מכון אהרן
למדיניות כלכלית
ע"ש אהרן דוברת ז"ל

הבינתחומי הרצליה

אתגרי משק האנרגיה 2030

צבי אקשטיין, סרגיי סומקין והלה אקסלרד*

נייר מדיניות 2020.04 / יוני 2020

* פרופ' צבי אקשטיין הוא ראש מכון אהרן למדיניות כלכלית ודיקן בית ספר טיומקין לכלכלה במרכז הבינתחומי הרצליה, zeckstein@idc.ac.il. ד"ר סרגיי סומקין וד"ר הלה אקסלרד הם חוקרים בכירים במכון אהרן למדיניות כלכלית.

סדרת ניירות המדיניות של מכון אהרן למדיניות כלכלית הינה תוצר של מחקרים והצעות מדיניות אשר הוזמנו ומומנו על ידי המכון ואושרו לפרסום על ידי הוועדה המדעית של המכון. העמדות המובאות בניירות המדיניות הינן באחריות הכותבים ואין לדירקטוריון המכון אחריות על המדיניות המוצעת בהם.

מכון אהרן למדיניות כלכלית

על שם אהרן דוברת ז"ל

חזון מכון אהרן למדיניות כלכלית הוא לתמוך בצמיחה כלכלית ובחוזק חברתי בישראל על ידי עיצוב אסטרטגיה והצעות לתוכניות מפורטות למדיניות כלכלית המבוססות על ידע בינלאומי מעודכן.

צמיחה כלכלית הנובעת מגידול בתעסוקה והעלאת הפריון לעובד היא היעד המרכזי של כל המשקים, ובכללם של המשק הישראלי. המדדים המרכזיים לצמיחה כלכלית בת-קיימא – התוצר לנפש, התעסוקה והפריון במשק – נמצאים עדיין ברמה נמוכה מזו המקובלת במדינות המובילות בעולם המפותח. חזון המכון הוא לערוך מחקרים כלכליים אשר יניבו הצעות הן לכלי מדיניות חדשניים והן לרפורמות במשק לקידום הצמיחה, התעסוקה והפריון. מטרת מחקרי המדיניות להשפיע על המדיניות המוניטרית והפיסקלית, תוך גיבוש תוכניות ארוכות טווח שתתמודדנה עם מכלול הבעיות הכלכליות והחברתיות ותתרומנה לצמצום פערים וחיזוק החברה והכלכלה. כמו כן, מטרתם להשפיע על השיח המקצועי, לעורר דיון המבוסס על מידע אמין ועל מחקר כלכלי-חברתי ובסופו של דבר להקנות כלים שיתמכו בתוואי של צמיחה ובחוסן החברתי של ישראל.

היעד העיקרי של מכון אהרן למדיניות כלכלית בבית ספר טיומקין לכלכלה הוא בגיבוש אסטרטגיות מדיניות כלכליות אשר מזהות את נקודות החוזק והחולשה של הכלכלה בישראל. על בסיס זה נבנות רפורמות בנושאים רוחביים, וכן מחקר המתמקד בענפים שונים כדי לבחון ולהמליץ על שימוש מושכל בכלי מדיניות וסדרי עדיפויות שיגרמו לגידול התעסוקה והפריון בכלל ענפי המשק. במסגרת זו ניתן דגש על חיזוק היתרונות היחסיים של ישראל בחדשנות טכנולוגית, וכן על העצמת ההתייעלות והחדשנות בענפים המסורתיים, ענפי השירותים והסקטור הציבורי. כל זאת נעשה על בסיס מחקרי מוצק והצבת יעדים כמותיים כדי להשיג את חזון המכון.

דירקטוריון:

מר שלמה דוברת (יו"ר), פרופ' מרטין אייכנבאום, גב' יעל אנדורן, פרופ' צבי אקשטיין, גב' דיתה ברוניצקי, מר ארז ויגודמן, גב' ענת לוין, מר צבי לימון, פרופ' רפי מלניק, מר רונן ניר, מר רוני נפתלי, פרופ' דניאל צידון, מר יואל קרסו, ד"ר טלי רגב, גב' עפרה שטראוס, מר חיים שני.

ראש המכון:

פרופ' צבי אקשטיין.

ועדה מדעית:

פרופ' צבי אקשטיין (יו"ר), פרופ' מרטין אייכנבאום, פרופ' צבי הרקוביץ, פרופ' עומר מואב, פרופ' רפי מלניק, פרופ' דניאל צידון, ד"ר טלי רגב.

פרטי התקשרות:

המרכז הבינתחומי הרצליה, ת.ד. 167 הרצליה 4610101

טלפון: 09-9602431

דוא"ל: aaron.economics@idc.ac.il

אתר: www.aiep.idc.ac.il

אתגרי משק האנרגיה 2030

קיימת הסכמה רחבה לגבי חשיבותו של מגזר האנרגיה למשק; שיפור האיכות של תשתיות האנרגיה מגדיל את שיעורי הצמיחה במגזרי התעשייה השונים ואת צמיחת התמ"ג. בישראל משק האנרגיה ומשק החשמל נתונים לרגולציה על ידי כמה משרדים ממשלתיים: משרד האנרגיה, אשר אחראי על התוויית מדיניות כוללת במשק האנרגיה, רשות החשמל, האחראית על קביעת תעריף החשמל, והמשרד להגנת הסביבה. מהממשלה מצופה לתכנן ולנהל מדיניות השקעות במשק האנרגיה באמצעות הצבת יעדים לאספקה רציפה של חשמל איכותי ונקי במחיר תחרותי.

העקרונות שהופכים את היעדים לאמצעי מדיניות יעיל הם: (א) השפעה מקרו-כלכלית משמעותית על המשק; (ב) פשטות – קביעת יעדים מדידים וברורים הנמדדים באמצעות נתונים זמינים באופן תדיר, מה שמאפשר לתכנן את הפעילות הממשלתית לאורך תקופה ארוכת טווח, לעקוב אחר תמונת מצב בזמן אמת ולבצע התאמות מדיניות, על מנת לוודא הגעה ליעדים; (ג) אופרטיביות – קביעת יעדים שהם בליבת העשייה של גוף ספציפי מוגדר בממשלה שהוא בעל יכולת להשפיע על מימוש היעדים; (ד) הסכמה רחבה – קביעת יעדים אסטרטגיים, משמעותיים ושיש עליהם הסכמה רחבה, מה שמאפשר לשמר אותם כרלוונטיים, יציבים ועמידים לאורך כל התקופה, על אף שינויים שחלים בממשלה.

על מנת להשיג את היעד המרכזי של אספקה רציפה של חשמל איכותי ונקי לכלל צרכני המשק במחיר תחרותי, מדיניות משק האנרגיה צריכה להתמקד בארבעה יעדים מרכזיים: אמינות החשמל, איכות השירות, איכות הסביבה ומחיר תחרותי של החשמל.

יעדים אלו תלויים זה בזה והשקעה או קידום של יעד אחד משפיעים, ולעיתים באים על חשבון, ההשקעה בהשגת יעד אחר. כיום אין לישראל תוכנית עבודה אופרטיבית להשגת יעדי משק האנרגיה, והיא אינה משתמשת במודל כמותי המאפשר לבחון חלופות השקעה במשק האנרגיה כדי לקבל החלטות בנוגע למעבר לאנרגיות מתחדשות, פיתוח ושדרוג הרשת הקיימת במחיר של חשמל שתומך בשינויים אלה. **לאור זאת אנו ממליצים: לקבוע את כלל היעדים ארוכי הטווח למשק האנרגיה (2030); לבחון חלופות השקעה להשגת היעדים, בהתבסס על מודל דינמי של משק האנרגיה; בהתאם לחלופת ההשקעות שתיבחר, לגבש תוכנית עבודה מפורטת של הביצוע להשגת היעדים ב-2030, ולנהל מדיניות רציפה להשגת יעדים שנתיים ויעדים ארוכי טווח, תוך התייחסות לשינויים טכנולוגיים שמתרחשים במשק האנרגיה.**

תוכן העניינים

1. סיכום ומסקנות 5
2. מצב משק האנרגיה בישראל 7
2.1 הביקוש לחשמל..... 8
2.2 היצע החשמל (הספק מותקן)..... 9
2.3 קביעת יעדים – כלי הכרחי לניהול מדיניות 9
3. יעד אמינות היצע החשמל ואיכות השירות..... 11
3.1 מדד יחס רזרבה 11
3.2 מדד דקות אי-אספקה 13
3.3 יכולת האחסון 15
3.4 תמהיל הדלקים וזמינות החשמל 16
3.5 איכות השירות 17
4. יעדי איכות הסביבה..... 19
4.1 אחוז האנרגיה המתחדשת 19
4.2 פליטות מזהמים SO_2 ו-NO_2 22
4.3 מדד פליטות גזי חממה 23
5. יעד מחיר תחרותי של חשמל 25
6. מודלים לתכנון משק האנרגיה..... 28
נספח: לוחות ואיורים נוספים..... 31

1. סיכום ומסקנות

קיימת הסכמה רחבה לגבי חשיבותו של מגזר האנרגיה למשק, שכן אנרגיה היא גורם ייצור מרכזי במוצרים בסיסיים כמו מים, חשמל, מזון, תחבורה ועוד. איכות התשתיות במדינה ככלל, ותשתיות אנרגיה בפרט, הן מאבני היסוד של הצמיחה הכלכלית.[1] שיפור האיכות של תשתיות האנרגיה מגדיל את שיעורי הצמיחה במגזרי התעשייה השונים ואת צמיחת התמ"ג.[2] מחסור בתשתיות האנרגיה, התנהלות לא יעילה של מגזר האנרגיה או חוסר אמינות של רשת החשמל פוגעים בצמיחת המדינה ורווחת הציבור.

ביטחון אנרגטי בא לידי ביטוי באספקה רציפה של חשמל איכותי ונקי לכלל צרכני המשק במחיר תחרותי.[3] הבטחת ביטחון אנרגטי הינו יעד מרכזי במדיניות משק האנרגיה בכל מדינה מפותחת. להשגת ביטחון אנרגטי מדיניות משק האנרגיה צריכה להתמקד בארבעה יעדים מרכזיים:

- אמינות החשמל.
- איכות השירות.
- איכות הסביבה.
- מחיר תחרותי של החשמל.

יעדים אלו תלויים זה בזה והשקעה או קידום של יעד אחד משפיעים, ולעיתים באים על חשבון, ההשקעה בהשגת יעד אחר. כך, בהינתן מגבלת התקציב, הגדלת ההשקעות בתשתיות ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות באה על חשבון ההשקעות בשדרוג רשת קיימת או תשתיות ייצור החשמל מגז. לכן, כדי לתכנן ולנהל משק אנרגיה באופן יעיל, יש לבחון חלופות השקעה לפיתוחו בהתבסס על מודל כמותי שמאפשר להתחשב בכלל יעדי משק האנרגיה תוך התחשבות באילוצי הרשת, ומקורות אנרגיה שונים.

אף על פי שקיימת הסכמה רחבה לגבי חשיבותו של מגזר האנרגיה, ותפקידו המרכזי בהשגת צמיחה כלכלית ושגשוג המשק, ישראל אינה משתמשת כיום במודל כמותי המאפשר לבחון חלופות השקעה במשק האנרגיה כדי לקבל החלטות בנוגע למעבר לאנרגיות מתחדשות, פיתוח ושדרוג הרשת הקיימת ומחיר החשמל שתומך בשינויים אלה.

כתוצאה מכך, חסרה בישראל תוכנית יעדים והשקעות אשר תתייחס **בו בזמן** לנושאים הבאים:

- שדרוג ופיתוח רשת החשמל.[4]
- הגדלת שיעור החשמל שמיוצר מגז ואנרגיות מתחדשות.
- הגדלת השימוש בתחבורה בהנעה חלופית (גז או חשמל).
- הקטנת פליטות מזהמים ומקרי מוות מזיהום אוויר.
- שיפור איכות השירות.[5]

---

[1] ראו בנק ישראל (2019), פרק 4.

[2] ראו איור 16 בנספח המציג את המתאם החיובי בין תשתיות החשמל לבין התוצר לנפש, וראו בנוסף Isaksson (2010), Gakuo (2015), ו-
https://thehill.com/blogs/congress-blog/energy-environment/281939-energy-infrastructure-investments-vital-to-economic.

[3] בנייר מדיניות זה המושג "חשמל איכותי" מתייחס לאיכות השירות באספקת החשמל.

[4] בפרט, חסרה תוכנית יעדים והשקעות להקטנת דקות אי-אספקת חשמל.

[5] כגון: הקטנת משך הזמן הכרוך בקבלת כלל האישורים להפעלת תחנת כוח, הקמת תחנת כוח חדשה, וחיבור לחשמל של בית עסק חדש.

העדר מדיניות כוללת לפיתוח וקידום משק האנרגיה פוגע בביטחון אנרגטי – מהווה חסם לפיתוח משק החשמל, ולהשקעה הנדרשת בתשתיות – וכפועל יוצא פוגע בצמיחה הכלכלית וברווחת הציבור.[6]

לאור זאת אנו ממליצים:

1. **לקבוע את כלל היעדים ארוכי הטווח למשק האנרגיה (2030);**
2. **לבחון חלופות השקעה להשגת היעדים בהתבסס על מודל דינמי של משק האנרגיה.**

בהתאם לחלופת ההשקעות שתיבחר יש לגבש תוכנית עבודה מפורטת של הביצוע להשגת היעדים ב-2030, ולנהל מדיניות רציפה להשגת יעדים שנתיים ויעדים ארוכי טווח, תוך התייחסות לשינויים טכנולוגיים שמתרחשים במשק האנרגיה.

[6] בהשוואה למדינות מפותחות – אוסטריה, דנמרק, פינלנד, הולנד, אירלנד ושוודיה (מדינות הסמן) – היקף התשתיות בישראל נמוך בכ-20% ורמת התוצר לנפש נמוכה בכ-30%, ראו איור 16 בנספח.

2. מצב משק האנרגיה בישראל

משק האנרגיה ומשק החשמל בישראל נתונים לרגולציה על ידי כמה משרדים ממשלתיים: משרד האנרגיה, אשר אחראי על התוויית מדיניות כוללת במשק האנרגיה, רשות החשמל, האחראית על קביעת תעריף החשמל, והמשרד להגנת הסביבה.

חברת החשמל לישראל בע"מ (חח"י), חברה ממשלתית, מהווה מונופול טבעי במקטעי הייצור,[7] ההולכה,[8] החלוקה[9] והאספקה.[10] החברה מחזיקה ומפעילה שבעה עשר אתרים של תחנות כוח עם כושר ייצור מותקן כולל של GW 13.3. בסוף שנת 2018 היו לחברה שישים ואחת יחידות ייצור, מתוכן שש עשרה יחידות ייצור קיטוריות, חמש עשרה יחידות טורבינות גז תעשייתיות וארבע עשרה יחידות טורבינות גז במחזור משולב, ושש עשרה יחידות טורבינות גז סילוניות.

בנוסף לייצור החשמל, תפקידי חברת החשמל כוללים: הכנת תוכניות פיתוח רשת החשמל,[11] פיתוח רשת החשמל על כל מקטעיה, תחזוקת רשת החשמל על כל מקטעיה, אספקת שירותי תשתית וגיבוי ורכישת חשמל מיח"פים.

בחודש יולי 2018 אושרה בכנסת הרפורמה במשק החשמל ושינוי מבני בחברת החשמל. מטרות הרפורמה הן הגדלת התחרות והיעילות באספקת החשמל למשק, תוך מזעור עלויות ההפקה, ההולכה והחלוקה של החשמל למשתמשים הסופיים במשק, שיפור אמינות האספקה והשירות לצרכן ומימוש פוטנציאל ייצור החשמל על ידי יצרנים פרטיים (ראו לוח 4 בנספח). הרפורמה כוללת: צמצום כוחה המונופוליסטי של חברת החשמל במקטע ייצור החשמל, שימור פעילותה של חברת החשמל במקטעי ההולכה והחלוקה, פתיחת מקטע האספקה לתחרות, הפרדת ניהול המערכת מחברת החשמל, התייעלות והנהגת גמישות ניהולית בחברת החשמל. השינויים במקטע הייצור כוללים מצד אחד מכירת תחנות כוח (אשכול, רמת חובב, רידינג, אלון תבור ושתי יחידות בחגית) ושטחים המיועדים להקמת תחנות נוספות ליצרנים פרטיים, ומצד שני הקמה על ידי חברת החשמל של שתי תחנות כוח חדשות המופעלות במחזור משולב. במקטעים של הולכה וחלוקה חברת החשמל תישאר מונופול טבעי. אלה מקטעים בעלי יתרונות מובהקים לגודל ועל כן הם נשארים בבעלות ממשלתית. מקטע האספקה לצרכנים הסופיים יוצא חלקית מחח"י לשוק הפרטי. השינויים במבנה משק החשמל כוללים הוצאת יחידות ניהול המערכת ותכנון ופיתוח מחברת החשמל לחברה ממשלתית נפרדת. הוצאת יחידות ניהול המערכת נועדה לאפשר פיתוח של שוק שיתקיים בו סחר בחשמל בין היצרנים השונים, ובינם לבין מנהל המערכת, ולהגביר את התחרות, וגם לפתור את בעיית ניגוד העניינים הפוטנציאלי שבו חברת החשמל היא גם שחקן מרכזי במקטע הייצור וגם הגוף הקובע מי ייצר. הוצאת יחידת התכנון והפיתוח נועדה לאפשר התמודדות עם חוסר תכנון ופיתוח לטווח הארוך, השקעות חסר במערכות ההולכה והחלוקה והעדר תוכנית אב למשק החשמל בישראל.

בהתאם למתווה הרפורמה, ההספק המותקן של חח"י צפוי לקטון בשנים הבאות בגין מכירת תחנות ליצרנים פרטיים עד לכדי GW 8.6 בשנת 2025, ובמקביל יעלה בהדרגה נתח השוק של יצרני חשמל פרטיים (קוואדרו תשתיות לאומיות, 2019).

---

[7] בשנת 2018 נתח השוק של חח"י בהספק מותקן הינו כ-80% ובייצור בפועל כ-69%. בשנת 2025 נתח השוק של חח"י בהספק מותקן צפוי לעמוד על כ-44% ובייצור בפועל על כ-40%.

[8] מקטע ההולכה כולל קווי הולכה ברמת **מתח-על** של 400 קילו וולט (ק"ו), וקווי הולכה ברמת **מתח עליון** של 161 ק"ו.

[9] מקטע החלוקה בנוי מקווי מתח גבוה 22 ק"ו, מקווי מתח נמוך 220 וולט ומשנאי חלוקה המקשרים ביניהם.

[10] בהתאם לחוק משק החשמל, התשנ"ו-1996 (להלן – החוק, או חוק משק החשמל) חלה חובה על חח"י, כבעלת רישיון ספק שירות חיוני (להלן – סש"ח), לספק, בין היתר, שירות לכלל הציבור בלא אפליה, בהתאם לאמות מידה שקבעה רשות החשמל, באמינות וביעילות.

[11] אחת לכמה שנים חח"י מגבשת תוכניות פיתוח ותחזוקה, בדרך כלל למשך חמש שנים, אשר יישומן דורש ממנה השקעות כספיות ניכרות.

2.1 הביקוש לחשמל

הביקוש השנתי לחשמל בישראל בשנת 2018 עמד על כ-70 TWH, והשיא השעתי של הביקוש לחשמל עמד על כ-12,900 MW (כ-12,921 MW בקיץ, כ-11,794 MW בחורף).[12] קצב הגידול בביקוש לחשמל עמד על כ-6.4% בשנים 1994–1999, 3.5% בשנים 2000–2009, 2.9% בשנים 2010–2014 ו-3.2% בשנים 2015–2018.

על פי תחזית רשות החשמל לשנת 2030 קצב הגידול השנתי של הביקוש לחשמל נע בין 1.7%–3.7%.[13] לוח 1 מציג את סך הביקוש הצפוי לחשמל ושיא שעתי של הביקוש לחשמל בשנים 2025, 2030 לפי תרחישים שונים של קצב הגידול בחשמל (ראו גם לוח 3 בנספח).

לוח 1: הביקוש הצפוי לחשמל בשנת 2025 ו-2030, לפי קצב הגידול בביקוש

קצב גידול שנתי	2025		2030	
	סך הביקוש לחשמל, TWH	שיא שעתי של ביקוש לחשמל, GW	סך הביקוש לחשמל, TWH	שיא שעתי של ביקוש לחשמל, GW[14]
1.7%*	78.4	14.5	85.3	15.8
2.7%	83.9	15.6	96.0	17.8
3.7%	89.8	16.7	107.7	20.0

מקור: רשות החשמל.

* תרחיש זה מתייחס לעמידה ביעדי התייעלות אנרגטית כמו הקטנת הבזבוז, שימוש במכשירי חשמל יעילים בניצול החשמל, שימוש באמצעים טכנולוגיים לייעול הצריכה והטמעת עקרונות שימור אנרגיה בתכנון, שיפוץ והקמת מבנים (משרד התשתיות הלאומיות, 2010).

בהתאם לטווח התחזית לגבי קצב הגידול בביקוש לחשמל, הביקוש לחשמל צפוי לעמוד:

- בשנת 2025 על כ-78-90 TWH, שיא שעתי של ביקוש לחשמל צפוי לעמוד על כ-15–17 GW.
- בשנת 2030 על כ-85-112 TWH, שיא שעתי של ביקוש לחשמל צפוי לעמוד על כ-16–20 GW.

[12] צריכת החשמל בפועל מחושבת לפי ייצור בניכוי 8% אבודים (החל משנת 2019 צריכת החשמל בפועל מחושבת לפי ייצור בניכוי 7.5% אבודים עקב גידול בייצור מבוזר).

[13] התחזיות מסתמכות על הערכות הסטטיסטיקאי הראשי בחברת החשמל (רשות החשמל, 2018ב, עמודים 2, 21), גאלו (2017) והרצוג (2016). תרחיש 1.7% הוא תרחיש המניח עמידה ביעדי התייעלות אנרגטית, תרחיש 2.7% מניח עצימות אנרגטית של 0.71 וקצב גידול שנתי בתוצר של 3%, תרחיש 3.7% מבוסס על הנחות של חדירה גבוהה של רכבים חשמליים, עצימות אנרגטית גבוהה מ-1, וקצב גידול שנתי בתוצר של 3%. מכיוון שהצריכה של חשמל לנפש בישראל נמוכה בכ-17% מהצריכה של חשמל לנפש במדינות OECD ובכ-28% ממדינות מפותחות כגון אוסטריה, דנמרק, פינלנד, הולנד, אירלנד ושוודיה (ראו לוח 3 בנספח), סביר לשער שקצב הגידול בביקוש לחשמל בישראל יהיה קרוב יותר לגבול העליון של התחזית.

[14] בשנים 2003–2018 קצב הגידול השנתי בשיא שעתי של הביקוש לחשמל עמד על כ-2.8% – דומה לקצב הגידול השנתי בסך הביקוש לחשמל. לכן אנו מניחים שקצב הגידול בשיא שעתי של ביקוש לחשמל דומה לקצב הגידול בביקוש לחשמל.

2.2 היצע החשמל (הספק מותקן)

בשנת 2018 עמד ההספק המותקן של המשק על GW 17.2 (כולל אנרגיות מתחדשות). מקדם ההספק של אנרגיה סולארית פוטו-וולטאית עומד על כ-19% מסך הייצור במשק. בשנת 2025 ההספק המותקן המשקי צפוי לעמוד על כ-GW 19.7 ללא אנרגיות מתחדשות (גידול של כ-GW 2.9 ביחס לשנת 2018) וכ-GW 20.8 כולל אנרגיות מתחדשות (גידול של כ-GW 3.6 ביחס לשנת 2018, ראו גם איור 18 בנספח).

בשנת 2030, כדי להבטיח ביטחון אנרגטי ולספק חשמל בהיקף שעונה על צורכי הביקוש, נדרש להעמיד את ההספק המותקן המשקי על כ-GW 23.4–26.9.[15] לצורך כך (ובהתחשב בעובדה שבחמש השנים הקרובות הספק מותקן של כ-GW 3.8 מיועד לגריטה)[16] **בין השנים 2020–2030 נדרש לעמוד ביעד של הכפלת היקף ההספק המותקן** על ידי הקמה של:

- הספק מותקן מאנרגיות שאינן מתחדשות בסך של כ-GW 10–12.[17]
- הספק מותקן מאנרגיות מתחדשות בסך של כ-GW 7.5.

יש לציין כי יש אי וודאות לגבי היקף ההספק המותקן החדש שנדרש לכניסה של רכב חשמלי.

2.3 קביעת יעדים – כלי הכרחי לניהול מדיניות

מדיניות משק האנרגיה במדינות מפותחות מתבססת על הצבת יעדים ארוכי טווח וקביעת יעדים כמותיים מדידים וצעדי מדיניות רציפים להשגת יעדים שנתיים ויעדים ארוכי טווח. **העקרונות שהופכים את היעדים לאמצעי מדיניות יעיל הם**:

- **השפעה** מקרו-כלכלית משמעותית על המשק.
- **פשטות** – קביעת יעדים מדידים וברורים הנמדדים באמצעות נתונים זמינים באופן תדיר, מה שמאפשר לתכנן את הפעילות הממשלתית לאורך תקופה ארוכת טווח, לעקוב אחר תמונת מצב בזמן אמת ולבצע התאמות מדיניות, על מנת לוודא הגעה ליעדים.
- **אופרטיביות** – קביעת יעדים שהם בליבת העשייה של גוף ספציפי מוגדר בממשלה שהוא בעל יכולת להשפיע על מימוש היעדים.
- **הסכמה רחבה** – קביעת יעדים אסטרטגיים, משמעותיים ושיש עליהם הסכמה רחבה, מה שמאפשר לשמר אותם כרלוונטיים, יציבים ועמידים לאורך כל התקופה, על אף שינויים שחלים בממשלה.

מדיניות משק האנרגיה מתמקדת בהשגת ארבעה יעדים מרכזיים: אמינות היצע חשמל, איכות השירות, איכות הסביבה ומחיר תחרותי של החשמל. איור 1 מסכם את ארבעת היעדים שהשגתם תורמת לשיפור הביטחון האנרגטי המשקי.

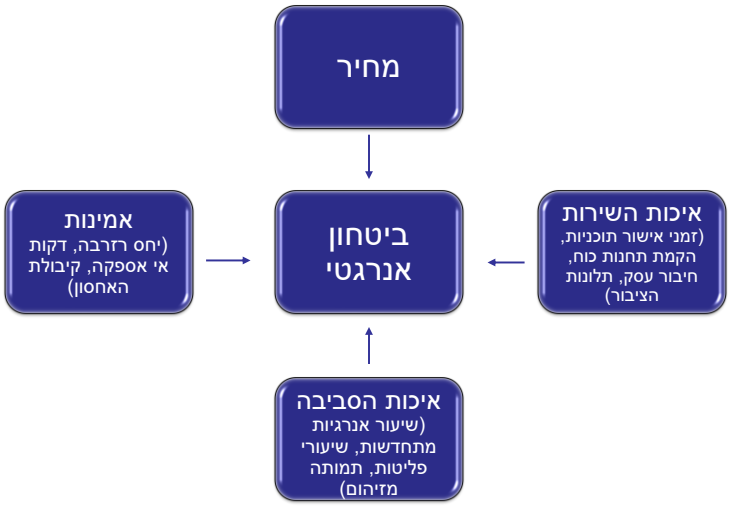
---

[15] היקף נדרש של הספק מותקן עתידי תלוי בקצב הגידול בביקוש לחשמל. התחזית של GW 23.4 הספק מתוקן נדרש בשנת 2030 מתבססת על הנחה שקצב הגידול בביקוש לחשמל יעמוד על 2.7%, והתחזית של GW 26.9 מניחה שקצב הגידול בביקוש לחשמל יעמוד על 3.7%. שתי התחזיות לגבי ההספק המותקן בשנת 2030 מניחות עמידה ביחס רזרבה של 19%, שהם שווי ערך לשלוש שעות שבהן לא מתאפשרת הספקה של מלוא הביקוש, כפי שגם יוסבר בהמשך.

[16] מיועדות לגריטה תחנות פחמיות, מתוכן גריטה של תחנות כוח אורות רבין 1–4 עם הספק מותקן של MW 1,440 שצפויה בשנת 2022.

[17] הספק מותקן זה כולל פרויקטים בהיקף של MW 2,850 שנמצאים או בתהליך הקמה או שהמכסות שלהם פורסמו, והקמה על ידי חח"י של 2 תחנות כוח מחז"מ עם הספק מותקן MW 1,200 במקום תחנות כוח אורות רבין 1–4 שצפויות להיגרט.

איור 1: יעדי משק האנרגיה[18]



יעדים אלה קשורים זה בזה ותלויים זה בזה. כל השקעה להשגת יעד מסוים היא בעלת השלכות שונות על היעדים האחרים (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2016). **מהממשלה מצופה לתכנן ולנהל מדיניות השקעות במשק האנרגיה באמצעות הצבת יעדים ארוכי טווח וצעדי מדיניות רציפים להשגת יעדים שנתיים ויעדים ארוכי טווח לאספקה רציפה של חשמל איכותי ונקי במחיר תחרותי.**

כדי לבחון את מצבה של ישראל במדדים אמינות היצע חשמל, איכות השירות, איכות הסביבה ומחיר אנחנו משווים את ישראל לקבוצה של שש מדינות מפותחות באירופה – אוסטריה, דנמרק, פינלנד, אירלנד, הולנד ושוודיה (מדינות הסמן). מדינות ההשוואה שנבחרו דומות לישראל בגודלן ובאופי כלכלתן, אשר מתבססת, בדומה לישראל, על הון אנושי. מדינות ההשוואה מדורגות גבוה במדדים מקרו-כלכליים רבים (פריון העבודה, איכות כוח האדם, איכות התשתיות ועוד), ולכן קביעת היעדים לישראל בהתאם לנהוג במדינות השוואה אלו תתרום לצמיחה ותשפר את התחרותיות של ישראל בזירה העולמית.

[18] להרחבה ראו איור 15 בנספח.

3. יעד אמינות היצע החשמל ואיכות השירות

היצע החשמל מבטא את ההספק הנדרש למשק ("ההספק המותקן"), אשר מבטיח את אמינות אספקת החשמל לצרכנים בהינתן אי הוודאות של קצב הגידול בביקוש לחשמל, תחזוקה של מתקני ייצור, תקלות לא צפויות, מקדם ההספק של אנרגיית החשמל והתנודות בביקושים. מדדי סיכון אי-אספקת החשמל שבאמצעותם נהוג לבחון את אמינות היצע החשמל מפורטים בסעיפים הבאים.

3.1 מדד יחס רזרבה

מדד מקרו מקובל לבחינת אמינות היצע החשמל הוא יחס הרזרבה. המדד מחושב כיחס בין ההספק המותקן של חשמל במשק לבין הביקוש לחשמל בשעות השיא. למשק יש רזרבה אם ההספק המותקן של המשק גבוה מהביקוש לחשמל בשעות השיא (מדד יחס הרזרבה גבוה מ-1). ההספק המותקן אינו עומד בביקוש אם ההספק המותקן של המשק נמוך מהביקוש לחשמל בשעות השיא (מדד יחס הרזרבה נמוך מ-1). ההספק המותקן נדרש להיות גבוה מהביקוש הצפוי על מנת להבטיח שניתן יהיה לספק את הביקוש גם במקרה שבו חלק מהמתקנים לא יהיו זמינים, וגם במקרה שבו הביקוש יהיה גבוה מהביקוש הצפוי (ראו איור 19 בנספח). היעד הלאומי של יחס הרזרבה מתבסס על השוואה בין העלות המשקית של אי-אספקת חשמל והעלות המשקית כתוצאה מהוספת יחידת ייצור.[19] כך יחס הרזרבה של 19% שווה ערך לשלוש שעות שבהן לא מתאפשרת הספקה של מלוא הביקוש.

<u>יחס הרזרבה של 20% הוא היעד לאומי בישראל אשר נקבע, בשנת 2010, על ידי שר התשתיות הלאומיות.</u>[20] יעד זה דומה ליעד שנקבע במדינות מפותחות.[21] למרות זאת, רשות החשמל מגדירה שלוש רמות נמוכות יותר של יחס רזרבה (15%, 17%, 19%) לבחינת ההספק הקונבנציונלי הנדרש למשק.

בשנת 2018 עמד יחס הרזרבה בישראל על 33%. הנחת רשות החשמל לגבי שיא שעתי של ביקוש לחשמל הינה 14.4 GW בשנת 2020 ו-17.0 GW בשנת 2025 (לוח 2). הנחה זו מגלמת קצב גידול שנתי גבוה של 3.4% בשיא שעתי של ביקוש לחשמל. תוכנית פיתוח משק החשמל מניחה קצב גידול של 2.5% בהספק מותקן ללא אנרגיות מתחדשות, וקצב גידול של 2.4% בהספק מותקן כולל אנרגיות מתחדשות. בהנחות אלה, עד לשנת 2025 יחס הרזרבה צפוי לרדת לכ-22% – שתי נקודות אחוז מעל היעד של 20% שנקבע בישראל עבור יחס רזרבה. **המשמעות של הגדלת הספק מותקן בקצב נמוך מקצב הגידול בביקוש לחשמל היא הקטנת אמינות היצע החשמל**. יש לציין כי חריגה משמעותית מטה מיחס הרזרבה מצביעה על עלייה בסיכון אי-אספקת החשמל, בעוד שחריגה משמעותית מעלה ביחס הרזרבה מלמדת על תכנון לא אופטימלי של רשת החשמל.

---

[19] מדד יחס הרזרבה נגזר ממדד האמינות LOLE – Loss of Load Expectancy – שמתייחס למספר השעות שבהן לא מתאפשרת אספקה של מלוא הביקוש. קריטריון LOLE נקבע בנקודה שבה מתקיים שוויון בין ההשקעה הנדרשת בהקמת הספק מותקן נוסף לבין החיסכון שמתקבל כתוצאה מצמצום השעות שבהן לא מתאפשרת אספקת החשמל. הערך של קווט"ש לא מסופק הוא כ-30 דולר לקווט"ש. בהינתן 30 דולר לקווט"ש לא מסופק, המדד המיטבי לתוחלת מספר השעות הלא מסופקות הוא כ-3 שעות (לפי עבודת תפ"ט בחברת החשמל מ-2010 בחירה במדד LOLE=3 מבטיחה כי ההשקעה בהקמת הספק נוסף משתווה לתועלת שבחיסכון באנרגיה הבלתי מסופקת, ראו רשות החשמל, 2018ב, פרק 4). מדד LOLE גבוה יותר, למשל 6 שעות, שווה ערך ליחס רזרבה נמוך יותר – 17%.

[20] החלטת שר התשתיות עוזי לנדאו מיום 31 באוגוסט 2010.

[21] היעד של מדינת ישראל ל"מספר השעות שבהן לא מתאפשרת הספקה של מלוא הביקוש" דומה ליעד במדינות הסמן ועומד על 3 שעות, ראו איור 17 בנספח.

לוח 2: אמינות היצע החשמל – שיא שעתי של ביקוש לחשמל (בפועל ותחזית), סך הספק מותקן ומדד יחס הרזרבה, 2010–2025

שנה	שיא שעתי של ביקוש לחשמל (GW)	סך הספק מותקן ללא מתחדשות (GW)	סך הספק מותקן (אקוויוולנטי) כולל מתחדשות (GW)	יחס הרזרבה (ללא אנרגיה מתחדשת)	יחס הרזרבה (כולל אנרגיה מתחדשת)
2010	11.0	12.8	12.8	17%	17%
2015	12.8	16.7	16.9	30%	32%
2020	14.4	17.4	18.5	20%	28%
2025	17.0	19.7	20.8	15%	22%

מקור: רשות החשמל.

בהקשר זה חשוב לציין את הכלי של הפחתת ביקושים בכלל וביקושים בשעות השיא בפרט; ניהול ביקושים הוא כלי אשר יכול לשנות בצורה דרמטית את יחס הרזרבה. כלים להפחתת ביקושים קיימים בשוק, וההשקעה בהפחתת ביקושים קטנה מהוספת אמצעי ייצור.

חוסר הוודאות באשר לקצב גידול הביקוש לחשמל ומשך זמן גבוה של הקמת תחנות כוח חדשות מחייבים בחינה רציפה של קצב הגידול בביקוש לחשמל, **מדיניות** עקבית של ניהול הביקוש לחשמל (מחיר דיפרנציאלי של חשמל, מניה חכמה ועוד), **מדיניות** של תכנון והקמה של ההספק המותקן, באופן שיבטיח עמידה ביעד לאומי של יחס הרזרבה, ולבסוף **מדיניות** השקעות במחקר ופיתוח טכנולוגיות ורכישה של טכנולוגיות לאחסון החשמל.

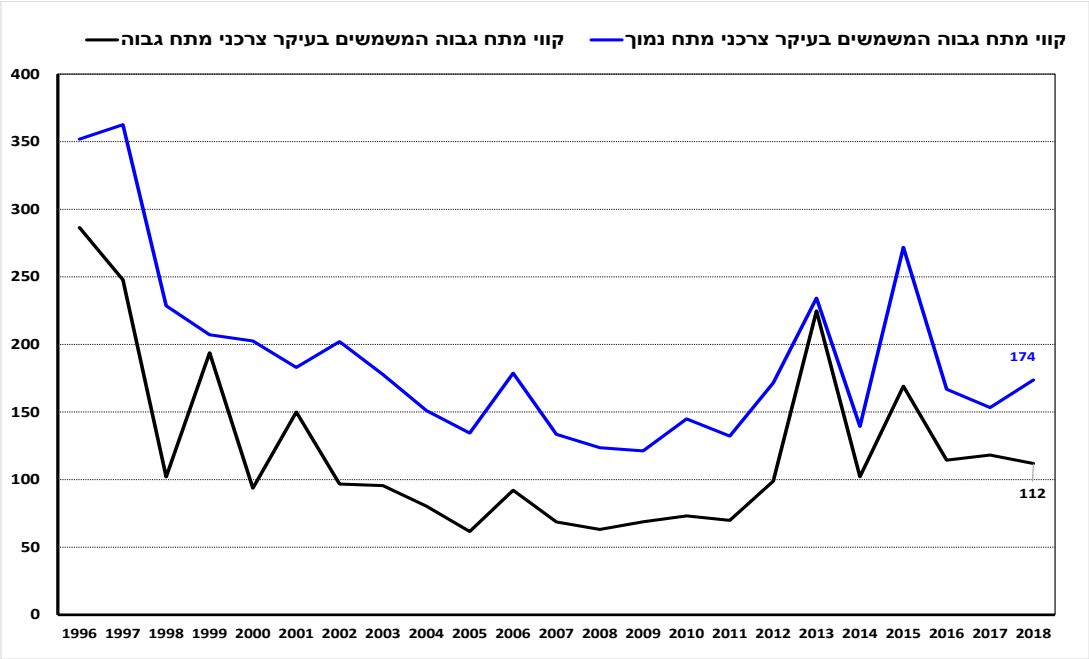
לאור העובדה שמשק האנרגיה בישראל הוא אי חשמלי – אינו מחובר בתשתיות רציפות למדינות אחרות ותלוי בנקודות כניסה של מקורות אנרגיה דרך הים (נמלים, צינורות) – על אחת כמה וכמה **חשובה מדיניות רציפה לעמידה ביעד הרזרבה על מנת להבטיח את אמינות האספקה**. בהקשר זה יש לזכור את האיום הביטחוני על מדינת ישראל שיכול להתבטא גם בפגיעה משמעותית במתקני ייצור החשמל, במתקני הטיפול בגז שבים או בתשתית ההולכה. תרחיש כזה מחייב היערכות מוקדמת (כמו ביזור של מתקני הייצור, הקפדה שלא תהיה תלות במתקן ייצור בודד ועוד) על מנת לאפשר את המשך תפקוד המשק גם במצב חירום.[22] בנוסף, תחנות כוח גדולות חייבות להיות דו-דלקיות, דבר המבטיח גמישות בייצור החשמל.

[22] יכולת עתידית של אגירת החשמל תאפשר להגדיל את אמינות היצע החשמל.

3.2 מדד דקות אי-אספקה[23]

מדד דקות אי-האספקה הוא מדד מקובל לבדיקת אמינות האספקה ב**מקטע החלוקה**.[24] המשמעות של המדד היא: למשך כמה דקות בשנה הופסק הלקוח מאספקת החשמל. בשנת 2018 עמד מספר דקות אי-האספקה (איור 2) על כ-112 דקות לצרכני מתח גבוה וכ-174 דקות לצרכני מתח נמוך. בין השנים 1996–2009 חל שיפור ניכר במספר דקות אי-אספקת החשמל. מספר דקות אי-האספקה של החשמל ירד מכ-208 דקות בממוצע בשנים 1996–1999 לכ-71 בממוצע בשנים 2005–2009 עבור צרכני מתח גבוה, ומכ-288 דקות לכ-138 דקות עבור צרכני מתח נמוך. מאז שנת 2009 חלה הרעה משמעותית בדקות אי-האספקה של החשמל לשני סוגי הצרכנים.[25]

איור 2: דקות אי-אספקה, לפי סוג צרכן



מקור: רשות החשמל.

---

[23] מדד זה קרוי System Average Interruption Duration Index - SAIDI. המדד מחושב באמצעות סכימה של מכפלת ההספק המותקן שהופסק בזמן המחושב להפסקה על פני כל הפסקות החשמל שנרשמו בזמן נתון, חלקי סך ההספק המותקן ברשת (המשמש כקירוב למספר הלקוחות). המדד מחושב על בסיס חודשי או שנתי.

$$SAIDI = \frac{\sum \text{Installed Capacity Interrupted} \cdot \text{Time of Interraption}}{\text{Total Installed Capacity in the System}}$$

[24] מדד מקובל לבחינת אמינות אספקת החשמל ב**מקטע ההולכה** הוא Average Interruption Time – AIT, זמן ממוצע לאי-אספקה. מדד AIT משקף את האנרגיה הבלתי מסופקת במהלך שנה במונחי דקות, והוא מחושב על ידי מכפלה של מספר הדקות בשנה ביחס שבין האנרגיה הבלתי מסופקת לסך הצריכה השנתית.

$$AIT = \frac{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot \text{Energy not Supplied}}{\text{Demand}}$$

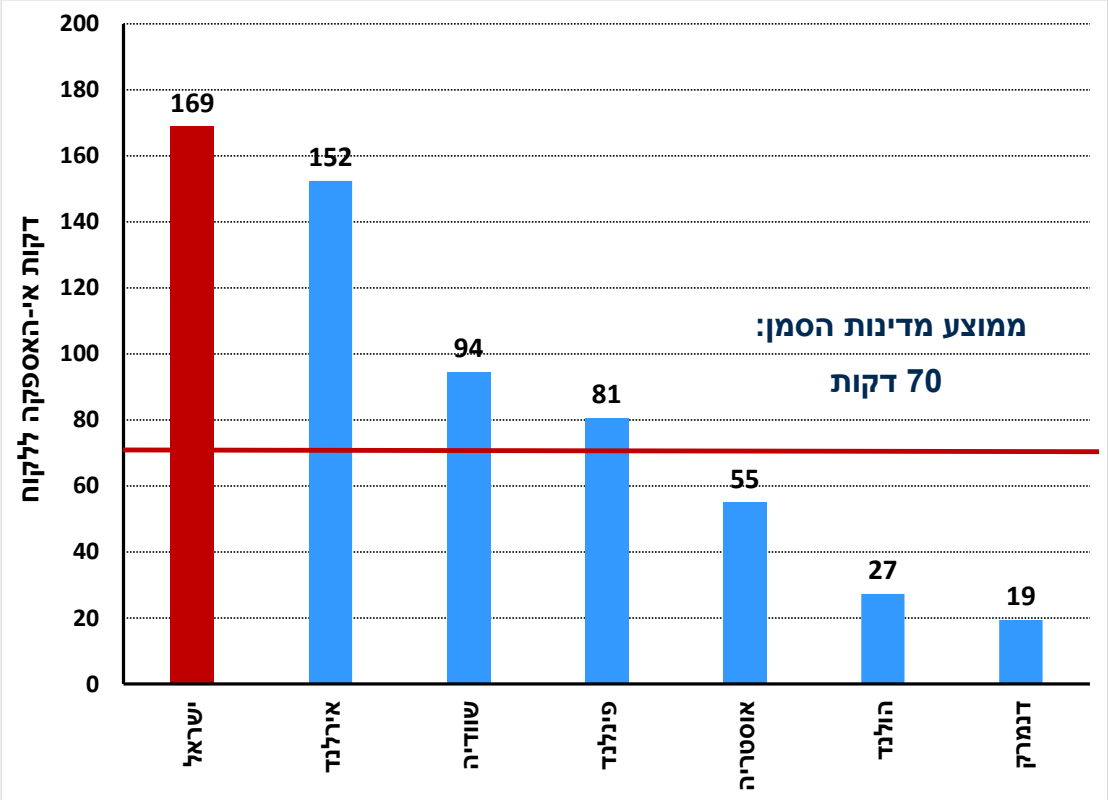
[25] בשנים 2013 ו-2015 עלו דקות אי-האספקה בממוצע לצרכן בשל אירועי סערה נקודתיים.

הסיבות העיקריות לעלייה בדקות אי-אספקת החשמל בשנים 2009–2017 הן:

- **חוסר השקעה בפיתוח הרשת.** שיעור הביצוע של תוכניות פיתוח הוא נמוך: בבחינת סך כל אורך קווי ההולכה בשנת 2017 אל מול היעד נמצא כי בשנים 2008–2017 פותחו בפועל רק 80% מיעדי הפיתוח של קווי הרשת. ביצוע בפועל בקווי מתח עליון – 87% מהיעד, ביצוע בפועל בקווי מתח-על – 56% מהיעד (בוטוש, 2019).
- **התיישנות הרשת.** כ-50% מרשת החלוקה היא בת יותר מ-30 שנה, וכ-28% מהרשת היא בת 45 שנה ויותר. בהתאם להערכה מעודכנת של חח"י, כ-61%–67% מהרשת הישנה בת 45 השנה ומעלה דורשת חידוש. כתוצאה, מעל 20% מסך דקות אי-האספקה נובעות מסיבות הקשורות להתיישנות הרשת.
- **אחוז נמוך של הרשת נמצא מתחת לאדמה.** בישראל רק 45% מקווי הרשת ממוקמים מתחת לפני הקרקע. שיעור נמוך זה בהשוואה למדינות הסמן משפיע על יעד האמינות, שכן תשתיות מתחת לפני הקרקע מועדות לפחות תקלות.

באיור 3 מוצג מדד דקות אי-האספקה בישראל ובמדינות הסמן, וכן הממוצע במדינות הסמן, שעומד על 70 דקות. בהשוואה בינלאומית מדד דקות אי-האספקה של ישראל (169 דקות בשנת 2016) גבוה פי 2.4 מהמדד במדינות הסמן.

איור 3: מדד דקות אי-האספקה בישראל ובמדינות הסמן (SAIDI)



מקור: חברת החשמל לישראל, Council of European Energy Regulators (2018).

כאמור, רמתו הגבוהה של המדד בישראל מוסברת בחוסר השקעה בפיתוח הרשת, בהתיישנות הרשת ובעובדה שאחוז נמוך מהרשת נמצא מתחת לאדמה. בנוסף, השקעה ברשת מבוזרת תהיה כדאית שכן היא דורשת פחות השקעה בתשתיות הולכה, שהן יקרות מאוד. רשות החשמל גיבשה מנגנון תגמולים שנכנס לתוקף בינואר 2018, אשר מתנה את ההכרה התעריפית לחברת החשמל בהשלמה בפועל של בניית מקטעי הרשת ובמדדי אמינות האספקה. מנגנון זה נועד להביא לשיפור במדדי אמינות האספקה. עם זאת, אין בישראל יעד לגבי דקות אי-אספקת החשמל. כתוצאה, המשק משלם מחיר כלכלי כבד בשל אי-אספקת החשמל.[26] **לאור רמתו הגבוהה של המדד בישראל, ורמתו במדינות הסמן, אנו ממליצים לשקול קביעת יעד של 70 דקות לשנת 2030.**

3.3 יכולת האחסון

עמידה ביעדי משק האנרגיה ומתן מענה למכלול הביקושים מחייבים מערך אחסון ברחבי הארץ, כמו למשל באמצעות בטריות לאחסון חשמל, אגירה שאובה, ואחסון דלקים. מערך כזה ישפר את אמינות היצע החשמל על ידי הגדלת יכולת האחסון של החשמל באמצעות טכנולוגיות אגירת אנרגיה. על פי משרד האנרגיה, המעבר של התחבורה הפרטית והאוטובוסים להנעה חילופית (חשמל בעיקר) והמעבר של מרבית התחבורה הכבדה לגז טבעי יאפשרו, באופן תאורטי, לספק את מרבית צורכי המשק באמצעות בית זיקוק אחד, תוך הסתמכות על ייבוא של יתרת מוצרי הדלק (אף על פי שאין זה מצב אידיאלי, שכן כל תקלה יכולה לפגוע באספקה למשק כולו). נכון לשנת 2015, ישראל ייבאה 76.3% מהדלקים. על מנת להיערך למצב זה נדרש להקים מתקני אחסון שונים, ביניהם לאחסנה של דס"ל, לאחסנה של גפ"מ, ולהוספת מכלי אחסון המאפשרים אחסון של סולר. אחסון הוא גם כלי להבטחת יתירות באספקת גז טבעי. אף על פי שהקמת מאגר גז יבשתי היא צעד מקובל במדינות שבהן הגז הטבעי הוא מרכיב משמעותי בתמהיל הדלקים, **אין בישראל יעד לגבי קיבולת האחסון.**[27]

[26] האומדן של משרד האנרגיה לעלות אנרגיה בלתי מסופקת עודכן בפעם האחרונה בשנת 2009. על פי העדכון האחרון, אומדן עלות אי-אספקה ממוצעת למשק עומד על 111 ש"ח לקוט"ש עבור אי-אספקה בגין התארכות ההפסקות (בגין העלייה במשך זמן אי-האספקה). על פי דוח מבקר המדינה: "ביחס ליעד של 140 דקות אי-אספקה בממוצע ללקוח, העלות המצטברת לשנים 2010–2016 לצרכני החשמל בגין העלייה בהיקף האנרגיה הבלתי מסופקת ברשת המתח הגבוה בלבד הסתכמה ב-3.3–3.5 מיליארד שקלים. העלייה בהיקף האנרגיה הבלתי מסופקת נבעה, בין היתר, משיעורי ביצוע נמוכים של תוכניות הפיתוח שגיבשה חח"י בשנים 2010–2014, ואי חידוש של מקטעי רשת קיימים, הנדרש לאור התיישנותם".

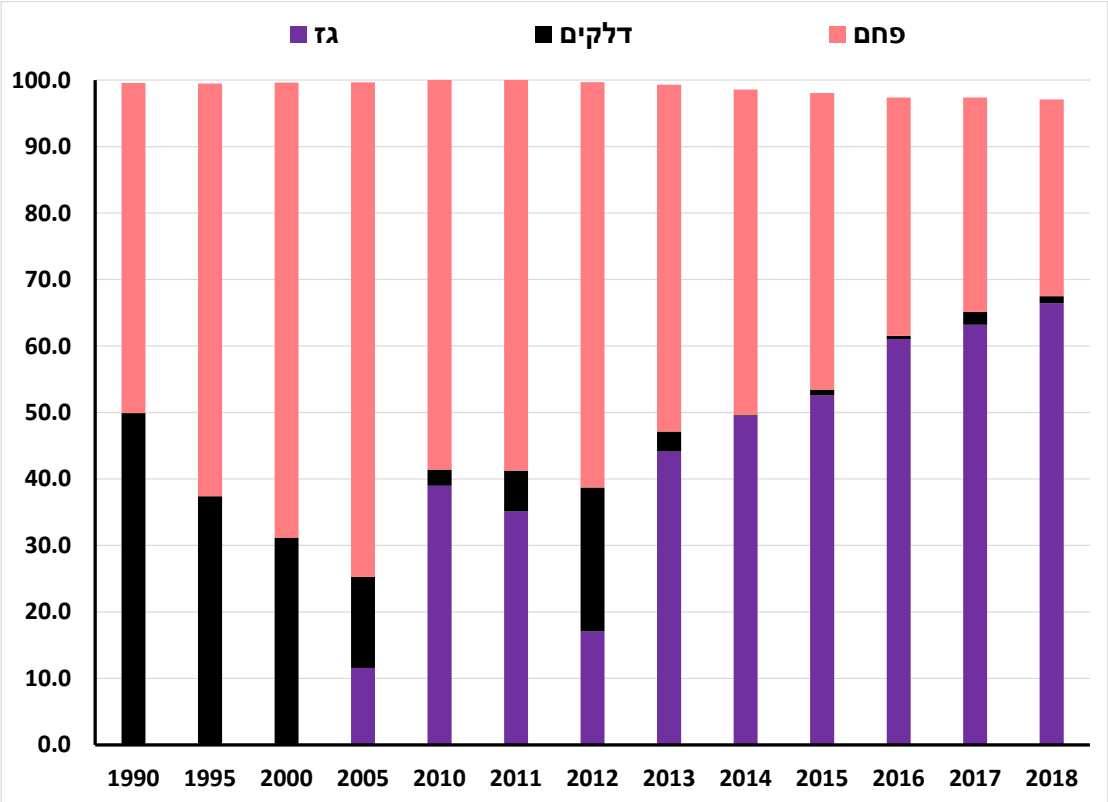
[27] במשרד האנרגיה נבחנות אפשרויות של אחסון הגז בקוורנות בים המלח, מאגרי גז או נפט מדלדלים, ואחסון LNG במכלים.

3.4 תמהיל הדלקים וזמינות החשמל

מדדי זמינות החשמל מתייחסים לסיכונים ארוכי טווח לביטחון אנרגטי. המדדים כוללים תמהיל מקורות האנרגיה לפי סוגים שונים, מידת התלות של המדינה בייבוא מקורות האנרגיה וחיבור (גיבוי) משק החשמל של המדינה לרשת החשמל של המשקים האחרים.

בשנת 2018 היה תמהיל הדלקים המשקי של ישראל מורכב מגז – 66%, פחם – 30%, דלקים – 1% ואנרגיות מתחדשות – 3%. כפי שניתן לראות באיור 4, החשמל בישראל נעשה נקי יותר, שכן בחמש עשרה השנים האחרונות עלה בהתמדה משקל הגז בתמהיל הדלקים וירד חלקם של מקורות הפחם והסולר, המזהמים יותר.

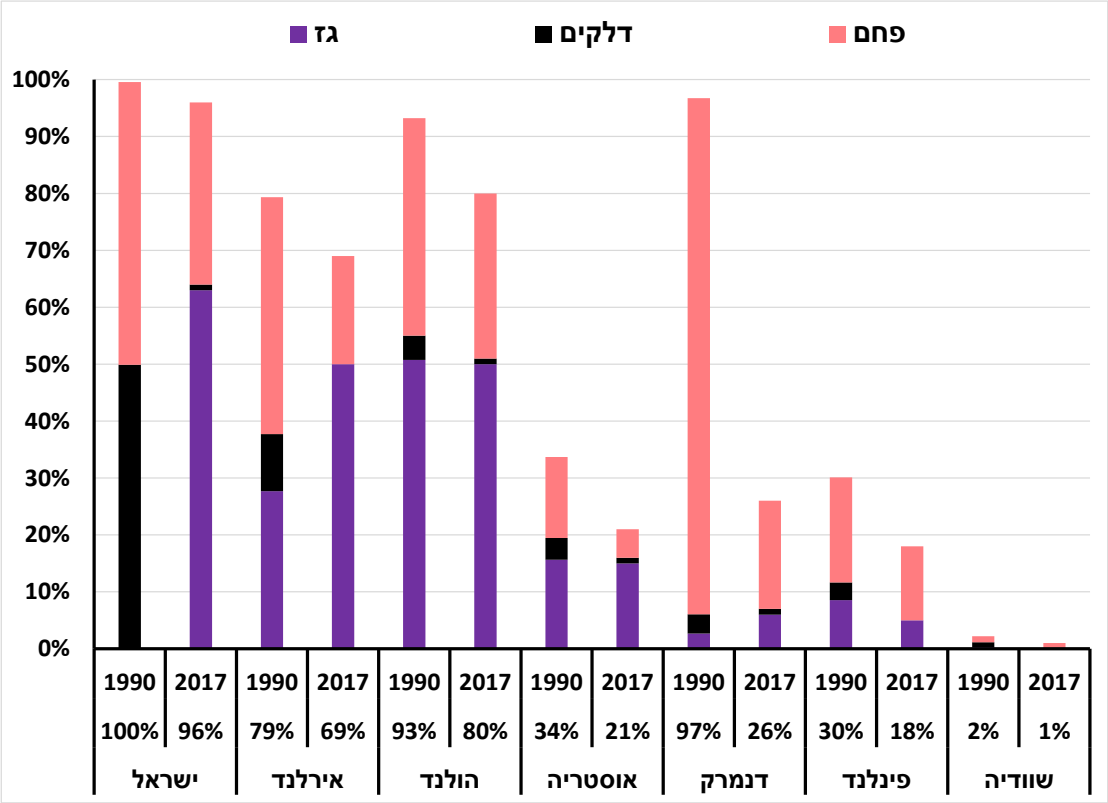
איור 4: תמהיל הדלקים, פחם וגז בישראל



מקור: חברת החשמל לישראל, International Energy Agency, World Bank.

בהתבוננות על מקורות ייצור החשמל ותמהיל הדלקים המשמש בישראל ובמדינות הסמן (איור 5), ניתן לראות כי משקל הפחם והגז בייצור החשמל בישראל גבוה ביותר מפי שניים ממדינות הסמן ומדינות האיחוד האירופי.

איור 5: תמהיל הדלקים, פחם וגז בישראל ובמדינות הסמן (% מסה"כ ייצור חשמל) בשנים 1990 ו-2017



מקור: חברת החשמל לישראל, International Energy Agency, World Bank.

היעד של ישראל לתמהיל הדלקים בשנת 2030 הוא ש-80% מייצור החשמל יהיה באמצעות גז טבעי ו-17% מייצור החשמל יהיה באמצעות אנרגיות מתחדשות. בנוסף, שר האנרגיה הצהיר שהוא מעוניין לשנות את היעד של ייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות ל-30%, הצהרה שמסמנת כיוון אך אינה יעד רשמי כרגע. המשמעות של המעבר לתמהיל דלקים זה הוא הפסקת השימוש בפחם בייצור חשמל בכל תחנות הכוח הפחמיות עד שנת 2030.

3.5 איכות השירות

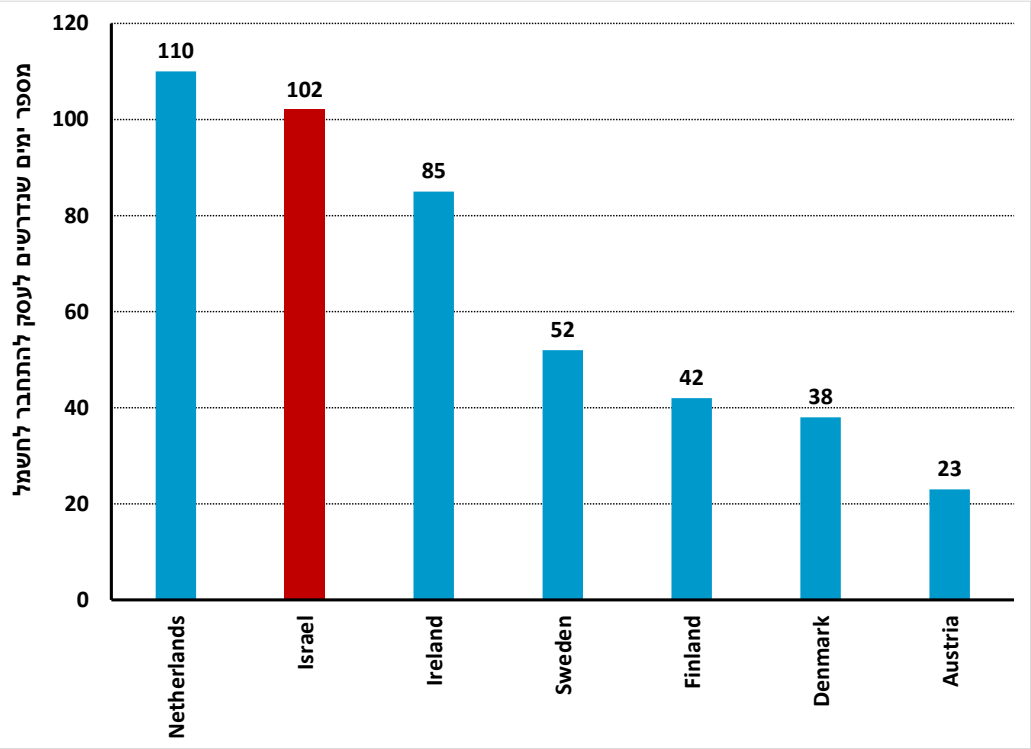
סביבה רגולטורית תקינה ובירוקרטיה לא מכבידה הם קריטיים לפעילות תקינה של משק האנרגיה. משק החשמל נתון תחת רגולציה ממשלתית: הגוף האמון על הרגולציה והפיקוח הוא משרד האנרגיה, הגוף המעורב בנושאי התקציב הוא משרד האוצר ואילו הגוף האחראי על הממשקים ואכיפת תקנות למניעת תופעות לוואי של זיהום וכדומה הוא המשרד להגנת הסביבה.

למרות רפורמות שונות, על משק האנרגיה מוטלת עלות בירוקרטית גבוהה מאוד.

כך למשל, הזמן הדרוש לקבלת כלל האישורים להפעלת תחנת כוח עומד על כ-3 שנים והזמן הדרוש להקמת תחנת כוח הוא כ-10 שנים. זמן ארוך לקבלת האישורים והקמת תחנת כוח פוגע ביכולת משק החשמל להיענות לצרכיו ולהתאים את ההספק המותקן לביקוש.

הזמן הדרוש לחיבור בית עסק חדש לחשמל הוא כ-102 ימים.[28] זהו זמן חיבור ארוך גם ביחס למדינות הסמן,[29] כפי שניתן לראות באיור 6. זמן ארוך לחיבור בית עסק חדש לחשמל מקשה על עשיית עסקים ופוגע בצמיחת המשק.

איור 6: מספר הימים הממוצע הנדרש לעסק כדי להתחבר לחשמל בישראל ובמדינות הסמן, 2016



מקור: חברת החשמל לישראל, World Bank (2019).

המדדים החשובים בתחום הנטל הבירוקרטי הם:

1. זמן דרוש לקבלת כלל האישורים להפעלת תחנת כוח.
2. זמן דרוש להקמת תחנת כוח.
3. זמן החיבור של התחנה לרשת ההולכה.
4. זמן דרוש לחיבור לחשמל של בית עסק חדש.
5. מספר תלונות מוצדקות של צרכני חשמל.

כיום אין במשק האנרגיה בישראל יעדים, לעיתים חסרים מדדים כמותיים, וכן מידע זמין לגיבוש ומעקב אחרי השינויים בטיב הרגולציה ועלות הבירוקרטיה.[30]

[28] על פי מנכ"ל חברת החשמל, בפועל זמן החיבור של בית עסק חדש לחשמל הוא קצר יותר ועומד בשנת 2019 על 39 ימים.

[29] מרגע הגשת בקשת חיבור ועד מענה עליה, עוברים בממוצע כ-11 ימים, תיאום טכני של פרויקט – כ-30 ימים, בדיקת אתר העסק – 3 ימים בממוצע, השלמת עבודות חברת חשמל לחיבור עסק – 60 ימים והתקנת מד וחיבור סופי של עסק בערך יום אחד.

[30] מדינות מפותחות מנהלות מדיניות של הפחתת עלות הבירוקרטיה על ידי מדידתה באופן שיטתי.

4. יעדי איכות הסביבה

יעדי איכות הסביבה מתייחסים לשימוש במשאבי טבע (אוויר, מים, דלקים) בייצור החשמל,[31] צמצום פליטת גזי חממה, צמצום פליטת מזהמים אחרים (דוגמת SO_2, NO_2) ושיעור התמותה מזיהום אוויר. הנציבות האירופית תיקנה תקנות למימון אנרגיה ממקורות מתחדשים בענפי החשמל (כמו גם בענפים אחרים, כמו תעבורה) וכללה גם קריטריונים של קיימות לדלקים ביולוגיים, גזים, נוזלים ומוצקים, ובמסגרתה עידוד פרויקטים של אנרגיה מתחדשת. היעדים המקובלים בתחום איכות הסביבה מפורטים בסעיפים הבאים.

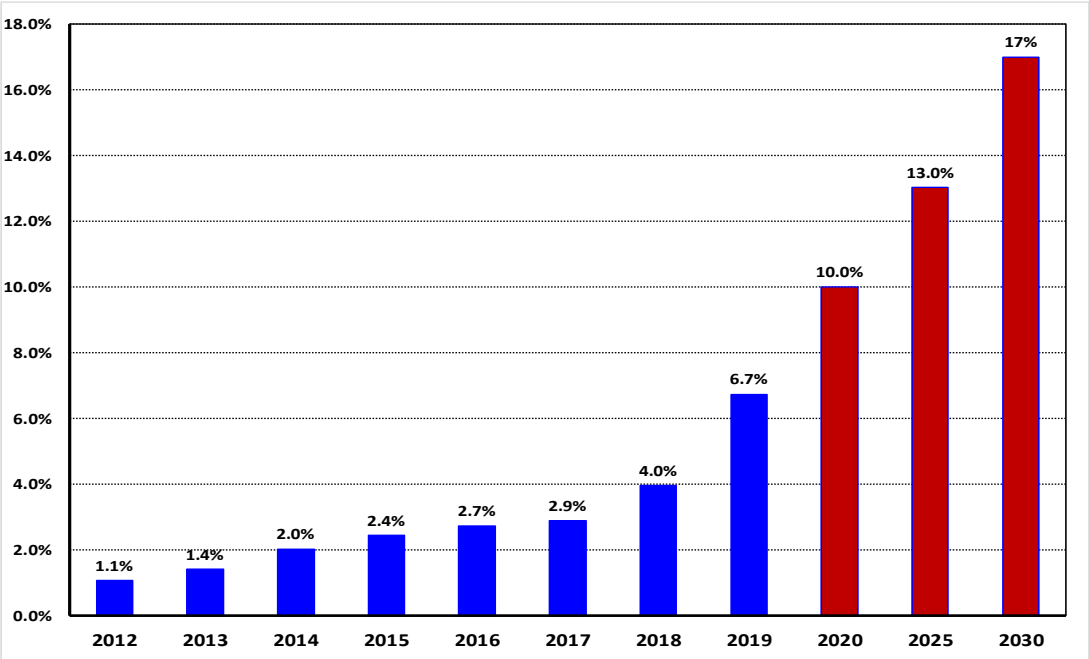
4.1 אחוז האנרגיה המתחדשת

במסגרת המדד מחושבת כמות האנרגיה המתחדשת (אנרגיה שמקורה בתהליכים טבעיים מתמשכים שאינם מתכלים כתוצאה מרתימת האנרגיה האצורה בהם, כמו למשל אנרגיית מים, גאותרמית, רוח, שמש וכדומה), מתוך סך כל צריכת האנרגיה, כולל צריכה לתחבורה, תעשייה ומשקי בית (Cîrstea et al., 2018).

בישראל, הפחתת השימוש במוצרי דלק מזהמים במשק החשמל והחלפתם במקורות אנרגיה נקיים יותר מבוססת על הפסקת ייצור חשמל באמצעות פחם ומעבר לייצור חשמל בגז טבעי ובאנרגיה מתחדשת בלבד. לצורך כך, מתוכננת סגירתן של כל יחידות הייצור הפחמיות לייצור חשמל, הכוללות את תחנת הכוח הפחמית רוטנברג באשקלון ויחידות 1–4 בתחנת הכוח הפחמית אורות רבין בחדרה.

לצד סגירת היחידות הפחמיות מתוכננות פעולות לקידום שילוב אנרגיות מתחדשות. בשנת 2019, אחוז צריכת האנרגיה המתחדשת מתוך סך הצריכה השנתית של חשמל עומדת על כ-6.7% (איור 7). בישראל רובה המכריע של האנרגיה המתחדשת מבוסס על מערכות סולריות הנשענות על אנרגית שמש; רוב האנרגיה המתחדשת מיוצרת באמצעות מתקנים פוטו וולטאיים.

איור 7: אחוז צריכת האנרגיה המתחדשת מתוך סך צריכת חשמל שנתית



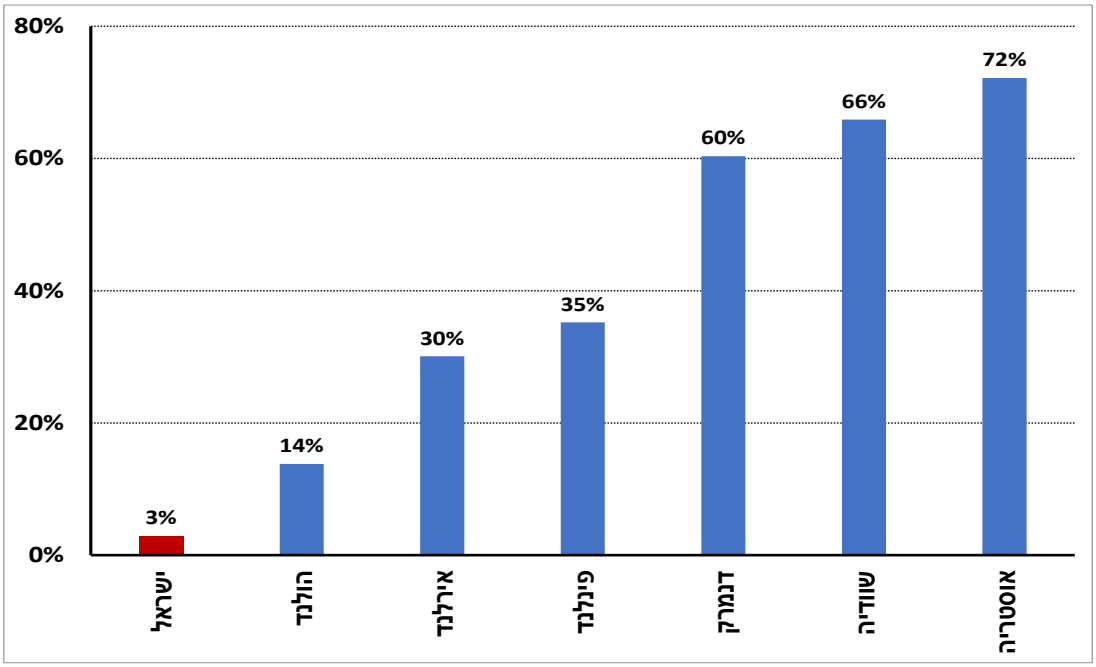
מקור: רשות החשמל (2018א).

היעד ל-2030 מתייחס ליעד הרשמי, ולא להצהרות האחרונות של שר האנרגיה שהתייחסו ליעד של 30%.

[31] בתהליך ייצור החשמל נפלטים לאטמוספרה סוגים שונים של גזים משרפת דלק, ביניהם פחמן דו-חמצני (CO_2), גופרית דו-חמצנית (SO_2), תחמוצות חנקן (NO_X) וחומר חלקיקי (PM) (חברת החשמל לישראל, 2019).

אחוז האנרגיה המתחדשת מסך צריכת החשמל בישראל נמוך בהשוואה למדינות אירופה (איור 8). בשנת 2017, עמד אחוז האנרגיה המתחדשת מסך צריכת החשמל על 2.9% בישראל (ו-6.7% בשנת 2019), בהשוואה ל-46% במדינות הסמן ו-31% במדינות האיחוד האירופי.

איור 8: אחוז האנרגיה המתחדשת מסך צריכת החשמל בישראל ובמדינות הסמן, 2017



מקור: רשות החשמל (2018א), האיחוד האירופי.

יעדיה של ישראל כפי שנקבעו על ידי שר האנרגיה הם 10% אנרגיה מתחדשת מסך צריכת החשמל עד שנת 2020,[32] 13% בשנת 2025[33] ו-17% בשנת 2030.[34] כדי להשיג את היעד של 17% שנקבע לשנת 2030 נדרש שקצב הגידול בייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות בעשר השנים הקרובות יהיה גבוה מאוד ויעמוד על 15% בשנה.[35] היעד של ישראל לעשור הקרוב נמוך ביחס למצב הנוכחי באיחוד האירופי וכן ביחס ליעדו לשנת 2030 (17% מסך צריכת האנרגיה). בנוסף, מאחר שבישראל רובה המכריע של האנרגיה המתחדשת מבוסס על מערכות סולריות הנשענות על אנרגיית שמש (מערכות שאינן מספקות, כשלעצמן, אנרגיה יציבה על פני שעות היממה), ישנו אתגר טכנולוגי לשימוש באנרגיה מתחדשת בהיקפים משמעותיים. התפתחויות טכנולוגיות, למשל בתחום אגירת האנרגיה, יכולות לתת מענה לאתגר זה (משרד האנרגיה, 2018).

כמו כן, נשאלת השאלה האם יעד של 17% מאפשר לעמוד ביעדים אחרים של משק האנרגיה, כגון יעדי אמינות, פליטות מזהמים, מקרי מוות מזיהום אוויר ומחיר תחרותי של חשמל.

[32] החלטת הממשלה מספר 3484.

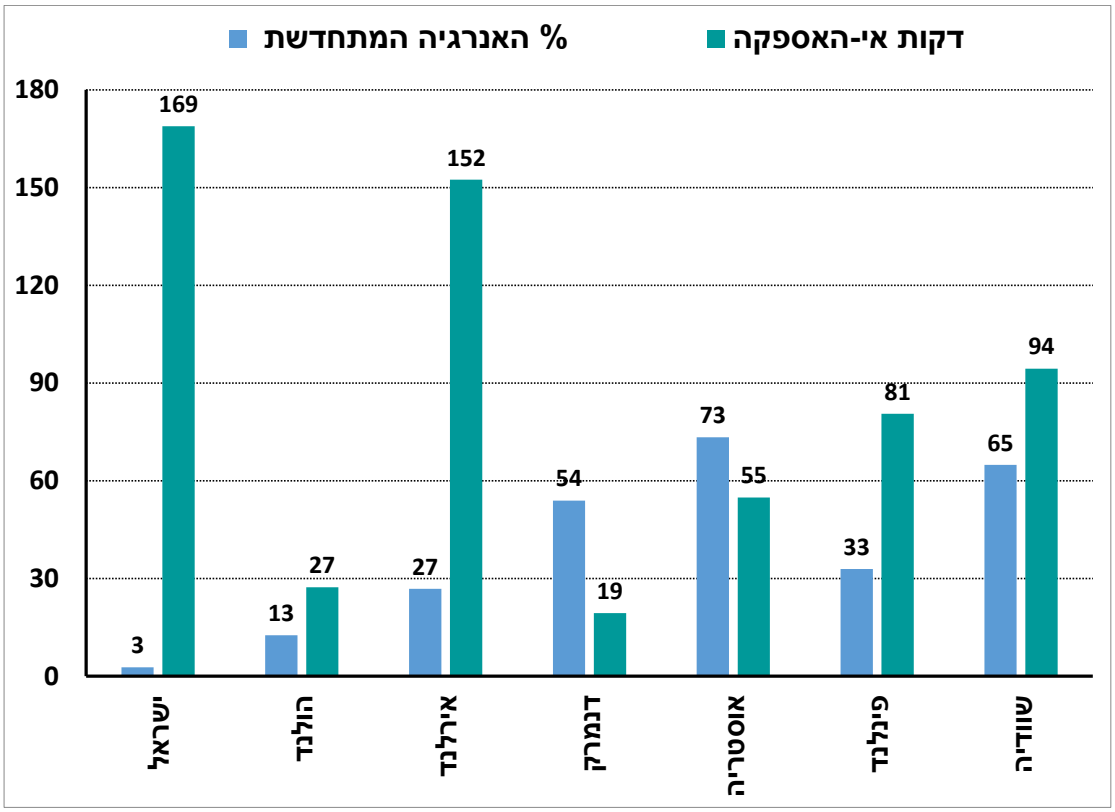
[33] החלטת הממשלה מספר 542.

[34] שם.

[35] על מנת להגיע בשנת 2030 להספק מצרפי של מתקני אנרגיה מתחדשת של כ-8,600 מגה וואט, מתוכם כ-7,500 מגה וואט מתקנים סולאריים (לעומת כ-1,000 מגה וואט סולאריים המותקנים כיום).

בחינת הקשר בין מדד דקות אי-האספקה למדד שיעור האנרגיה המתחדשת (איור 9) נותנת תשובה חלקית לשאלה זו. נמצא כי במדינות הסמן יש מתאם שלילי בין אחוז האנרגיה המתחדשת למדד דקות אי-האספקה (מתאם של 0.44-). כלומר, **מדינות הסמן בעלות מדד נמוך של דקות אי-האספקה מתאפיינות באחוז גבוה של אנרגיה מתחדשת**. ממצא זה עשוי ללמד על התרומה של מדיניות משק האנרגיה במדינות הסמן המתבססת על תוכנית רב-שנתית של השגה בו-זמנית של היעדים: אמינות היצע חשמל, איכות השירות, איכות הסביבה ומחיר תחרותי של החשמל.

איור 9: אחוז האנרגיה המתחדשת מסך צריכת החשמל ודקות אי-האספקה, ישראל ומדינות הסמן, 2016



מקור: חברת החשמל לישראל, Council of European Energy Regulators (2018), European Union.[36]

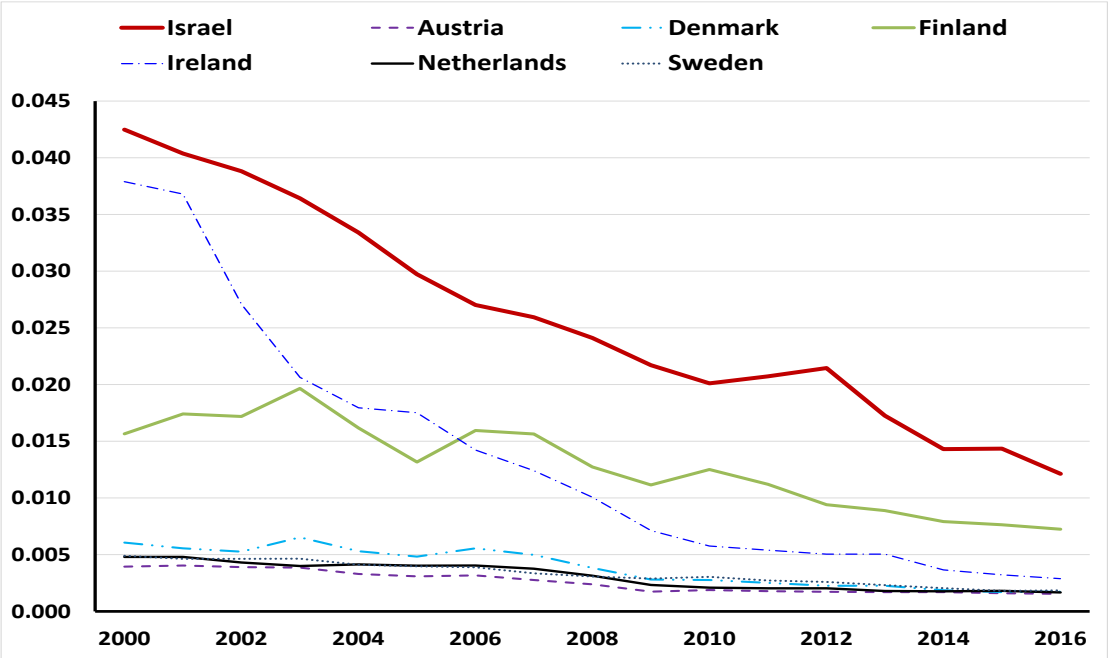
[36] ראו גם https://www.next-kraftwerke.com/energy-blog/saidi-index.

4.2 פליטות מזהמים SO_2 ו-NO_2[37]

בשנת 2017 עמדו פליטות גופרית דו-חמצנית SO_2 במשק החשמל (שמקורו בייצור חשמל) על כ-70 אלף טון והיוו 22% מסך פליטות הגופרית הדו-חמצנית במשק (על השאר אחראים מפעלי ייצור, בתי הזיקוק, תחבורה וכדומה). איור 10 מראה את הירידה המשמעותית שחלה מאז תחילת המילניום ברמת פליטות SO_2, ירידה של 50% ב-5 שנים אחרונות אשר נזקפת לזכות המעבר לגז טבעי, התקנת סולקנים בתחנות פחמיות, הגבלת השימוש בפחם ובמידה פחותה – הגידול בייצור אנרגיה מתחדשת. על פי התחזית צפויה ירידה נוספת בפליטות SO_2 בשנת 2022, עם סגירת תחנת הכוח הפחמית "אורות רבין" בחדרה.

השוואה בינלאומית על פי מדד הפליטות של SO_2 מלמדת כי בשנת 2017 רמת הזיהום של SO_2 בישראל גבוהה פי 3.4 מזו שבמדינות הסמן. עם זאת, בשנים אחרונות הפער בין ישראל למדינות הסמן ומדינות האיחוד האירופי מצטמצם.

איור 10: מדד פליטות SO_2 בישראל ובמדינות הסמן



מקור: OECD, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, המשרד לאיכות הסביבה.

[37] מזהם אופייני לתחנות-כוח השורפות פחם, מזוט או סולר.

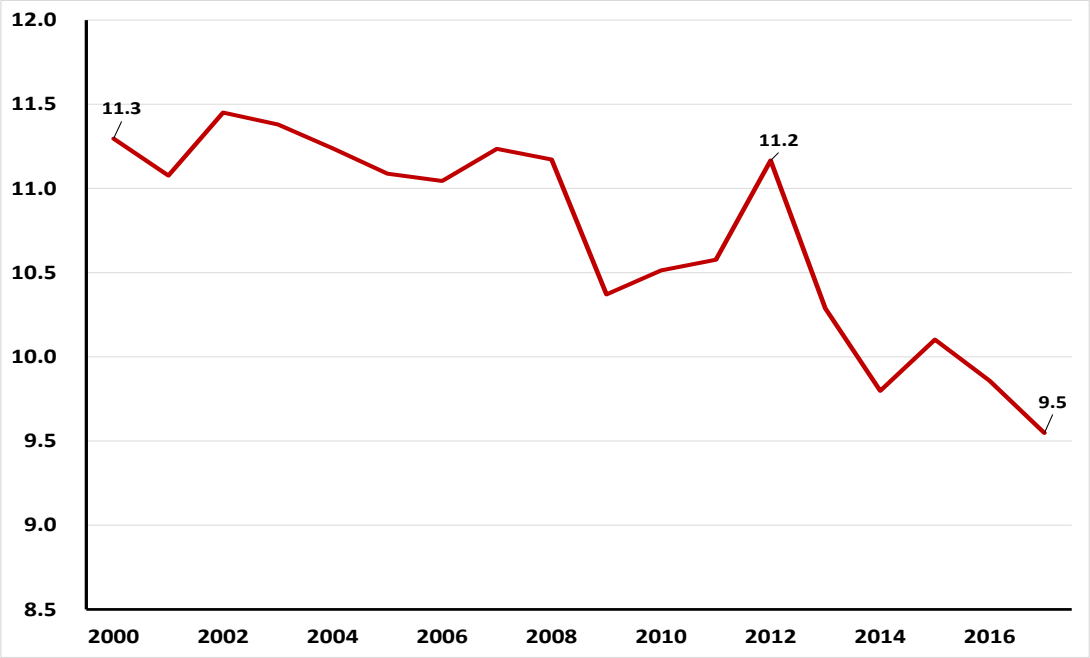
במחקר שנערך על ידי חוקרים ממשרד הבריאות נמצא שהתמותה בישראל מזיהום אוויר חלקיקי – זיהום אוויר שנובע מחלקיקים נשימים שקוטרם עד 2.5 מיקרון, ומקורו בתחנות כוח (וגם בתעשייה ובתחבורה) – עומדת על בין 1,608 ל-2,253 מקרי מוות בשנה. זיהום האוויר אחראי בנוסף גם לנטל תחלואה גבוה על מערכת הבריאות, שמסתכם בימי אשפוז רבים ובעלות כלכלית של מיליארדים למשק בכל שנה (Ginsberg, Kaliner and Grotto, 2016).

מדינות EU הציבו יעד לאומי להפחתת רמת הזיהום של SO_2; לישראל אין יעד לאומי להפחתת פליטות למזהמים SO_2 ו-NO_2[38] (פליטות NO_2 מקורן בעיקר בתחבורה).

4.3 מדד פליטות גזי חממה[39]

נכון לשנת 2017, כ-80 מיליון טון של גזי חממה נפלטים לאוויר בישראל (איור 11).[40] פחמן דו-חמצני (CO_2) מהווה כ-85% מתוך כלל גזי החממה.[41] היקף פליטות גזי חממה לנפש בשנת 2017 עמד על כ-9.5 טון.

איור 11: פליטות גזי חממה, טון לנפש



מקור: OECD, Greenhouse gas emissions.

[38] ראו European Commission (2019). מדינות אירופה מתכננות להפחית את רמת הזיהום של SO_2 – דנמרק ב-59%, הולנד ב-53% ושוודיה ב-22% לעומת שנת 2005.

[39] גזי חממה כוללים: פחמן דו-חמצני (CO_2), מתאן (CH_4), חמצן דו-חנקני (N_2O), גופרית שש-פלואוריד (SF_6), פחמנים הידרופלואוריים (HFCs) ופחמנים רב-פלואוריים (PFCs). בעת ייצור חשמל נפלטת לאטמוספרה כמות פחמן דו-חמצני שחישובה מתבסס על מקדמי פליטה של שרפת דלקים.

[40] מקור: למ"ס, שנתון סטטיסטי לישראל, לוח 27.7, פליטות של גזי חממה לפי מקור.

[41] שם, המשרד להגנת הסביבה (2009).

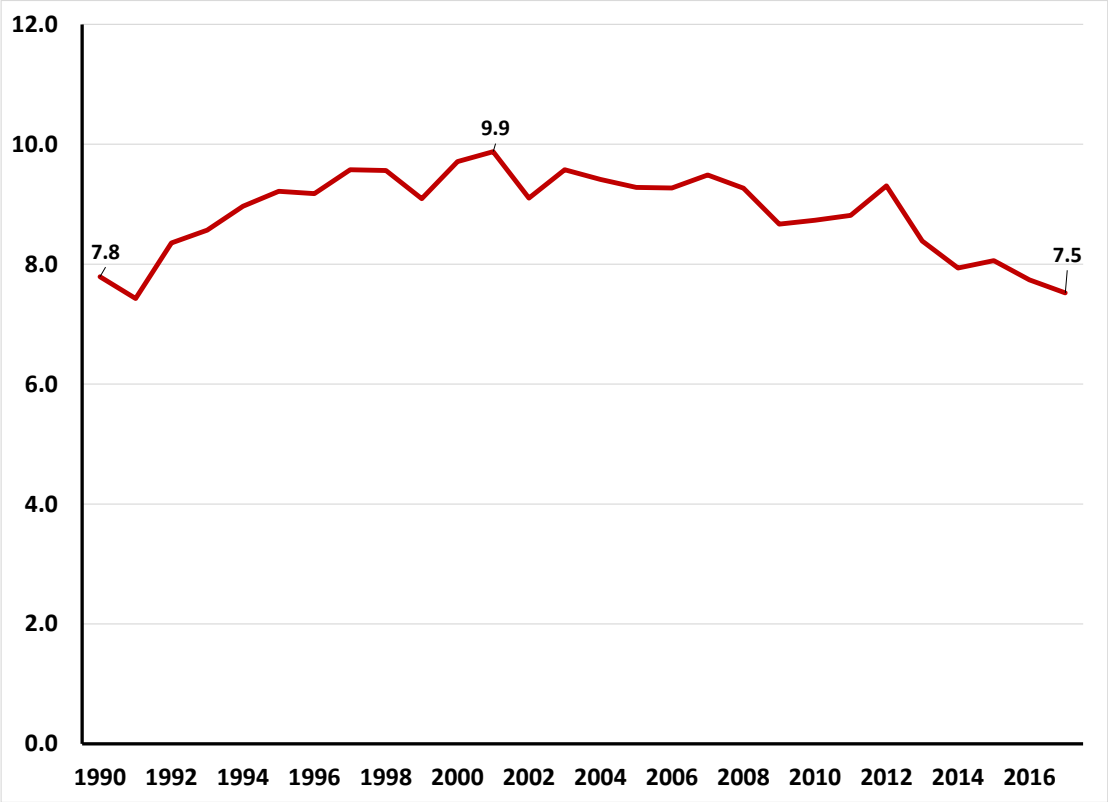
יעד פליטות גזי חממה הינו 8.8 טון לנפש בשנת 2025 ו-7.7 טון לנפש בשנת 2030.[42]

יעדי משנה נוספים לצורך השגת היעד של הפחתת פליטות גזי חממה הם:[43]

- צמצום צריכת החשמל בשיעור של לפחות 17% עד שנת 2030 ביחס לצריכת החשמל הצפויה באותה שנה לפי תרחיש עסקים כרגיל.[44]
- צמצום הנסועה הפרטית בשיעור של 20% עד לשנת 2030, ביחס לנסועה הצפויה באותה שנה לפי תחזית עסקים כרגיל והמגמות נכון לשנת 2015.

פליטות פחמן דו-חמצני מייצור חשמל (איור 12) מסתכמות ב-36 מיליון טון ומהוות 56% מסך הפליטות של פחמן דו-חמצני במשק בשנת 2017.

איור 12: פליטות CO_2, טון לנפש



מקור: OECD, Carbon dioxide total emissions excluding LULUCF, Tonnes of CO2 equivalent, thousands.

באיור 12 ניתן לראות כי בשנים האחרונות, עם צמצום השימוש בפחם לצורך ייצור החשמל, היקף פליטות ה-CO_2 נמצא במגמת ירידה ובשנת 2017 עומד על כ-7.5 טון לנפש.

כיום רק משק החשמל מציב יעד הפחתה לגזי חממה ו-CO_2.[45]

---

[42] החלטת הממשלה מספר 542.

[43] ראו החלטת הממשלה מספר 542. לצורך ביצוע התוכנית נדרש תקציב בהיקף של 300 מיליון ש"ח בהרשאה להתחייב, לשנים 2016–2019, וכן סכום של 500 מיליון ש"ח בערבויות מדינה.

[44] לעניין החלטה זו, "תרחיש עסקים כרגיל" הוא תרחיש המשקף את היקף צריכת החשמל הצפויה בשנת 2030, על פי המגמות נכון לשנת 2015.

[45] ראו רשות החשמל (2018א), עמוד 36.

5. יעד מחיר תחרותי של חשמל

מחיר החשמל לצרכן בישראל נקבע על ידי רשות החשמל[46] והוא מתעדכן מעת לעת. משק החשמל בישראל מורכב משרשרת של מקטעים שונים. תעריף החשמל מורכב מעלויות המשויכות למקטעים אלו – ייצור, ניהול המערכת, הולכה, חלוקה ואספקה. מקטע הייצור מהווה כ-63% מהתעריף; מקטעי ההולכה, החלוקה והאספקה מהווים כ-22% מהתעריף; מקטע ניהול המערכת מהווה כ-12%, ואיבודי החשמל הנוצרים לאורך שרשרת משק החשמל מהווים כ-3%.

תעריף החשמל מחושב לצרכן הפרטי ולצרכן העסקי על פי רכיביו השונים של החשמל, והוא כולל עלות משתנה לפי צריכה של קילוואט לשעה (קוט"ש) ועלות קבועה ללא קשר לכמות הצריכה. העלות הקבועה משקפת את סל השירותים שחברת החשמל מספקת ללקוחות, וזאת ללא קשר לכמות האנרגיה הנצרכת. המחיר לקוט"ש של חשמל מורכב בין היתר מעלויות מס בלו על הפחם, שער החליפין, עלויות של רשת החלוקה והאספקה ועוד.

המיסוי המגולם במחיר החשמל מממן את ההשקעות במשק האנרגיה, ולכן לגובה התעריף יש השלכה על היכולת להשקיע ולתחזק את תשתיות האנרגיה.

בשנים הקרובות משק האנרגיה צריך לעמוד ביעד הגברת התחרות במקטע הייצור. כדי לעמוד ביעד זה בין השנים 2019–2023 תמכור חח"י תחנות כוח עם הספק מותקן של 4,500 MW ליצרנים פרטיים.[47] לאחר מכירת תחנות הכוח של חח"י ליצרנים פרטיים, משקלה בסך ההספק המותקן צפוי לעמוד על כ-40% לעומת כ-80% בשנת 2018. כ-60% מההספק המותקן יהיה בבעלות היצרנים הפרטיים.

באיור 13 ניתן לראות כי תעריף החשמל בשנים האחרונות הינו נמוך על אף האיכות הירודה של רשת החשמל, שהייתה צריכה להוביל דווקא להעלאת התעריף.[48] **הדבר נובע מכך שקביעת המחיר בישראל איננה נגזרת מהיעדים**.

---

[46] רשות החשמל היא הגוף האחראי על משק החשמל בישראל וקובעת הוראות ותעריפים שונים שמתעדכנים מעת לעת.

[47] במסגרת הרפורמה במשק החשמל תמכור חברת החשמל כ-4,500 MW של הספק מותקן: תחנת כוח אלון תבור עם הספק 583 MW – נמכרה; בשנים 2019–2023 צפויות להימכר: תחנות כוח רמת חובב (הספק מותקן 1,137 MW), רידינג (הספק מותקן 428 MW), אשכול (הספק מותקן 1,693 MW) וחלק מתחנת כוח חגית (הספק מותקן 660 MW).

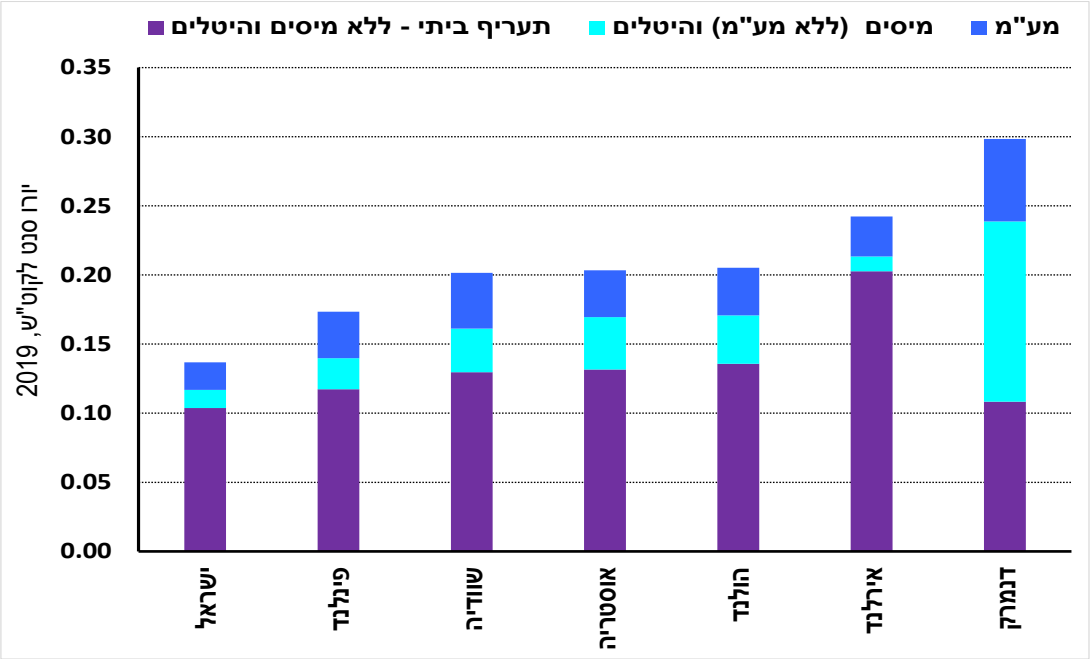
[48] כפי שמלמד מדד דקות אי-האספקה של חשמל.

איור 13: התעריף הביתי, אגורות לקוט"ש במחירי נובמבר 2018

מקור: רשות החשמל.

בהשוואה בינלאומית, תעריף החשמל למשקי הבית בישראל נמוך יחסית למדינות הסמן, וכך גם שיעור המיסוי (איור 14).

איור 14: תעריף החשמל ושיעור המיסוי בישראל ובמדינות הסמן, 2019



מקור: רשות החשמל, European Commission, Eurostat, Database-Energy Statistics-Prices.

כפי שניתן לראות באיור 14, נכון לשנת 2019, תעריף החשמל בישראל נמוך בכ-38% מהתעריף הממוצע הנהוג במדינות האיחוד האירופי. שיעור המיסוי, הממון את ההשקעות במשק האנרגיה בישראל, נמוך ב-10 נקודות האחוז מזה שבאיחוד האירופי.

בחלק מן המדינות כגון גרמניה, דנמרק, איטליה, הולנד ויוון רכיב המיסים הנוספים ממחיר החשמל הכולל מהווה למעלה מ-30% מסך המחיר הסופי לצרכן (לרבות מיסים סביבתיים, מיסי אנרגיות מתחדשות ומס על היקף הצריכה). בגרמניה המיסים מהווים כ-57% מהמחיר הסופי לצרכן.[49]

המחיר לצרכן בישראל כולל עלויות של ההסדרים השונים המושתים על כלל צרכני החשמל בישראל, כגון סבסוד אנרגיות מתחדשות, הסדרי תעריף חברתי ועלויות של הגנת הסביבה (למשל עלות הנובעת מכך שחלק מן התחנות מופעלות על ידי פחם רק לאחר מיצוי הייצור בגז טבעי וגט"ן – דלקים יקרים יותר מפחם – עקב החלטות מדיניות של משרד האנרגיה לצורך הפחתת הזיהום מהתחנות הפחמיות), כך שניתן לראות בעלויות אלו סוג של "מס נוסף" הנכלל במחיר החשמל לצרכן. עלויות אלו מהוות כ-10% מסך המחיר לצרכן (בוטוש, 2019). שיעור המס מהמחיר הסופי לצרכן מהווה כ-14.5% – הנמוך ביותר ביחס לכלל המדינות, מלבד מלטה (בה שיעור המס מתוך המחיר הסופי לצרכן מהווה כ-5%).

בקשר למיסוי מוזכר לעיתים מס על פליטות פחמן, אשר מוטל על מקורות אנרגיה מזהמים כמו בנזין לכלי הרכב או גז ופחם שמשמשים לייצור חשמל. המס מוטל פר יחידת פחמן, כך שככל שהדלק מזהם יותר המס המוטל עליו יהיה גבוה יותר – כך המס על פחם יהיה גבוה יותר מהמס על גז, שפולט מחצית מכמות הפחמן הדו-חמצני. דוח של קרן המטבע הבינלאומית שפורסם באוקטובר קבע כי הטלת מס פחמן היא הדרך היעילה והאפקטיבית ביותר למלחמה בהתחממות הגלובלית והורדת זיהום האוויר. מס זה הונהג עד כה בכ-40 מדינות ברחבי העולם.

תעריף נמוך של חשמל יחד עם מדד גבוה של דקות אי-אספקה של חשמל ואחוז נמוך של אנרגיות מתחדשות בישראל מעלים כי מחיר החשמל בישראל אינו משקף את עלותו השולית של ייצור החשמל, אשר לוקחת בחשבון גם את העלויות הכרוכות בפיתוח משק האנרגיה.

תעריפי החשמל בישראל נחלקים לשני סוגים עיקריים – תעריפים אחידים ותעו"ז (תעריפי עומס וזמן). **תעו"ז** מחושב לפי עומס המערכת וזמן הצריכה של הלקוחות, וחל מנדטורית על צרכני מתח עליון, מתח גבוה ומתח נמוך שגודל החיבור שלהם הוא 3x100 אמפר ומעלה, או שצריכתם השנתית עולה על 40,000 קוט"ש. חישוב התעריף נעשה בהתאם לעונות השנה, היום בשבוע והשעה במהלך היום. **תעריפים אחידים** חלים על כל מי שאינו בתעו"ז. **מדיניות משק האנרגיה חייבת לבחון האם תעריף החשמל בישראל ושיעור המיסוי מאפשרים פיתוח משק החשמל, ומהו התוואי של תעריף חשמל מבוסס יעדי פיתוח משק החשמל לשנים 2020–2030.**

[49] תשלום המס הגבוה מוסבר בחלקו בכך שגרמניה הייתה אחת מהמדינות הראשונות באירופה שעברו לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, כאשר עלויות ההקמה של מתקנים אלו (בעיקר מתקנים פוטו-וולטאיים) היו גבוהות בהשוואה לייצור חשמל באופן קונוונציונלי.

6. מודלים לתכנון משק האנרגיה

כדי לקבל החלטות בנוגע לפיתוח ושדרוג הרשת הקיימת, הרחבת השימוש באנרגיות מתחדשות ואספקת החשמל במחיר תחרותי נדרש מודל כמותי המאפשר לבחון חלופות השקעה במשק האנרגיה. **המודל ממזער עלויות תפעול של רשת החשמל, עבור רמות שונות של אמינות אספקת החשמל (דקות אי-אספקת חשמל), שיעור האנרגיות המתחדשות ורמת זיהום, וכן עבור תמהיל הדלקים הרצוי תוך עמידה בדרישות הביקוש.** באופן כללי, מודל מתמטי מאפשר לעשות אינטגרציה של כלל הנתונים המאפיינים את רשת החשמל ומשק האנרגיה כדי לחזות את מחיר החשמל וזרם ההשקעות עבור חלופות שונות. מודל כזה מורכב בדרך כלל ממשתנים רבים, כמו ממוצע שיא ביקוש ושעות שיא ביקוש, סוג טכנולוגיית ייצור החשמל (למשל אנרגיה גרעינית, רוח, גז), נתונים על קיבולת התשתית, מספר מפעלי ייצור החשמל, ועלויות. המודל מאפשר לתכנן ולנהל מדיניות אופטימלית של פיתוח משק האנרגיה תוך מזעור העלויות הכרוכות בייצור החשמל.

העדר מדיניות כוללת לפיתוח וקידום משק האנרגיה פוגע בביטחון אנרגטי, כלומר ביכולת להבטיח אספקה אמינה ובטוחה של אנרגיה, מהווה חסם לפיתוח משק החשמל ולהשקעה הנדרשת בתשתיות, וכפועל יוצא פוגע בצמיחה הכלכלית וברווחת הציבור. לאור זאת, אנו ממליצים לקובעי המדיניות לקבוע את כלל היעדים ארוכי הטווח למשק האנרגיה (2030), וכן לבחון חלופות השקעה להשגת היעדים, בהתבסס על מודל דינמי של משק האנרגיה. בהתאם לחלופת ההשקעות שתיבחר מומלץ לגבש תוכנית עבודה מפורטת של הביצוע להשגת היעדים ב-2030, ולנהל מדיניות רציפה להשגת יעדים שנתיים ויעדים ארוכי טווח, תוך התייחסות לשינויים עתידיים שיחולו במשק האנרגיה.

מקורות

1. בוטוש, נעם (2019), "תיאור וניתוח מבנה תעריף החשמל לשנת 2019", הכנסת – מרכז המחקר והמידע.
2. בנק ישראל (2019), "דין וחשבון 2018".
3. גאלו, ליאור (2017), "תחזית ארוכת טווח לביקוש לחשמל במשק הישראלי", בנק ישראל, סדרת מאמרים לדיון 2017.13.
4. המשרד להגנת הסביבה (2009), "פליטת גזי חממה בישראל – סקירת המצב הקיים ובחינת אמצעים להפחתה", נייר עבודה מספר 2653/09.
5. הרצוג, חן (2016), "תחזית הביקוש לחשמל 2017–2030", חברת BDO Consulting Group.
6. חברת החשמל לישראל (2019), "דין וחשבון סביבתי לשנים 2017–2018".
7. משרד האנרגיה (2018), "יעדי משק האנרגיה לשנת 2030 – טיוטה להתייחסות הציבור".
8. משרד התשתיות הלאומיות (2010), "התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית, צמצום בצריכת החשמל 2010–2020".
9. קוואדרו תשתיות לאומיות (2019), "החשמל בישראל".
10. רשות החשמל (2018א), "דו"ח מצב משק החשמל לשנת 2018".
11. רשות החשמל (2018ב), "מפת דרכים לפיתוח מקטע הייצור במשק החשמל 2018–2030 – טיוטה להתייחסות הציבור", משרד האנרגיה.
12. Cîrstea, Stefan Dragos, Calin Moldovan-Teselios, Andreea Cîrstea, Antoniu Claudiu Turcu and Cosmin Pompei Darab (2018), "Evaluating Renewable Energy Sustainability by Composite Index", *Sustainability* 10(3), 811, https://doi.org/10.3390/su10030811.
13. Council of European Energy Regulators (2018), "Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas supply", Ref: C18-EQS-86-03.
14. European Commission (2019), "Reduction of National Emissions – National Air Pollution Control Programmes", retrieved on December 10, 2019 from: https://ec.europa.eu/environment/air/reduction/NAPCP.htm.
15. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2016), "Sixth 'Energy Transition' Monitoring Report – The Energy of the Future".
16. Gakuo, Elizabeth Wanjiku (2015), "The Relationship between Government Investment in Energy Infrastructure and Economic Growth in Kenya", Doctoral dissertation, University of Nairobi.
17. Ginsberg, Gary M., Ehud Kaliner and Itamar Grotto (2016), "Mortality, Hospital Days and Expenditures Attributable to Ambient Air Pollution from Particulate Matter in Israel", *Israel Journal of Health Policy Research* 5(1), 51.
18. Isaksson, Anders (2010), "Energy Infrastructure and Industrial Development", UNIDO Research and Statistics Branch, Working Paper 12/2009.

19. Watson, Jim, Ioanna Ketsopoulou, Paul Dodds, Modassar Chaudry, Simon Tindemans, Matt Woolf and Goran Strbac (2018), "The Security of UK Energy Futures", UKERC Research Report.
20. World Bank (2019), "Doing Business – Measuring Business Regulations: Getting Electricity", retrieved on December 12, 2019 from: https://www.doingbusiness.org/en/data/exploretopics/getting-electricity.

נספח: לוחות ואיורים נוספים

לוח 3: השוואה בינלאומית של צריכת החשמל לנפש, 2014

מדינה	צריכת חשמל (קוט"ש לנפש)	צריכת חשמל ביחס למדינות OECD
פינלנד	15,250	1.91
שוודיה	13,480	1.69
ארה"ב	12,984	1.63
אוסטריה	8,356	1.05
מדינות OECD	**7,985**	**1.00**
שוויץ	7,520	0.94
הולנד	6,713	0.84
ישראל	**6,601**	**0.83**
דנמרק	5,859	0.73
אירלנד	5,672	0.71
ממלכה מאוחדת	5,130	0.64

מקור: World Bank.

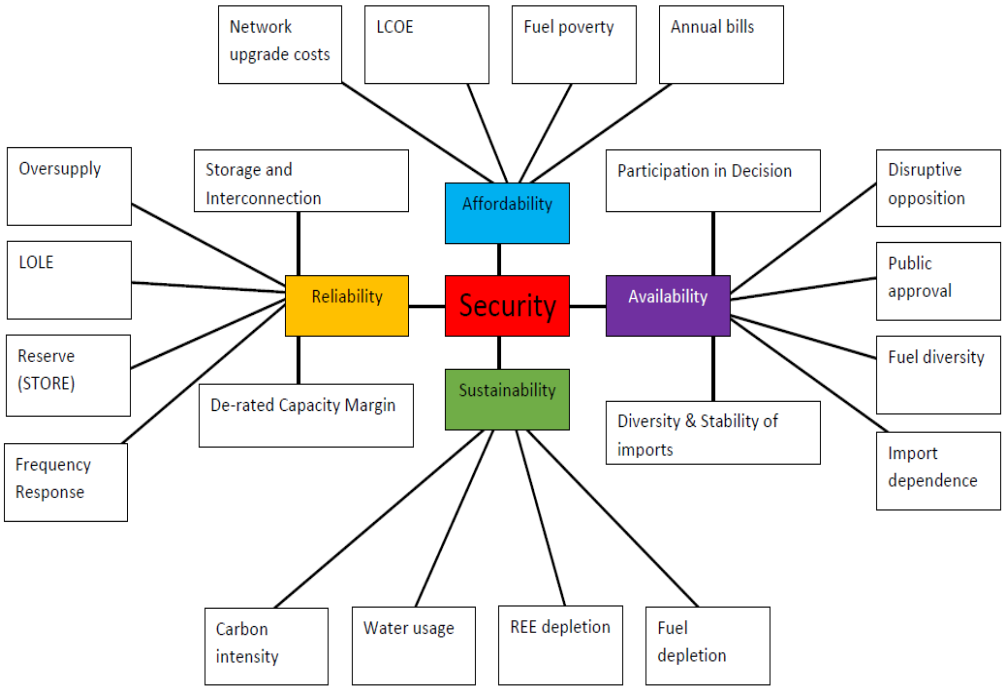
לוח 4: הספק מותקן משקי, לפי יצרן

שנה	ההספק המותקן - חברת החשמל	ההספק המותקן - יצרנים פרטיים ללא מתחדשות	ההספק המותקן (אקוויוולנטי) - יצרנים פרטיים מתחדשות[50]	סך הספק מותקן ללא מתחדשות	סך הספק מותקן (אקוויוולנטי) כולל מתחדשות
2010	**100%**	**0%**	**0%**	**12.8**	**12.8**
2011	100%	0%	0%	12.8	12.8
2012	96%	3%	1%	13.7	13.8
2013	92%	7%	1%	14.5	14.6
2014	87%	12%	1%	15.5	15.7
2015	81%	18%	1%	16.7	16.9
2016	80%	18%	2%	16.7	17.0
2017	79%	19%	2%	16.6	16.9
2018	78%	20%	2%	16.8	17.2
2019	70%	26%	4%	17.4	18.1
2020	63%	31%	6%	17.4	18.5
2025	**41%**	**53%**	**5%**	**19.7**	**20.8**

מקור: רשות החשמל.

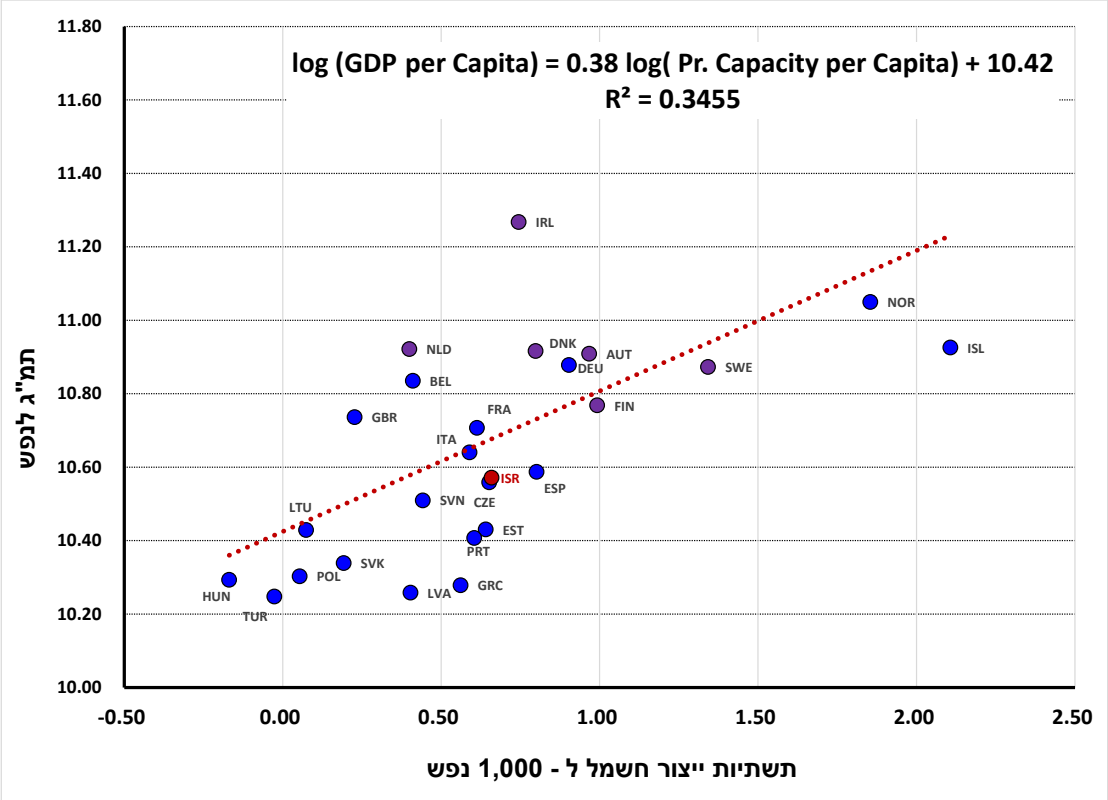
[50] ההספק האקוויוולנטי כולל הספק מתחדשות מוכפל במקדם הספק 0.3 עד להספק כולל של 3,600 מגה וואט ומקדם הספק אפס לכל הספק נוסף מעבר לכך.

איור 15: מדדי ביטחון אנרגטי



מקור: Watson et al. (2018).

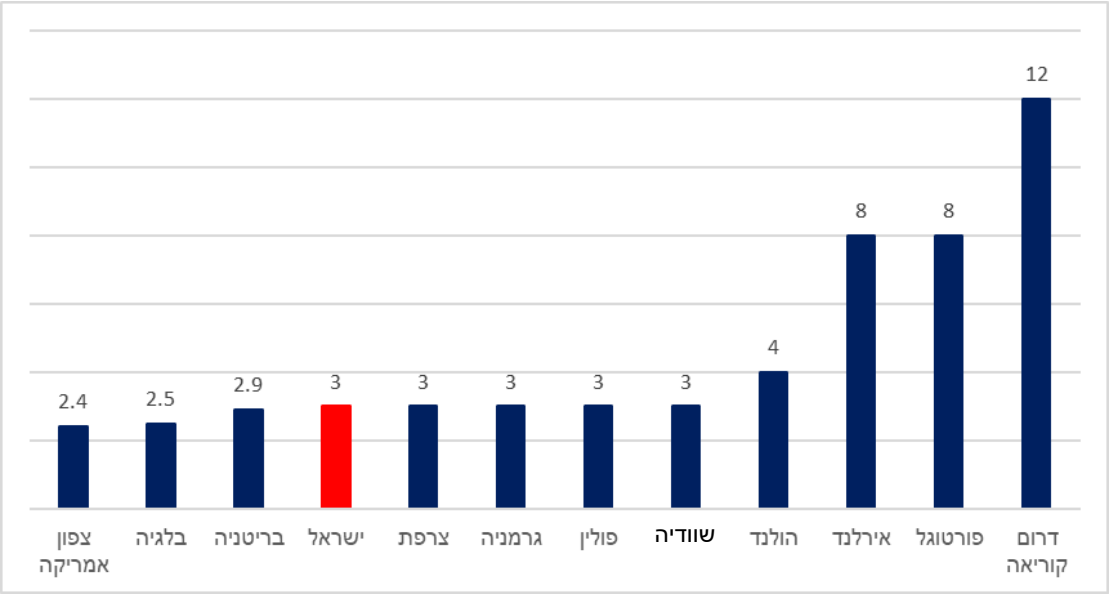
איור 16: המתאם בין תשתיות ייצור החשמל ל-1,000 נפש לבין התמ"ג לנפש, 2017



הצירים X ו-Y במונחים של לוג. תשתיות ייצור חשמל במונחים של היקף ההספק המותקן.

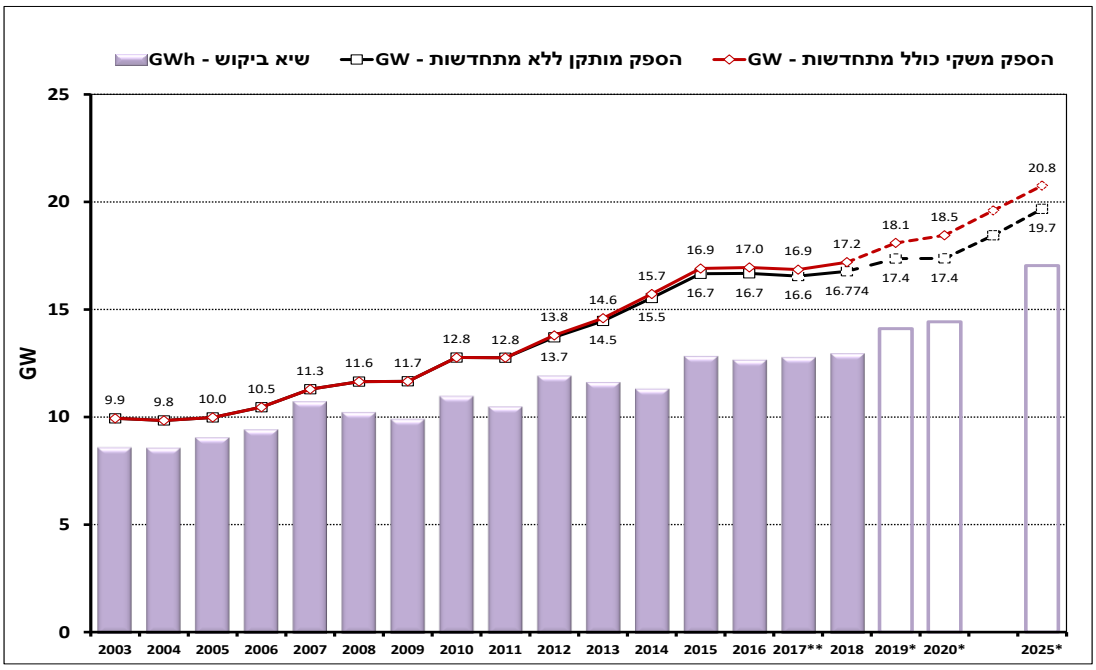
מקור: OECD, European Union.

איור 17: קריטריון האמינות – יחס הרזרבה (LOLE) במדינות נבחרות בעולם ובישראל, 2018



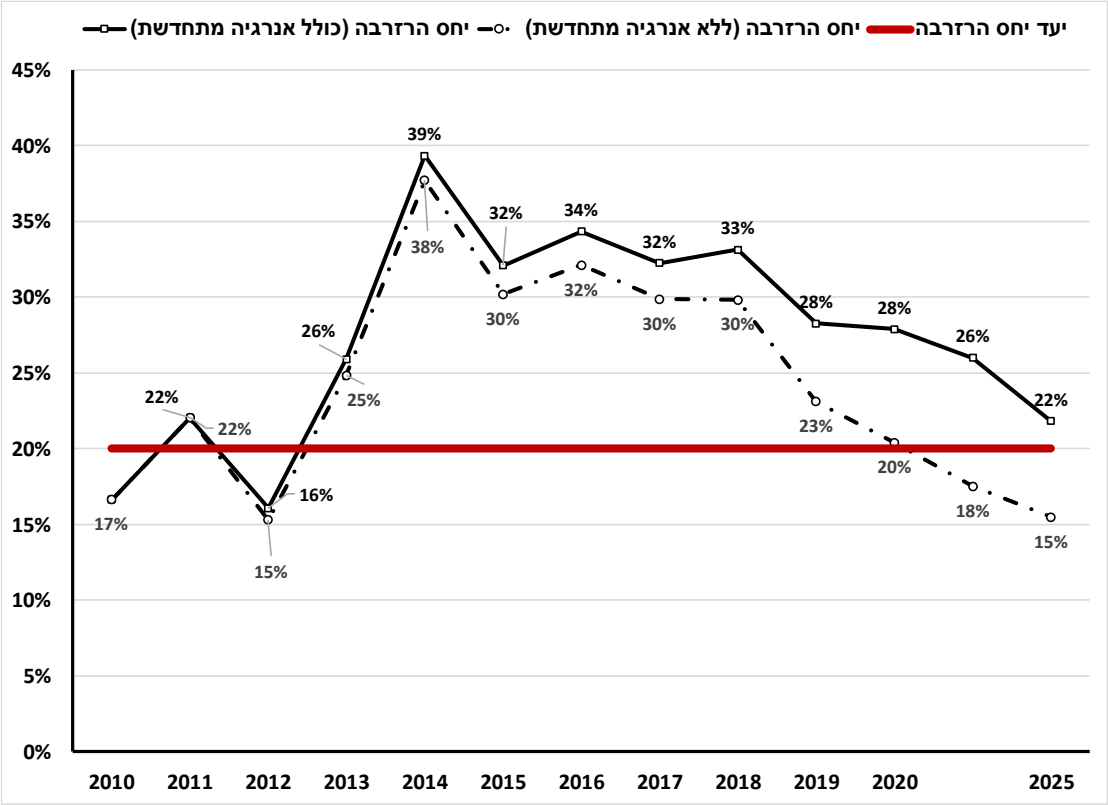
מקור: רשות החשמל (2018ב).

איור 18: הספק מותקן משקי לעומת שיא הביקוש (GW)



מקור: רשות החשמל (2018א).

איור 19: היחס בין ההספק המותקן המשקי לבין שיא הביקוש



מקור: רשות החשמל (2018א).