



קטע מתוך לקט ניתוחי מדיניות וסוגיות מחקריות:

התפתחות משק החשמל בישראל – לקראת משק חשמל בר קיימא^{1,2}

- ייצור החשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות מפגר במידה רבה אחרי יעדי הממשלה, לאחר שגם בעשור הקודם נוצר פיגור.
- בניתוח בדיעבד מתברר כי מכיוון שמחירי הייצור באמצעות אנרגיות מתחדשות ירדו משמעותית, הפיגור חסך למשק כ-10% מההוצאות על חשמל, אולם הוא גרם לפיגור אחר היעדים הסביבתיים שהציבה הממשלה.
- הפיגור נבע מיעדים בלתי ריאליים, אסדרה מכבידה, ודחייה בעקבות הירידה התלולה של עלות הייצור.
- היעדר תכנון לטווח הארוך, בפרט של הרשת להולכת החשמל, יוצר את החסם העתידי המרכזי לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ומהווה כבר עתה חסם אפקטיבי להרחבת השימוש בהן.

בשני העשורים האחרונים חתמו מדינות רבות על הסכמים לצמצם את הפליטה של גזי החממה במטרה להשיג יעדים בתחום האקלים, וטכנולוגיות לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות יוצרות את הבסיס לכך שהעולם יעמוד בהם. היות שישראל מחויבת להסכמים אלו אימצו ממשלותיה יעדים לפליטת גזי חממה, ומאלה נגזרים יעדים לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות. ההחלטות לקדם את יעדי הייצור התקבלו אפוא ממוטיבציה סביבתית, תוך נכונות לשאת בעלותן הכלכלית.

מסמך זה דן בהשפעותיהם של יעדי הייצור על כלכלת ישראל, בתהליך שעבר משק החשמל בישראל לקראת מימושו, בקשיים שהמימוש נתקל בהם בעבר, בשינויים שנערכו באסדרה בתחום, ובאתגרים שעשויים להתפתח בעתיד.

¹ נכתב על ידי ליאור גאלו ויהודה פורת.

² אנו מודים לחיים וידר ויוסי מרגונינסקי מבנק ישראל, חוני קבלו מרשות החשמל, ואיתן פרנס וסער בן צבי מאיגוד החברות לאנרגיה ירוקה לישראל. תודה מיוחדת ליובל זהר מרשות החשמל על כך שסייע רבות בהנגשת המידע ובדיונים בנושא.

אנרגיות מתחדשות בישראל ובעולם

ב-2009 ייצרה ישראל באמצעות אנרגיות מתחדשות שיעור אפסי מסך החשמל. אולם סדרה של צעדי מדיניות ופיתוחים טכנולוגיים הובילו לכך שעלות הייצור מאנרגיות השמש והרוח מתחרה בעלות השימוש בדלקים, ולכן התחום צובר תאוצה: ב-2016 כבר ייצרה ישראל באמצעות אנרגיות מתחדשות 2.65% מסך החשמל. בהקשר זה יש להעיר כי הממוצע בשאר המדינות המפותחות עומד על כ-24.5% וכי ישראל משתמשת בעיקר באנרגיית השמש (2.5% מסך הייצור) בשעה שבעולם משתמשים בעיקר באנרגיית מים (כ-16.6% מסך הייצור), ולאחריה באנרגיית הרוח (4%) ובביו-אנרגיה (2%). אנרגיית השמש משמשת כדי לייצר רק כ-1.5% מסך החשמל בעולם (REN21, 2017).

ישנן ראיות משמעותיות לכך ששיעור נמוך זה ניצב בפני תפנית בעקבות הירידה הדרמטית שחלה בעלות הייצור באמצעים פוטו-וולטאיים (אמצעים שממירים אור לחשמל): מאז 2009 ירדו המחירים בעולם מממוצע של \$300 למגוואט-שעה לממוצע של כ-\$100 למגוואט-שעה. כך הפכה טכנולוגיה זו לאמצעי ייצור זול כמעט כמו הייצור באמצעים פוסיליים (נפט, פחם וגז טבעי) ולאמצעי הזול ביותר אחרי טכנולוגיות הייצור מאנרגיית הרוח (כ-\$90 למגוואט-שעה; UN, 2017). בישראל התרחשה בתקופה זו תמורה דרמטית עוד יותר: מחירי החשמל המיוצר באמצעים פוטו-וולטאיים ירדו מכ-\$470 למגוואט-שעה לכ-\$71 למגוואט-שעה (ראו בנק ישראל [2015]). נראה כי השינוי בישראל גדול יותר מכיוון שהרשויות הקלו את נטל הרגולציה על הייצור ומכיוון שלפני השינוי השיתה הרגולציה בישראל עלויות כבדות מהעלויות בעולם, לרבות היטל השבחה על הסבה של ייעוד קרקע לייצור חשמל ומס הכנסה על ייצור חשמל על גגות פרטיים. מכיוון שנראה כי לעת עתה הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית רלוונטית לישראל יותר מטכנולוגיית הרוח, דיוננו יתמקד בה.

עד לאחרונה עלתה הפקת חשמל מאנרגיות מתחדשות יותר מהפקה ממקורות פוסיליים, ולכן נדרשה תמיכה ממשלתית (ישירה, באמצעות סובסידיה, או עקיפה, באמצעות ייקור הייצור החלופי) כדי לעודדה וכך לתרום להפחתת הפליטה של גזי החממה. הכלי הנפוץ ביותר לתמיכה ישירה מושתת על תעריף הזנה: על כל קילוואט-שעה (קוט"ש) שהיזם מזין למערכת הוא מקבל מהממשל מחיר שנקבע מראש, עד למכסה שנקבעה מראש. חישוב המחיר כלל בעבר הערכה לגבי העלויות הקבועה והשולית ליצרן³ בתוספת רווח. הירידה הדרמטית והעקבית שחלה בשנים האחרונות במחירי הייצור הובילה יצרנים ברחבי העולם לדחות את המועד להקמת המתקנים לאחר שסיכמו עם הריבון על גובהו של תעריף ההזנה, מתוך הערכה שהטכנולוגיה תשתפר ומחיר הייצור ירד⁴. לכן הממשלה החליפה את תעריפי ההזנה בפרמיית הזנה: בשיטה זו קובעים מראש את שיעור הרווח אך את העלות קובעים בעת החיבור לרשת. בשנים האחרונות גם שיטה זו זנחתה, הפעם לטובת מכרזי מחיר – שיטה

³ העלות הקבועה כוללת את השקעתו בהון.

⁴ ביטוי להתנהלות זו ניתן לראות בסין. החוזה שנחתם עם רבים מהיזמים שם פקע באמצע 2017, לאחר כמה שנים שבהן עמד בתוקף. בראשית 2017 התברר כי הממשלה מסרבת להאריך את תוקף החוזה, ובתוך חצי שנה הוקמו מתקנים שהספקם מגיע לכ-20 גיגוואט.

שבמסגרתה היזם מתחייב למחיר לכל התקופה. בשנת 2015 אימצו למעלה מ-60 מדינות מתכונת כלשהי של מכרזי מחיר (REN21, 2016).

נתונים מהשנים האחרונות מעידים שבעולם מתרחש גידול מתעצם בהיקף הייצור של חשמל מאנרגיות מתחדשות. ב-2016 נוצרו מאנרגיות מתחדשות כ-55% מתוספת ההספק לייצור החשמל בעולם, והייתה זו השנה השנייה ברציפות שבה רוב הגידול בהיצע התבסס על אנרגיות מתחדשות ולא על אנרגיות פוסיליות. כ-47% מהתוספת נוצרו בטכנולוגיה פוטו-וולטאית, 34% בטכנולוגיות רוח ו-15% בטכנולוגיות מים. נתוני ההשקעה בעולם מצביעים על שינוי דרמטי עוד יותר: ההשקעות באנרגיות מתחדשות מהוות 70% מההשקעה העולמית בייצור חשמל (IEA 2016b). אומנם במונחים כספיים לא נוצר שינוי גדול מתחילת העשור, אך הגברת היעילות וירידת העלות הביאו לכך שכל דולר שהושקע בייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות ייצר היקף גדול פי 1.3 מההיקף בתחילת העשור.

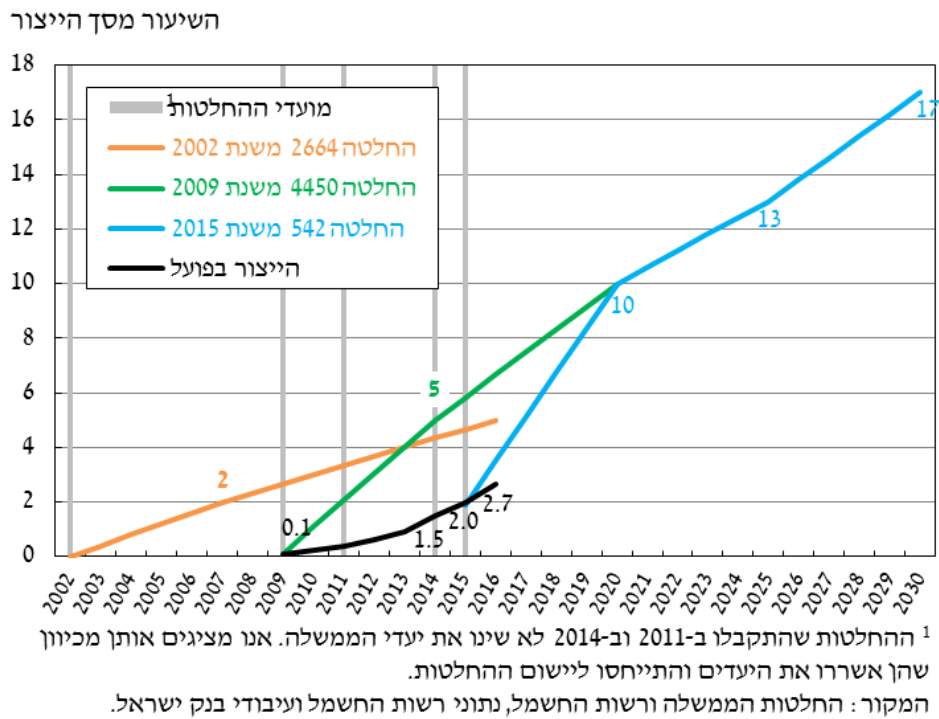
בסעיף זה דנו בייצור החשמל. כדי להכשיר את הקרקע לדיונים בהמשך חשוב להבהיר כי מושג זה – כלומר הייצור (הצריכה) בפועל – מתייחס להספק החשמל המיוצר (הנצרך) כפול משך הזמן שבו הוא מיוצר (נצרך), וכי גודל זה נמדד בקילוואט-שעה (קוט"ש); הצירוף "הספק החשמל" מתייחס לכמות החשמל שתחנת כוח מסוגלת לייצר ברגע נתון, וגודל זה נמדד בוואט (קילוואט, מגוואט וכו'). להבדל הנידון יש חשיבות מיוחדת כאשר בוחנים אנרגיות מתחדשות, שכן מתקנים מסוגים שונים, ו/או מתקנים שמשתמשים באנרגיות שונות, מסוגלים לייצר חשמל למשך פרקי זמן שונים. לדוגמה, מתקנים פוטו-וולטאיים בישראל מסוגלים לייצר חשמל למשך פרקי זמן שונים. לדוגמה, מתקני רוח – במשך כ-2,600 שעות בשנה, ומתקני ביו-גז – במשך כ-6,500 שעות בשנה. לכן מתקן ביו-גז שהספקו מגיע ל-100 מגוואט מסוגל לייצר כמות אנרגיה גדולה פי ארבעה מאשר מתקן פוטו-וולטאי שהספקו זהה.

1. בין המדיניות ליישומה: בדרך למימוש היעדים

א. קביעת היעדים

ממשלות ישראל קבעו בעשור וחצי האחרון כמה יעדים לייצור חשמל באמצעות אנרגיה מתחדשת. באיור 1 אנו מציגים את מועדי החלטות (בקווים אפורים), את היעדים השנתיים שכל החלטה הציבה לשיעור שהייצור מאנרגיה מתחדשת יהווה בסך הייצור, ואת שיעור הייצור בפועל. בכל פעם שהתקבלה החלטה על יעדים קבענו את תחילת תוואי היעד בשיעור הייצור בפועל באותה שנה, וכדי להמחיש את המסלול שיש לעבור העברנו קו לינארי עד ליעד שנקבע.

איור 1
החלטות הממשלה בנוגע לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת,
2002 עד 2030



ב-2002 התקבלה ההחלטה הראשונה שהציבה יעדים קונקרטיים לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. ההחלטה קבעה שמשנת 2007 תייצר ישראל מאנרגיות מתחדשות 2% מהחשמל, ושיעור זה יעלה בהדרגה עד ל-5% ב-2016. יעדים אלה הקדימו את היכולות הטכנולוגיות בתחום האנרגיות המתחדשות, והדבר בא לידי ביטוי בכך שבשנת 2009, שנתיים אחרי המועד למימוש היעד הראשון ושבע שנים לאחר קבלת ההחלטה, עמד הייצור מאנרגיות מתחדשות על כ-0.1% מסך הייצור – הרבה מתחת ליעד שנקבע ל-2007 (איור 1). יש לציין כי ההחלטה הנידונה התקבלה לפני שהתברר מהו היקף הגז הטבעי במאגרים של ישראל, ולכן היא לא הביאה בחשבון את המעבר משימוש בפחם לשימוש בגז טבעי ואת השפעתו על צמצום הפליטות.

בשנת 2009 החליטה הממשלה שעד 2020 יספקו אנרגיות מתחדשות 10% מצריכת החשמל. נוסף לכך היא הציבה יעד ביניים לשנת 2014: 5% מהצריכה (שנתיים לפני המועד שהחלטה מ-2002 קבעה למימוש יעד זה). עוד החליטה הממשלה כי בכל שנה בין 2010 ל-2020 יוקמו תחנות כוח שהספקן מגיע ל-250 מגוואט⁵. גם הפעם הקדימו היעדים את זמנם. כבר בעת ההחלטה היה ברור שלא ניתן לעמוד בתוואי במלואו, מכיוון שהוא דרש להקים תחנות כוח כבר ב-2010, שנה בלבד לאחר

⁵ החלטה זו לא הגדירה בדיוק אילו סוגי תחנות ייבנו, ולכן לא ניתן להעריך איזו תרומה שנתית הן היו צפויות לתרום לייצור (צריכת) החשמל.

החלטת הממשלה. כזכור, כשהחלטה התקבלה ייצרה ישראל מאנרגיות מתחדשות פחות מ-0.10% מהחשמל – פיגור ניכר לעומת היעדים הקודמים.

אף כי ההחלטה מ-2009 לא התבצעה, היא קידמה את עבודת הממשלה בתחום בכמה מישורים. ההחלטה הובילה את משרד התשתיות הלאומיות להכין תשקיף לייצור החשמל ולצריכתו בשנים 2014–2020⁶, והתשקיף הציג את היעדים למכסות הייצור לפי סוגי האנרגיות המתחדשות (שמש, רוח, ביו-גז וביו-מסה) ופירט מהם האתרים לייצור חשמל מאנרגיות השמש והרוח שנמצאים בתהליך תכנון (נכון ל-2017, ברוב האתרים לא הוקם מתקן לייצור חשמל). זאת ועוד, בשנת 2011 אימצה הממשלה את ההמלצות של מנהל התכנון במשרד הפנים והוסיפה לתוכנית המתאר הארצית (תמ"א 10/ד/10) הגדרות לתנאים ולהרשאות לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. אומנם הייתה אפשרות לייצור עוד קודם לעדכון התמ"א, אך ללא נוהל ברור היה הליך האישורים ארוך ומסורבל ודרש מעורבות של פקידות בכירה בכל החלטה – דבר שגרר עלויות נוספות ולכן הפחתה בכדאיות הייצור. אולם התמ"א מ-2011 קבעה בין היתר כי ניתן לגבות היטל השבחה על קרקע שייעודה הוסב לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. היטל השבחה התווסף לעלות הייצור והקשה על פיתוח התעשייה, ורק בחוק ההסדרים מ-2016 ניתן פטור ממנו. קביעת תקנות ונוהלי עבודה ממלאת תפקיד חשוב בהליך ההתפתחות של שוק בכלל, ושל שוק כפוף לפיקוח מאסדר בפרט, וההתעלמות הראשונית משלב זה נמנית עם הגורמים לכך שייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות לא עמד ביעדי הממשלה.

בשנת 2011 קיבלה הממשלה החלטה נוספת, וזו התבססה על הדוח שמשרד התשתיות פרסם ב-2010 וקבעה לפיו אבני דרך ויעדים כמותיים לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. אומנם ההחלטה אינה כוללת יעדים חדשים, אך היא היוותה אבן דרך במעבר ליישום המדיניות⁷. יש הבדל בולט בין החלטה זו להחלטת הממשלה משנת 2002: ההחלטה מ-2002 כללית והיא אכן לא תורגמה לתוכנית יישומית, ואילו ההחלטה מ-2011 לוותה במתווה שהתבסס על דוח מקצועי של משרד האנרגיה ולכן גם קיבלה ביטוי מעשי.

החלטת ממשלה נוספת, משנת 2014, שינתה את האופן שבו מכסות הייצור מתחלקות בין סוגי האנרגיות המתחדשות. ההחלטה לא שינתה את היעדים שהממשלה הציבה בהחלטה מ-2009, אף על פי שב-2014 הגיע הייצור מאנרגיה מתחדשת ל-1.5% מסך הייצור והיעד מ-2009 לשנה זו עמד על 5%. יתר על כן, בשנת 2015 קיבלה הממשלה החלטה שקבעה יעדים נוספים לייצור החשמל מאנרגיה מתחדשת: 13% מהתפוקה בשנת 2025 ו-17% בשנת 2030.

ביולי 2017 עבר תיקון לחוק משק החשמל. התיקון מחייב את שר האנרגיה לגבש תוכנית רב-שנתית לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת ולפרט אילו פעולות יש לבצע בכל שנה; מקים ועדה בין-

⁶ "מדיניות משרד התשתיות הלאומיות לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך ייצור החשמל בישראל", 14/02/2010, משרד התשתיות הלאומיות.

⁷ גם לפני ההחלטה אפשרו הרשויות לייצר חשמל מאנרגיה מתחדשת, אך בפועל ההחלטה האיצה את התהליך: רשות החשמל פרסמה כמה מסלולי אסדרה לייצור ב-2009 ומסלול אחד ב-2010, אך (נכון ל-2017) היא פרסמה את רוב המסלולים במהלך 2011. מסלול אסדרה מציג את החלטת הרשות בנוגע להסדר התעריף הרלוונטי ולאמות המידה שיש לעמוד בהן כדי לייצר חשמל בשיטה או בטכנולוגיה מסוימת.

משרדית לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת; ומחייב את מנכ"ל משרד האנרגיה לדווח לוועדת הכלכלה באיזו מידה המשק עומד ביעדי הייצור.

ב. מימוש היעדים

איור 2 מתאר את ארבעת השלבים העיקריים בתהליך שנהג עד לאחרונה⁸. בשלב הראשון קבעה הממשלה יעדים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, ולאחר מכן היא או משרד האנרגיה קבעו מכסות לסוגים השונים של אנרגיות מתחדשות. בשלב השני פרסמה רשות החשמל מכסות שפירוטו את סוג האנרגיה המתחדשת, את היקף הייצור הנדרש ואת תעריף ההזנה שיקבל היזם⁹. לאחר פרסום המכסות הגישו יזמים תוכניות לבניית מתקנים בהתאם לתנאים שנקבעו למכסות, ולאחר בדיקה ראשונית קיבלו רישיון ייצור מותנה בעל תוקף מוגבל¹⁰. עם התקדמות הפרויקט – תהליך שכלל הפקדה של תוכנית ההקמה, תיאום טכני עם חברת החשמל, הסכם מימון ראשוני וסגירה פיננסית – קיבל היזם אישור לתעריף הקבוע שישולם לו עבור כל יחידת חשמל שיזין לרשת. תעריף זה נקבע על בסיס העלויות שלו, נתון שחישבו הכלכלנים ברשות החשמל, בתוספת רווח שנחשב לסביר (10%—14%), והוא קיבל תוקף ל-20 שנה מתחילת הייצור במתקן. כלומר הממשלה התחייבה לרכוש כל כמות שהיזם ייצר עד המכסה שאושרה לו, בתעריף שנקבע, ובמשך 20 השנים הראשונות לפעולת המתקן. לאחר הסגירה הפיננסית היה היזם צריך לסיים את בניית המתקן בשארית התקופה של הרישיון המותנה, אחרת התחייבות המדינה פקעה.

⁸ לאחרונה עברה רשות החשמל למכרזי מחיר, שיטה שבה היזמים מתחרים על הצעת המחיר הנמוך ביותר. ב-20/03/2017 הסתיים מכרז המחיר הראשון למתקני ייצור פוטו-וולטאיים. הזוכים במכרז יקימו מתקנים שהספקם 235 מגוואט ויקבלו 19.9 אגורות לקוט"ש.

⁹ נוסף לרשות החשמל פרסמו מכרזים עוד שני גופים ממשלתיים – החשב הכללי במשרד האוצר ורשות מקרקעי ישראל (רמ"י). החשב הכללי אחראי על המכרז לשני המתקנים התרמו-סולריים ולשני המתקנים הפוטו-וולטאיים באשלים, ורמ"י אחראית על מכרזי הקרקע למתקנים הפוטו-וולטאיים הבינוניים שיוקמו על קרקעות שהמדינה תשווק.

¹⁰ תוקף הרישיון המותנה היה תלוי בטכנולוגיה: פוטו-וולטאי – 42 חודשים, רוח – 66 חודשים.

איור 2 תהליך האסדרה על ציר הזמן



איור 3 מתאר את התפתחות שוק האנרגיות המתחדשות בתקופה שמתחילה בשנת 2009, עם קבלתה של החלטת הממשלה על היעדים, ומסתיימת ב-2016. מהאיור עולה שעד 2014 פרסמה רשות החשמל מכסות ששיעורן כ-10% מסך ייצור החשמל, במסגרת הניסיון לעמוד ביעדים לטווח הארוך. נזכיר שהיעד מ-2009 – 10% מסך צריכת החשמל – התייחס ל-2020. מהאיור ניכר כי בשנים הראשונות לאחר קביעת היעד (2009–2013) אין פער גדול בין יעדי הממשלה לסגירות הפיננסיות, כלומר חלק ניכר מהפרויקטים התקדם בהתאם ליעדי הממשלה. בשנתיים האחרונות התרחב הפער בין היעד לסגירות הפיננסיות ולעומת זאת הצטמצם הפער שבין הסגירות הפיננסיות לייצור בפועל.



לפני שנדון בסיבות לכל אחד מחלקי הפער נדגיש כי בדיעבד התברר שהוא חסך למשק עלויות רבות: כעת ניתן להגיע ליעדי הייצור בעלות נמוכה יותר, הודות להתפתחות הטכנולוגית המהירה ולירידה החדה במחירי הייצור בטכנולוגיות פוטו-וולטאיות. במקביל חשוב להדגיש שאילו מימשנו את היעדים במלואם היינו מפיקים תועלת מסוימת כתוצאה מהפחתה בזיהום האוויר, אולם אין בידינו כלים להעריך את התועלת הזאת. בלוח 1 אנו מציגים הערכה לעלות שנחסכה. חשוב לציין כי לפחות בחלק מהמקרים זרם כל הרווח מהדחייה לכיסי היצרנים בשל צורת האסדרה שנהגה במשק ומידת האכיפה. (ראו דיון בהמשך).

לוח 1

סימולציה לעלות החשמל בתרחיש שבו יעדי הממשלה מתממשים במלואם, 2009 עד 2015

השנה	פוסיליים			מתחדשת			מתחדשת		
	נמוך	גבוה	חציון	נמוך	גבוה	חציון	נמוך	גבוה	חציון
2009	0.45	1.80	2.21	2.01	2.21	1.80	2.1	2.4	1.8
2010	0.41	1.60	2.05	1.83	2.05	1.60	2.5	2.8	2.2
2011	0.44	0.93	1.26	1.10	1.26	0.93	2.6	3.0	2.3
2012	0.51	0.46	0.71	0.59	0.71	0.46	2.7	3.1	2.2
2013	0.54	0.53	0.64	0.59	0.64	0.53	2.7	3.1	2.2
2014	0.54	0.47	0.50	0.49	0.50	0.47	2.7	3.1	2.2
2015	0.47	0.27	0.31	0.29	0.31	0.27	2.6	3.0	2.2

המקור: רשות החשמל ועיבודי בנק ישראל.

כדי לסבר את האוזן נתחקה אחר את חישוב העלות ל-2009, שנה שבה יוצרו במשק 53,267 גיגואט-שעה חשמל. באותה שנה יוצרו 58 גיגואט-שעה חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות (0.10% מסך הייצור). מאחר שהיעד מ-2002 עמד על 2.67% (בהנחה שהייצור מתקדם באופן לינארי לעבר היעד של 2014) – כלומר 1,420 גיגואט-שעה – חסרו לעמידה בו 1,363 גיגואט-שעה. באותה שנה עמדה העלות החציונית של ייצור בטכנולוגיה פוטו-וולטאית על 2.01 ש"ח לקוט"ש¹¹ ואילו עלות האלטרנטיבה – ייצור באמצעים פוסיליים – עמדה על 0.45 ש"ח. הפער בין המחירים כפול התוספת הנדרשת כדי להשיג את היעד לאותה שנה (2.67%) עמד בשנה זו על 2.1 מיליארדי ש"ח. עלות הייצור הפוסילי כפול סך ייצור החשמל עמדה על 24.2 מיליארדי ש"ח, ולכן היו מתווספים כ-8.5% לעלות הצריכה במחיר החציוני. כאמור, הממשלה החליטה כי זהו מחיר שראוי לשלם כדי להפחית את זיהום האוויר.

2. צווארי בקבוק בהליך האסדרה שנהג בעבר

א. הפער בין המכסות לסגירות הפיננסיות – חסמים למסלולי האסדרה הספציפיים

לוח 2 מפרט את המכסות שפורסמו עד לשנת 2014 לפי מקור האנרגיה ומסלול האסדרה. באופן כללי ניתן לחלק את מקורות האנרגיה לארבע קבוצות: (1) סולרית (בין שהיא מבוססת על חום [תרמו-סולרית] ובין שהיא מבוססת על אור [פוטו-וולטאית – PV¹²], (2) רוח¹³, (3) ביו-גז¹⁴ ו-(4) שריפת

¹¹ חישוב זה מתחיל מ-2009 ומניח כי המתקנים שהשלימו את העמידה ביעד ל-2009 נבנו בעלות ההקמה ב-2009. התוספת הנדרשת לעמידה ביעד לכל שנה חושבה לפי עלות ההקמה באותה שנה.

¹² ה-PV מתחלק לכמה מסלולי אסדרה: מתקן קטן – הספקו מגיע עד 50 קילוואט; מתקן בינוני – הספקו נע בין 50 קילוואט ל-12 מגוואט והוא מחובר לרשת החלוקה; מתקן גדול – הספקו עולה על 12 מגוואט והוא מחובר לרשת החלוקה; מתקן מונה נטו – הספקו מגיע עד 5 מגוואט והוא משמש קודם כל לצריכה עצמית; מתקני חלוץ – מתקנים ניסיוניים שונים; מכרזי קרקע – מתקן בינוני שיוקם על קרקעות שהמדינה תשווק באמצעות מכרזי רמ"י.

¹³ רוח מתחלק לשני מסלולי אסדרה: (1) מתקן קטן – הספקו מגיע עד 50, ו-(2) מתקן גדול – הספקו עולה על 50 קילוואט. ¹⁴ ייצור חשמל מביוגז שמופק מפסולת אורגנית בטכנולוגיות לעיכול אנאירובי (ללא חמצן).

ביומסה ופסולת¹⁵. (כזכור, מקורות ומסלולים אלו נבדלים ביניהם בין השאר במספר השעות שבהן ניתן לייצר מהם חשמל במהלך השנה, ולכן בכמות האנרגיה שהם מייצרים בפועל בהספק נתון.) ישנו גם מקור אנרגיה חמישי – מים – ובעולם אכן מייצרים ממנו חלק ניכר מהאנרגיה המתחדשת, אך מקור זה אינו זמין למשק הישראלי. המשק הישראלי עשיר בשמש וחלק ניכר מהמכסות בו ניתן לאנרגיה סולרית; את המקום השני תופסת אנרגיית הרוח.

לוח 2				
המכסות והסגירות הפיננסיות (ההספק במגוואט) לפי הטכנולוגיה, 2014				
שיעור הסגירות	הסגירה הפיננסית	המכסות	האסדרה	הטכנולוגיה
15	60	400	מונה נטו	סולרי – PV
88	274	310	PV קטן	סולרי – PV
64	300	470	PV בינוני	סולרי – PV
54	200	370	PV גדול	סולרי – PV
0	0	50	מתקני חלוץ	סולרי – PV
71	106	150	מכרזי קרקע לרבות אשלים PV	סולרי – PV
0	0	180	תרמו סולרי מוסב ל-PV	סולרי – PV
100	252	252	תרמו סולרי	סולרי – תרמי
11	11	100	ביו-גז – עיכול ללא חמצן	ביו-גז – עיכול ללא חמצן
0	0	50	ביו-מסה ופסולת	ביו-מסה ופסולת
3	21	730	רוח גדול	רוח
0	0	10	רוח קטן	רוח
40	1224	3072		סה"כ

המקור: החלטות הממשלה, נתוני רשות החשמל ועיבודי בנק ישראל.

עוד כולל הלוח את כמות הסגירות הפיננסיות, כלומר את סך ההספק שלגביו התקדמו היזמים בתהליך ההקמה עד כדי קבלת תעריף מובטח. עולה ממנו כי מרבית הפער בין המכסות לסגירות נוצר בשלושה מסלולי אסדרה ספציפיים: טורבינות רוח, מונה נטו וייצור חשמל באמצעות ביו-גז וביו-מסה.

האסדרה לייצור חשמל באמצעות טורבינות רוח פורסמה כבר בתחילת העשור, אולם שיעור הסגירות הפיננסיות בקטגוריית הרוח נמוך מאוד. ההסבר לכך מתחלק לשניים: א. בגולן נתקלה הקמת המתקנים בהתנגדות מצד מערכת הביטחון. לאחרונה עלתה הצעה להעניק למשרד הביטחון תקציבים לאמצעים טכנולוגיים שיאפשרו להתגבר על הבעיה שהטרידה אותו ונמנע ממנו לפרט¹⁶; ב. גליל נתקלת הקמת המתקנים בהתנגדות של ארגוני הסביבה: אלה טוענים שהטורבינות פוגעות

¹⁵ ייצור חשמל מגידולים חקלאיים, גזם חקלאי, או פסולת אורגנית פריקה-ביולוגית, ללא שימוש בטכנולוגיות לעיכול אנאירובי.

¹⁶ <http://m.knesset.gov.il/News/PressReleases/pages/press180117-k.aspx>

בנדידת הציפורים. מכסות הייצור מאנרגיית הרוח עמדו על 730 מגוואט, אך עד לשנת 2014 מומשו רק 21 מגוואט. אילו גדל הספק הייצור מאנרגיית הרוח ב-709 מגוואט, בהתאם למכסות שפורסמו, היה הדבר תורם כ-3.0% מצריכת החשמל בשנת 2014.

הצירוף "מונה נטו"¹⁷ מתייחס לייצור חשמל מאנרגיית השמש באמצעות מתקנים על גגות של לקוחות פרטיים ומסחריים. בעל הבית או העסק מייצר חשמל לשימוש עצמי ומזין את עודפי הייצור לרשת, ושם נצברות לו זכויות להשתמש בחשמל כשיצטרך. שיעור המימוש במסלול זה נמוך בעיקר בשל ריבוי חסמי אסדרה. אומנם רובם הוסרו לאחרונה¹⁸, אך עדיין נותרו בעיות מימון שמגבילות את התרחבות השימוש במונה נטו. מכסת הייצור במסלול הנידון עמדה על 400 מגוואט, אך עד לשנת 2014 מומשו 60 מגוואט בלבד. אילו מומש ההפרש היה הדבר תורם כ-1% מצריכת החשמל ב-2014.

גם מכסות הייצור מביו-גז וביו-מסה מתאפיינות כאמור בשיעור מימוש נמוך. אומנם היקף המכסות למקורות אלה מסתכם ב-150 מגוואטים בלבד, אך הייצור מהם רב מאוד מכיוון שניתן להפעיל את המתקנים כמעט ללא הפסקה, בניגוד למתקנים שמתבססים על אנרגיות שמש ורוח. אולם נראה כי חרף היקפן הנמוך גם מכסות אלה לא ימומשו, שכן בדיקה של המשרד להגנת הסביבה העלתה כי פוטנציאל הייצור מהמקורות הנידונים מסתכם במגוואטים בודדים (המשרד להגנת הסביבה, 2014), וגם מלכתחילה הייתה הסתברות נמוכה שמכסות אלו ימומשו. אילו מומשו המכסות במלואן היה הדבר מוסיף למשק כ-1.4% מסך צריכת החשמל ב-2014.

אילו הגיעו המכסות במסלולים אלה לסגירה פיננסית ולייצור, הן היו עשויות להוסיף למשק עוד 4.1% מצריכת החשמל בשנת 2014

ב. הפער בין הסגירות הפיננסיות לייצור – סוגיית המחיר

בין שלב הסגירה הפיננסית לשלב הייצור ישנו פער כמותי בלתי מבוטל. חלק מהיזמים שנמצאו בשלב זה בחרו לדחות את הקמת המתקנים אף על פי שמצבם הפיננסי אפשר שלא לדחותה והם קיבלו אישור לתעריף ההזנה. הסיבה לדבר נעוצה ככל הנראה בכך שהפירמות הבחינו בירידה התלולה של עלות הייצור, ובפרט בירידה המתמשכת בעלות הפנלים הסולריים.

בעת הסגירה הפיננסית ואישור התעריף מקבל היזם תעריף קבוע למשך 20 שנה מיום תחילת הייצור. התעריף כולל רווח שנחשב לסביר בתנאי השוק של השנה שבה הוא נקבע (10%—14%). אחרי אישור התעריף גדלים רווחי היצרן בעקבות כל שיפור שחל בעלויות לפני ההשקעה בפועל – כמו למשל ירידה בעלות הפנלים הסולריים – בהנחה שהוא מייצר באמצעות הטכנולוגיה החדשה והזולה יותר. כשמחירי המתקנים ירדו נוצר ליצרנים תמריץ כלכלי לדחות את הקמתם ככל האפשר ולהגדיל את התשואה על הפרויקטים. אומנם תוקפו של רישיון הייצור המותנה מגביל את משך הדחייה, שכן כדי

¹⁷ החלטה 1 מיישיבה 302 של רשות החשמל, 27/07/2010.

¹⁸ בין החסמים שהוסרו: פטור מניהול תיק במע"מ, פטור ממס הכנסה, פטור מארנונה ופטור מקבלת אישור של ועדת התכנון.

לקבל את התעריף שאושר היזם צריך לסיים את ההקמה בתקופת הרישיון. אולם נראה שבתגובה לכך לחצו היזמים על הממשלה להאריך את תקופת הרישיון המותנה ו/ או להגמישו. בעשרה מקרים לפחות התחיל מתקן PV לייצר כעבור למעלה מ-42 חודשים לאחר קבלת הרישיון המותנה¹⁹.

ההסבר שהצענו לעיל זוכה לתמיכה מסוימת מהנתונים המיקרו-כלכליים שבלוח 3. הלוח מציג את מספר השנים הממוצע שחולף מקבלת הרישיון המותנה ועד לתחילת הייצור. עולה ממנו כי כאשר המתקנים החלו לייצר ב-2011 חלפה שנה וחצי מקבלת הרישיון המותנה. עם התבססותה של מגמת הירידה בעלות הייצור הפוטו-וולטאי הלכה והתארכה התקופה הממוצעת, וב-2016 היא הגיעה לכ-3.5 שנים. גם איור 3 מעיד שבין הסגירה הפיננסית לייצור חולפות כ-3.5 שנים: הדבר משתקף בפער האופקי בין עקומת הסגירות הפיננסיות לעקומת הייצור בפועל.

לוח 3
משך הזמן הממוצע הנחוץ להקמת מתקן פוטו-וולטאי ועלות הייצור בו, לפי שנת ההקמה, 2011 עד 2016

שנת ההקמה של המתקן	המספר הממוצע של השנים שחלפו מקבלת הרישיון המותנה ועד להתחלת הייצור	עלות הייצור (באגורות לקוטי"ש)
2011	1.4	205–160
2012	2.0	126–93
2013	2.3	71–46
2014	2.8	64–53
2015	3.4	50–47
2016	3.6	31–27

המקור: נתוני רשות החשמל (נכון למאי 2017) ועיבודי בנק ישראל.

3. האתגרים בעתיד

תשתית שתומכת בייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת צריכה קיבולת ועמידות גדולות משמעותית מתשתית שמייצרת חשמל מאנרגיה פוסילית בלבד. ראשית, חלק ניכר מהייצור בישראל מתאפשר בדרום הארץ (פוטו-וולטאי) או בצפונה (רוח), כלומר רחוק יחסית ממוקדי הצריכה, ועל כן יש צורך רב בשינוע חשמל. שנית, מכיוון שייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות כרוך בביזור (גגות מבנים והרבה אתרים שמשתרעים על פני שטחים נרחבים), הוא מצריך הגדלה בהיקף השינוע של החשמל ובמספר החיבורים לרשת. לבסוף, היקף הייצור במתקנים תנודתי מאוד: הוא משתנה בהתאם לשעה ביום, לעונה ולמזג האוויר. בעקבות זאת, ומכיוון שכיום אין יכולת לאגור חשמל בהיקפים משמעותיים,

¹⁹ בתהליך אישור התעריף נדרשות הפירמות להעמיד ערבויות לעמידה בתנאי החוזה. אולם חילוט הערבויות אינו עניין של מה בכך מהבחינות המשפטיות והביורוקרטיות ולכן אינו מתבצע בדרך כלל. כאשר היצרנים אינם עומדים אפוא בלוח הזמנים שנקבע בחוזה, הם נוטלים סיכון נמוך יחסית. אך הם גורמים לדחיית הגידול בייצור החשמל מאנרגיה מתחדשת ולמחסור באנרגיה, מכיוון שהם קיבלו מכסה ולכן מונעים מיצרנים פוטנציאליים אחרים להשתמש בה ולייצר חשמל.

הרחבת השימוש באנרגיות מתחדשות דורשת רשת חשמל עמידה יותר לשינויים תכופים בהיקפים ובכיווני השינוע של החשמל.

התשתית למערכת החשמל נחלקת לרשת ההולכה ולרשת החלוקה, וביניהן מחברים שנאים לשינוי מתח. רשת ההולכה מובילה את החשמל ממקום הייצור (במקרה של אנרגיות מתחדשות רוב הייצור מתרחש בדרום) למקום הצריכה (בעיקר במרכז); רשת החלוקה מחלקת את החשמל למבנים; והשנאים ממירים את מתח החשמל ממתח העל (ברשת ההולכה) למתח הגבוה (ברשת החלוקה). בכל אחת מהרשתות קיימים צווארי בקבוק פוטנציאליים, כיוון שחלק מהמתקנים לייצור מאנרגיות מתחדשות (בעיקר מתקנים גדולים) מחוברים לרשת ההולכה וחלקם לרשת החלוקה (לדוגמה החשמל המיוצר על גגות מבנים). גם מערכת ההשנאה עלולה להכיל צוואר בקבוק כי אם היא מגיעה לשיא הקיבולת, חשמל ממתקן שחובר לרשת ההולכה לא יוכל לעבור לרשת החלוקה. במהלך 2017 הודיעו רשות החשמל וחברת החשמל כי בשעה שבעבר יכלו השנאים להגיע ל-100% מקיבולתם, מעתה ואילך ינוצלו עד 60% מקיבולתם, כמקובל במרבית המדינות המפותחות²⁰. בעקבות זאת ירדה משמעותית יכולתה של המערכת לתמוך בחשמל מאנרגיות מתחדשות, ואף נדחו פרויקטים לייצור חשמל מהן.

החלטות הממשלה מתייחסות רק ליעדי הייצור מאנרגיה מתחדשת, אולם מימוש היעדים הלכה למעשה תלוי בתשתית על כל מקטעיה, ובפרט ברשתות ההולכה והחלוקה. כבר בשלב זה יש מגבלה על ההספק שאפשר לחבר לרשת²¹. שדרוג התשתית יצריך כמה שנים ועל כן יש להפנות לכך משאבים כבר עתה כדי לעמוד ביעדים בעשור הבא. יתר על כן, התוכניות הקיימות לפיתוח התשתית כלל אינן מתחשבות בצורך לתמוך בייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת. בדוח הפיננסי שחברת החשמל פרסמה לשנת 2016 נכתב במפורש כי "אין באפשרותה של החברה לחבר לרשת החשמל את כל היוזמות להקמת תחנות כוח באנרגיה מתחדשת בהיקף משמעותי ללא השלמת פרויקט חיבור אילת ודרום הערבה לרשת ההולכה...".

גם בעולם קיימות בעיות תשתית ובשנים האחרונות התרבו המקרים שבהם היא כשלה בהתמודדות עם התפתחות הייצור מאנרגיות מתחדשות, בפרט באמצעים פוטו-וולטאיים. את ייצור החשמל באמצעים פוטו-וולטאיים מובילות סין, ארה"ב, יפן, הודו, בריטניה וגרמניה, ואליהן מצטרפות עוד מדינות שפיתחו את התחום באופן משמעותי – דרום קוריאה, אוסטרליה, הפיליפינים וצ'ילה. הגידול המהיר בהספק המבוזר והצורך לחבר את המתקנים לרשת חשמל יצרו לא פעם גודש ברשתות החשמל במדינות אלו, והדבר בא לידי ביטוי בניתוקים ובפעילות בלתי סדירה של הרשתות. הספק הייצור באמצעים פוטו-וולטאיים בסין גדל פי 11 מסוף 2012. בשנת 2015 כרעה הרשת הסינית

²⁰ <https://www.themarket.com/dynamo/energy/1.3904668>

²¹ ראו דוח הצוות לבדיקת היערכות והתנהלות חברת החשמל באירועי הפסקות החשמל באוקטובר 2015 (משרד האנרגיה, 2016). זאת ועוד, בשנת 2017 פרסמה רשות החשמל מכסות קטנות מהיעד, בין היתר בגלל סקר היתכנות שחברת החשמל ערכה בנוגע ליכולת החיבור וההולכה.

תחת העומס והתרחשו ניתוקים רבים²². המצב החמיר ב-2016 והמאסדר הסיני מנסה כעת לתקן את הבעיה. בשנת 2016 התגלו סימני גודש ראשוניים בגרמניה, והמאסדר הגרמני החליט להאט את קצב הגידול של ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות עד שמערכות ההולכה והחלוקה ידביקו את קצב ההתפתחות²³. בשנה זו התרחשו ביפן לראשונה ניתוקים עקב גודש, והמדינה חדלה לחבר מתקנים חדשים לרשת החשמל²⁴. גם בהודו מגבלות הרשת מציבות את האתגר המרכזי ליישום יעדי השימוש באנרגיה מתחדשת²⁵.

הכשלים התכנוניים שמדינות רבות מתמודדות עימם, והבעיות בתשתיות החשמל בישראל, מדגישות את הצורך בתכנון ארוך טווח שמתחשב בכל החלקים ברשת החשמל, קרי את הצורך לקדם תוכנית אב למשק האנרגיה בישראל.

כדי להתמודד עם אתגרים אלו ולפתור חלק מבעיות העבר בתחום הוקם במאי 2016²⁶ צוות בין-משרדי לבחינת החסמים להקמת מתקנים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, ובראשו עומד שאול מרידור, מנכ"ל משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים. "מטרת הצוות היא לחלץ את הפקקים והחסמים, להביא למימוש יעדי הממשלה ולהקים מתקני אנרגיה מתחדשת נוספים, בדגש על גגות"²⁷. הוועדה צפויה לפרסם את המלצותיה בקרוב.

4. סיכום ומסקנות

אנו מוצאים שנוצר פער בין היעדים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות לבין מימוש היעדים. בדיעבד התברר כי הפער הוביל לחיסכון בלתי מבוטל משום שחלה בעולם התפתחות טכנולוגית בתחום האנרגיות המתחדשות והמחירים ירדו בתלילות, אולם כתוצאה ממנו לא הצטמצמו הפליטות המזהמות בקצב שקבעה הממשלה. כמו כן מצאנו שגם כאשר כדאי ליזמים בישראל לאמץ טכנולוגיה לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, עדיין נדרשים שינויי אסדרה רבים, תכנון נכון ותשתיות מתאימות כדי להכניסה לשימוש.

אף על פי כן ייצור החשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות מתפתח בישראל בשנים האחרונות. הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית, תחום שבו ישראל נהנית מיתרון יחסי בזכות האקלים, מצליחה לאחרונה להתחרות באלטרנטיבות ובמקביל הוסרו רבים מהחסמים שמנעו את התפתחותה. גם מחירים הנמוך של הקולטים והרווח המובטח ליזמים מסירים ככל הנראה חסם למימוש המכסות

²² <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2016/04/china-s-grid-operator-blames-bad-planning-for-idled-renewable-energy.html>

²³ <https://www.theguardian.com/environment/2016/oct/11/germany-takes-steps-to-roll-back-renewable-energy-revolution>

²⁴ <https://www.pv-tech.org/news/japans-fit-degression-back-to-previous-levels-as-utility-curtails-solar-out>

²⁵ <http://www.bridgetoindia.com/tamil-nadu-takes-top-slot-for-solar-capacity-in-india/>

²⁶ בעקבות החלטת ממשלה 1403.

²⁷ <http://energy.gov.il/AboutTheOffice/SpeakerMessages/Pages/GxmsMniSpokesmanREJune16.aspx>

שהממשלה הקצתה. בתחום אנרגיית הרוח קיימים עוד חסמי אסדרה, והסרתם תאפשר לפתח את תעשיית הייצור מאנרגיה זו. את האתגר המרכזי מציבה עתה התשתית לרשת החשמל: בלא השקעה לטווח ארוך היא עלולה לבלום את המשך הפיתוח של ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות ואת העמידה ביעדים שהממשלה הציבה בתחום זה.

רשימת מקורות

בנק ישראל (2015), "השימוש באנרגיות מתחדשות בישראל", ההתפתחויות הכלכליות בחודשים האחרונים מס' 140, אפריל עד ספטמבר 2015, חטיבת המחקר, בנק ישראל.

דוח משרד הפנים (2010), מדיניות המועצה הארצית לקידום הקמת מתקנים סולאריים לייצור חשמל, פברואר 2010, משרד הפנים, מנהל התכנון.

דוח משרד התשתיות הלאומיות (2010), מדיניות משרד התשתיות הלאומיות לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך הייצור החשמל בישראל, פברואר 2010, משרד התשתיות הלאומיות.

דוח משרד התשתיות הלאומיות (2016), הצוות לבדיקת היערכות והתנהלות חברת החשמל באירועי הפסקות החשמל באוקטובר 2015, מרץ 2016, משרד התשתיות הלאומיות.

יניב רונן (2012), הקצאת מכסות לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות וחסמים בהקמת מתקני הייצור, מרכז המחקר והמידע, הכנסת.

יניב רונן (2013), ייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות בישראל, מעקב אחר יישום החלטת הממשלה מס' 4450, מרכז המחקר והמידע, הכנסת.

המשרד להגנת הסביבה, (2014), הפקת אנרגיה מפסולת ביו-מאסה: תקצירי מחקרים ותובנות.

תמ"א 10\ד\10 (2010), תמ"א 10\ד\10 – תוכנית מתאר ארצית למתקנים פוטו-וולטאיים, חוק התכנון והבנייה תשכ"ה 1960 המועצה הארצית לתכנון ולבנייה.

חברת החשמל לישראל בע"מ, דוח תקופתי לשנת 2016.

Chapman, A.J., McLellan, B. and Tezuka, T., 2016. "Residential solar PV policy: An analysis of impacts, successes and failures in the Australian case". *Renewable Energy*, 86, pp.1265-1279.

Liu, X., Eric, G.O., Tyner, W.E. and Pekny, J.F., 2014. "Purchasing vs. leasing: A benefit-cost analysis of residential solar PV panel use in California". *Renewable Energy*, 66, pp.770-774.

Tayal, A. and Rauland, V., 2016. "Barriers and Opportunities for Residential Solar PV and Storage Markets-A Western Australian Case Study". *Global Journal of Research in Engineering*, 16(7), pp.44-58.

Sommerfeld, J., Buys, L. and Vine, D., 2017. "Residential consumers' experiences in the adoption and use of solar PV". *Energy Policy*, 105, pp.10-16.

UN (2017), *Global Trends in Renewable Energy Investment 2017*

REN21 (2016), *Renewables 2016: Global Status Report*, REN21 Secretariat, Paris.

REN21 (2017), *Renewables 2017: Global Status Report*, REN21 Secretariat, Paris.

IEA (2016a), *World Energy Outlook 2016*, IEA, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/weo-2016-en>

IEA (2016b), *Global Energy Investment*, OECD/IEA, Paris.