמול התקנות של מתקני אנרגיה מתחדשת וחדשנות בשילוב אנרגיות ממקור מתחדש בכל תחומי החיים. שתי תוכניות שפורסמו עד כה הן של נגה<sup>88</sup> ושל NZO-<sup>89</sup> השל<sup>89</sup>.**

<sup>88</sup> נגה, 2022. תקנון הרשת למערכת החשמל הארצית, Grid code. טיוטה להערות הציבור [קישור]  
<sup>89</sup> גל נ, 2023. פתרונות למיצוי רשת החשמל לשם האצת חיבור אנרגיה מתחדשת, NZO, השל בשיתוף אנרג'יקום ואילת אילות [קישור]

## 4.3 רגולציה

המעבר להפקת אנרגיה ממקור מתחדש ולתעשייה בת קיימא מחייב השקעה כספית בפיתוח תחום המתחדשות כך שיהיה כפול מההשקעה הקיימת היום ויאפשר האצה של תהליכי ההתקנה. בנוסף, נדרשת התגייסות של הרגולטור כדי (1) לקצר תהליכי אישור ושחרור של אדמות שנדרשות למתקני אנרגיה ולהרחבת קווי ההולכה של חשמל – כהכנה לשילוב חשמל משמש ורוח, וקווי הולכת הדלק – לצורך הנגשת השימוש בגז בתעשייה, (2) להכשיר כוח אדם וליצור שרשראות אספקה (כולל כריית מחצבים) וביקוש לטכנולוגיות ולמוצרים החדשים, (3) להשקיע בחדשנות ובהתייעלות אנרגטית גם במתקנים קיימים כדי להפחית את הביקוש למחצבים נדירים, (4) לצמצם את הפליטות מתעשיות מבוססות דלק מחצבי ו- (5) לעודד תעשייה בת-קיימא והשקעות באנרגיה מתחדשת. כך למשל, יידרשו כמיליון עובדים מוכשרים במשך מלאה עד שנת 2030 כדי לפתח ולבנות את מתקני האנרגיה המתחדשת הנדרשים באירופה. עם זאת, נדרש צמצום השפעות סביבתיות וחברתיות שפוגעות בשכבות חלשות באוכלוסייה, כמו במקרה שבו שכבות חלשות באוכלוסייה נפגעות באופן חריג מזיהום של משאבי טבע (אוויר, מים, אדמה). כך למשל עקב ייצור או שימוש באנרגיה ממקור מחצבי, או כאשר לחלק מהאוכלוסייה אין יכולת להשיג או לממן את האנרגיה הנדרשת לקיומם.

ישראל נחשבת למדינה בעלת אמצעים להשקעה באנרגיה מחד, ומאידך ובעלת פגיעות גבוהה בתחום בטחון-האנרגיה<sup>90</sup> ולכן הפנמה של מגמות השינוי היא הכרחית ונדרשים לשם כך (1) עידוד והגברה של אגירת אנרגיה והפקה של אמוניה ומימן בתהליכים שממעטים בפליטות פחמן, תוך כדי עידוד הביקוש המקומי והגלובלי למימן ירוק והפחתת היקפי הייצור של מימן "כחול" ו"אפור" שמקורו בדלק מחצבי, (2) יצירת הזדמנויות לפיתוח מתקנים של אנרגיה מתחדשת וחיזוק התעשיות התומכות בה, (3) חיזוק שיתופי פעולה בינלאומיים לפיתוח ושיווק טכנולוגי של מתקני אגירה ומימן ירוק, ו- (4) הפחתת פליטות והגברת התייעלות אנרגטית בתהליכים המתבססים על דלק מחצבי<sup>91</sup> בתעשייה, בבנייה ובתחבורה, עידוד רכב חשמלי ודלק ירוק במטוסים.

ישראל ממוקמת בקבוצת המדינות להן יש את מירב ההון הנדרש להשקעה במתחדשות וכן קיים בה פוטנציאל להפקת אנרגיה מתחדשת, בעיקר מקרינת שמש (אך גם משאבי רוח), המאפשר מעבר לאנרגיה מתחדשת בטווח הקצר והארוך. בישראל הבטחון הזמני באספקת אנרגיה מגז, לצד פליטה גבוהה של מזהמים מהווה סיכון ליישום השינוי בטווח הקצר, אך יוצר הזדמנות בטווח הארוך.

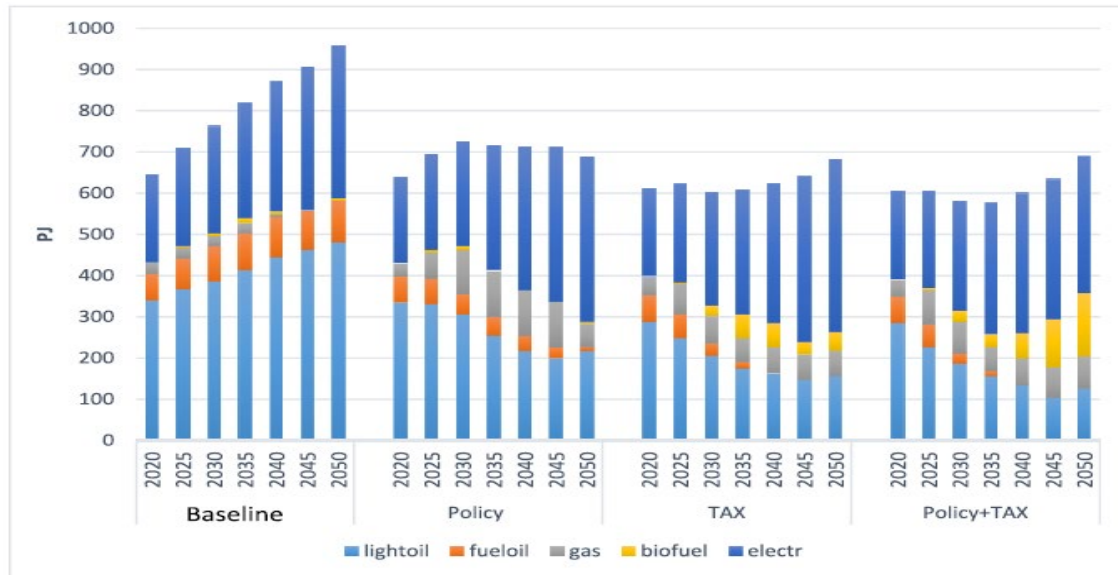
לרגולציה בארץ תפקיד קריטי בטווח הקצר והארוך להנעת המעבר למתחדשות. איור 13 מראה השפעה אפשרית הודות לרגולציה ולמס פחמן בטווחי זמן שונים, שמאפשרים ירידה משמעותית בביקוש הודות לשינוי.

**מבחינה סביבתית, חשובה הבחינה של חלופות בכל תרחיש ותרחיש של ייצור ושימוש באנרגיה וחשמל להבנת העלות הישירה והסביבתית של כל חלופה.**

**בשנת 2021 ממשלת ישראל הכריזה על "ארגז חול רגולטורי" בתחומי האנרגיה – כדי לסייע בהתמודדות עם החסמים הרגולטיביים ולהאיץ את יישום החדשנות בתחום האנרגיה. מערכת האנרגיה**

<sup>90</sup> המונח בו נעשה שימוש הוא - Affluent, energy exposed - במדינות בהן אספקת אנרגיה מהווה חלק עיקרי מהתמ"ג (וזו לא המצב בישראל), חשוב גם לחזק עם תוכניות חלופיות את העוסקים בדלק ממקור מחצבי בזמן המעבר לאנרגיות מתחדשות, שייתכן ויביא להפסדים בתחום המחצבי.

עוברת טרנספורמציה לעבר עתיד מבוזר ומבוסס אנרגיה מתחדשת, שידרוש מסגרת רגולטורית מעודכנת. ניסוי של כמה שינויי מדיניות ממוקדים כעת, בקנה מידה מוגבל, יעזור להבטיח שהכללים המסדירים את המערכת עומדים בקצב של השינוי של סקטור האנרגיה.<sup>92</sup>



איור 13: הביקוש לאנרגיה [פטה-ג'אול] על פי מקור הדלק והרגולציה<sup>93</sup>

<sup>92</sup> גיא חור, 2021. למה שוק האנרגיה צריך ארגז חול רגולטורי? [קישור]  
<sup>93</sup> Palatnik et al., 2023. Accelerating emission reduction in Israel: Carbon pricing vs. policy standards. Energy Strategy Reviews 45:101032 [Link]

## 5. סיכום ודין

במסמך זה סקרנו מגמות גלובליות ומקומיות לטווח קצר, בינוני וארוך, ולפיהן עולה ההבנה שבטווח הקצר ישראל לא עומדת ביישום ההתחייבויות להפחתת פליטות ולמעבר לאנרגיה ממקור מתחדש. לפיכך, המגמה בישראל כיום אינה עוקבת במלואה אחר המגמה במדינות המובילות בעולם המערבי. יכולתה של ישראל להתקדם לכיוון מימוש התוכנית לטווח קצר וארוך קיימת הודות ליכולות טכנולוגיות וכספיות, אך נדרשת פעולה מהירה, בנחישות ובעדיפות לאומית, כדי לקדם שינוי במגמה. במידה ופעולות אלא אכן יתקיימו, מסתמן שבטווח הבינוני והארוך הפחם לא יהיה נחוץ בישראל והתעשייה תשתמש בפתרונות דלי פליטות להפקת חום, כדוגמת פתרונות המימן.

המסמך מחדד את ההבנה שקצב יישום המעבר לתמהיל מקורות-אנרגיה בר קיימא בישראל מדשדש ונדרש שיתוף פעולה עם כל בעלי העניין להאצה בכל דרך של התקנת תשתיות לאנרגיה מתחדשת, התייעלות אנרגטית והפחתת פליטות בכל המגזרים במשק. זאת, בפרט עקב העובדה ששימוש בפחם נופט צפויים להיות חלק מתמהיל הדלקים גם בעשור הקרוב.

לרשויות המקומיות והאזוריות יש חלק בתהליך השינוי הנדרש, כפי שמפורט בפרקים הבאים.

### 5.1 אתגרים במועצות ורשויות מקומיות ואזוריות

עיריות ורשויות מקומיות ואזוריות ברחבי העולם הינן שחקניות מפתח בהתמודדות עם משבר האקלים, ובמקרים רבים אף מובילות את הפעילות להפחתת פליטות גזי החממה ולמעבר לאנרגיות מתחדשות<sup>94</sup>. הרשויות המקומיות בעולם נוטלות על עצמן תפקידים שונים ביחס לניהול האנרגיה בתחום שיפוטן, לרבות: **קביעת יעדים מקומיים ותמיכה ביישוםם להקמה ומעבר לאנרגיות מתחדשות** – כולל אישורים להתקנה בכל אתר אפשרי; **ניהול ביקושים והתייעלות אנרגטית; ניהול ותפעול משק החשמל ואופן אספקת החשמל (Utility)** ברשות; **אסדרה ואכיפה**; מימון והעמדת משאבים; הנחיה וייעוץ; יצירת מודעות והסברה. הרשויות ממלאות תפקידים אלו בחמישה מרחבי-פעולה: מבני הרשות ופעילותה; מבני מגורים; מבני תעסוקה, מסחר ותעשייה; תחבורה; ורשת החשמל המקומית והאזורית.

כך למשל, ערים רבות בגרמניה, הולנד ואוסטריה עושות שימוש בחשמל המופק גם מרוח ושמש וגם **משריפת פסולת ואצירת הפחמן**<sup>95</sup> הנפלט. הפקת החשמל מפסולת יכולה למתן גם את ההבדלים בין ההיצע לביקוש החשמל שמהווה אתגר עם הכנסת אנרגיות מתחדשות לתמהיל אספקת החשמל (הפקת חשמל מפסולת בשעות של היצע נמוך משמש ורוח, למשל).

**הפחמן הנפלט משריפת פסולת ומהתעשייה עתירת האנרגיה וכן הקונדנסט שנפלט בתהליך הפקת הגז מהים יכולים לשמש כחומר גלם** למשל בהפקת ביו-דלק או סינגז (דור רביעי) ובכך לסייע באספקת דלק סילוני או סינגז לאמצעי תחבורה שלא ניתן לחשמל.

<sup>94</sup> השל-NZO, 2023. צעדים להאצת אנרגיה מתחדשת בישראל [קישור]

<sup>95</sup> הפקת אנרגיה מפסולת, חירייה [קישור]

**חשוב לעודד יזמות וחדשנות ברשויות המקומיות ביצירת חממות ו"ארגזי חול" רגולטוריים לזירוז המימוש של פתרונות בתחום.**

**בארץ, מגמה זו נמצאת בראשיתה בלבד. עם זאת, קיימת בישראל היכולת לבצע את השינוי אך נדרשת התגייסות ממשלתית יחד עם כל בעלי העניין ליישום השינוי.**

**על מנת להאיץ את המעבר למשק מבוסס אנרגיות מתחדשות יש לראות ברשויות המקומיות שותף מרכזי לקידום, ולהעניק לשלטון המקומי ידע, סמכויות, תקנים ותקציבים לקידום ייצור אנרגיה מתחדשת ואגירה בשטחן.**

יש לבצע תיקוני חקיקה שיאפשרו לרשויות המקומיות להיות שחקנים פעילים במעבר למשק אנרגיה מבוזר, אך למעלה מזה, יש לשנות את התפיסה ביחס לחלקו של השלטון המקומי במשק האנרגיה. כך לדוגמא,

- מועצה אזורית גולן הכינה בשנת 2014 תוכנית אב להגדרת שימושי הקרקע בתחומה ובפרט האזורים בהם ניתן להקים טורבינות רוח ומתקנים סולאריים. התהליך לווה על ידי נציגים מכל בעלי העניין כולל רשות הטבע והגנים ונציגי המשרד להגנת הסביבה<sup>96</sup>.
- בערבה חברת אילת-אילות, כאגף במועצה האזורית של חבל אילות, הקימה מתקנים סולאריים שכיום מספקים את כל צרכי החשמל של אילת בשעות היום. היעד של הפרויקט הוא להפוך את אזור הערבה הדרומית למרכז בינלאומי למחקר ופיתוח טכנולוגיות להפקת אנרגיה מתחדשת, בלתי תלוי מבחינת צריכת האנרגיה ונטול דלקים ופליטות פחמן עד שנת 2025<sup>97</sup>.
- מועצה אזורית עמק יזרעאל הכינה בעזרת השל תוכנית ליישום אנרגיה סולרית בשטחה. המטרה הייתה לאמוד את פוטנציאל הייצור הסולארי על גגות מבנים ולשם כך נערך מיפוי של הגגות במרחב המועצה. כן נבדק מיצוי הפוטנציאל עד כה: על כמה גגות הותקנו כבר מערכות סולאריות, מה שטחן, ומספר הגגות עליהם הותקנו מערכות באופן חלקי, שאינו מכסה את כל השטח האפשרי להתקנה<sup>98</sup>.
- בשנים האחרונות, הוקמו גגות סולאריים על כל מוסדות הרשות, בתי ספר וכדומה, ברשויות רבות.

## 5.2 אתגרים והזדמנויות במרחב שרון-כרמל

במבט ממוקד על מרחב שרון-כרמל, ישנם שני נתיבים מרכזיים לפעולה בהינתן האתגרים וההזדמנויות שהוזכרו עד כה בתחום משק האנרגיה:

בטווח הקצר, הפחתת פליטות וסיכונים מכל הפעילות הקיימת כיום בתחום האנרגיה במרחב, ובטווח הארוך – פיתוח בר קיימא של פעילות עתידית ומימוש הזדמנויות בהתאם לאתגרים שפורטו לעיל (טבלה 3).

<sup>96</sup> מועצה אזורית רמת הגולן – תוכנית אב לאנרגיה מתחדשת [קישור]

<sup>97</sup> אילת-אילות אנרגיה מתחדשת [קישור]

<sup>98</sup> שמש יזרעאל – מיצוי פוטנציאל סולארי במועצה אזורית, השל NZO בשיתוף קק"ל ומועצה אזורית עמק יזרעאל [קישור]



טבלה 3: ההזדמנויות להפחתת פליטות ופיתוח בר-קיימא במרחב שרון-כרמל

תחום	טווח קצר: הפחתת פליטות	טווח ארוך: פיתוח בר-קיימא
הפקת חשמל	לאכוף הפקת חשמל יעילה ונקייה, גם מדלק מחצבי וגם ממקור מתחדש כמו בהפקת חשמל מפסולת שלא ניתן למחזר. וכן לפעול לאצירת פחמן ופליטות	לעודד, להקים ולאפשר מתקני אנרגיה מתחדשת ופתרונות אגירה ומימן, ולהקים "ארגז חול" אזורי לחדשנות באנרגיה
התייעלות אנרגטית	לאכוף התייעלות אנרגטית שתפחית שימוש בדלק מחצבי והמרות אנרגיה בתעשייה, במבנים ובתחבורה	לעודד בנייה ירוקה משרשרת אספקה שתמצער שימוש באנרגיה תפעולית (למשל בידוד שימצער חימום וקירור)
אנרגיה בתעשייה	לחוקק חוקים עירוניים לאכיפת תעשייה בת קיימא ודלת-פליטות, מעבר לאנרגיה נקיה והחלת הטיפול בעלות-חיצונית על הייצרן	לעודד הקמת תעשייה בת קיימא, אצירת פחמן במפעלים עתירי פליטות ושימוש בו להפקת אנרגיה
תחבורה	לאכוף כניסת כלי רכב דלי-פליטות וללא חומרים מסוכנים בתחום השיפוט ועידוד תחבורה ציבורית דלת-פליטות, הקמת מתקני טעינה לרכב חשמלי ומימן למשאיות	עידוד יוזמות להפקת דלק ירוק עבור התחבורה היבשתית, הימית והאווירית עקב הצפי לשדה תעופה גדול יותר בחיפה, התפתחות הנמל הימי, וכדומה

ובפרט, ההזדמנויות למרחב שרון-כרמל במשק האנרגיה המשתנה כוללות, בין היתר:

- אכיפת חוקי מדינה להפחתת פליטות במשק החשמל ובתעשייה. מאמץ מקומי ובשיתוף-פעולה עם הרגולטור להחלת העלות החיצונית של תהליך רב-פליטות על הייצרן. הדבר יקדם הפחתת פליטות, תיעדוף בשרשראות האספקה לייצור בר-קיימא ועם הזמן גם לאצירת פחמן (כשהטכנולוגיה תהיה זמינה). כך למשל, עלות גבוהה עקב פליטות ייתכן ותביא לשיתופי פעולה (סימביוזה תעשייתית) בין תעשיות, כך שתוצר-עקיף של תהליך אחד (למשל פד"ח) יהיה התשומה לתהליך במפעל שכן.
- חקיקת חוקים עירוניים לתגמול תהליכים של התייעלות אנרגטית והפקת חשמל ואנרגיה יעילה במשק החשמל, במסחר ובתעשייה. התגמול ייתכן ויכלול הפחתה במיסים או תמיכה בשיתופי פעולה ליצירת שרשראות אספקה ושוק לתוצרים של התהליך.
- הפחתת הפליטות בתחבורה על ידי הגבלת כניסה של רכב רב-פליטות לאזורים נבחרים מרחב שרון-כרמל (כפי שנעשה למשל בחיפה), עידוד והקמת עמדות טעינה לרכב חשמלי, עידוד ותכנון תחבורה ציבורית בהתאם לביקוש ותמיכה ביוזמות חדשנות בתחום.
- הקמה ותכנון יבשתי יומי של מתקנים להפקת אנרגיה מתחדשת ומימן, בהתבסס על טכנולוגיות שונות כדוגמת פאנלים סולאריים, טורבינות רוח, פסולת לאנרגיה, גלי-ים, אצות, ועוד. ובפרט, כבר מהיום עידוד הקמת גגות סולאריים במרחב כרמל-שרון עם תמיכה רגולטיבית מקומית.
- הקמת "ארגז חול" אזורי לחדשנות באנרגיה שיתמוך ביזמות בתחום וינגיש פתרונות במהירות ובטווח הקצר והארוך ליישום היעדים למעבר לאנרגיה מתחדשת.

- עידוד מעבר של תעשיות להפקת דלק ירוק למטוסים ולמשאיות שלא ניתן לחשמל, כדי לתמוך בתוכניות עתידיות להרחבת שדות תעופה<sup>99</sup> ונמל-ימי באזור מרחב שרון-כרמל. שינוע והובלה של מימן תהיה יקרה מאוד עקב העלויות לקירור הגז, ולכן תוצרת מקומית תהיה הכרחית כדי לעמוד בעלויות נמוכות<sup>100</sup>.

### 5.3 הזדמנויות למחקר המשך

- ניתוח כלכלי-סביבתי של חלופות להפקה, אחסנה ושימוש באנרגיה, כולל עלויות ישירות וסביבתיות. למשל, אחסנת תזקינים, ביטומן וקונדנסט, חשמול הרכבת, חדירת תחבורה דלת-פחמן והשפעותיה, וכדומה.
- ניתוח אפשרויות תעסוקה בתחום האנרגיה, המחקר והחדשנות, בהתאם למגמות השינוי.
- ניתוח השפעות סביבתיות בתרחישים שונים, בעזרת נתוני ניטור מקומי וחיזוי.
- ראיונות עם מספר נציגים בתעשייה ובין בעלי עניין, על פי הצורך, במטרה לזהות פתרונות לשיתופי-פעולה בין מפעלים והתייעלות בהפקת ושימוש באנרגיה תהליכית.
- שת"פ בעזרת מוסד נאמן עם רשויות מקומיות נוספות למאמץ מרוכז של שינוי.
- בדיקת אפשרויות להקמת מתקנים להפקת אנרגיה בים<sup>101</sup>, לחוף מרחב שרון-כרמל.
- ניתוח עלות-תועלת של הזדמנויות לאספקה בת-קיימא של מים ומזון מבוססי אנרגיה – מתקני התפלה, מאגרים ומים מושבים, חקלאות מדייקת, הידרופונית או בקומות ועוד.

\* \* \*

<sup>99</sup> חיי-פה, 2022. מסתמן: משרד התחבורה יקדם הקמת שדה תעופה בינלאומי בחיפה [קישור]  
<sup>100</sup> McKinsey and Company, 2022. The clean hydrogen opportunity for hydrocarbon-rich countries [link]  
<sup>101</sup> מנהל התכנון (2020). מסמך מדיניות למרחב הימי של ישראל - ים תיכון. מנהל התכנון [קישור]



neaman.org.il

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

סביבה ואנרגיה