

מהפכת הגגות הסולאריים

כיצד ייצור חשמל סולארי על גגות מבני מגורים יוכל להזניק את הכלכלה הישראלית

מבוסס על עבודת תזה שנכתבה בשנת 2014 במסגרת לימודי מוסמך במנהל עסקים וסביבה באוניברסיטה העברית. נתוני המחקר מבוססים על שכבת בסיס הנתונים הטופוגרפי הלאומי (הבנט"ל) 2012 של המרכז למיפוי ישראל (מפ"י) תחת רישיון האוניברסיטה העברית, וכפופים לתנאי השימוש של מפ"י.

לאור התגברות תופעות שינויי האקלים, ממשלות רבות הציבו יעדים להפחתת תלותן בדלקים פוסיליים לצורך צמצום פליטות גזי החממה. מספר המדינות אשר אימצו יעדים מוצהרים לשילובן של אנרגיות מתחדשות בתמהיל הדלקים שלהן עלה מבודדות בתחילת שנות האלפיים ל-138 כיום. בשנת 2015 הושקעו 270 מיליארד דולר באנרגיות מתחדשות ומספר ההתקנות בתחומים כמו טורבינות רוח ואנרגיה סולארית גדל בעשרות אחוזים ביחס לשנים קודמות. בתחום האנרגיה הסולארית, אשר נחלקת למספר סוגים, הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית גדלה בשיעורים הגבוהים ביותר בשנים האחרונות. [לקריאה נוספת על הגידול באנרגיות מתחדשות בעולם – פרק 1.1 בעבודת המחקר המלאה]

מדינת ישראל הציבה אף היא יעדים לשילובן של אנרגיות מתחדשות, ובהחלטת ממשלה 4550 מאוקטובר 2009 קבעה יעד לפיו עד לשנת 2020, 10% מכלל צריכת החשמל במדינה יתבסס על אנרגיות מתחדשות. בכדי לעמוד במטרה, גובשה תוכנית רב-שנתית אשר הקצתה מכסות ייצור ייעודיות לפי סוגי טכנולוגיה להפקת אנרגיה מתחדשת, כאשר רובן מסתמכות על הקצאת קרקעות להקמתן. שיעור ההצלחה של התוכנית היה נמוך, ומרבית ההתקנות הפוטו-וולטאיות אשר יושמו במסגרתה היו במגזר העסקי והחקלאי, אולם במגזר הביתי השיעור היה זניח באופן יחסי. לקראת סוף שנת 2016 צפויה המדינה להחליט על מתווה עדכני ליישום יעד חדש ושאפתני עוד יותר: שילוב אנרגיות מתחדשות ברשת החשמל בהיקף של 17% עד שנת 2030. [לקריאה נוספת על יעדי המדינה לאנרגיות מתחדשות – פרק 1.2 בעבודת המחקר המלאה]

את הקצב האיטי לצמיחתן של האנרגיות המתחדשות בישראל ניתן לתלות במספר גורמים, אך לכולם בסיס משותף אחד: היבטים סביבתיים-תכנוניים שנובעים ממחסור בקרקעות זמינות במדינה. על אף שמרבית שטחה של מדינת ישראל מצוי בנגב ומוגדר כשטחים פתוחים, בחינה של קרקעות הנגב לפי שימוש מגלה כי 98% מתוכן בעלות ייעוד קיים, לרבות שטחי אש ושמורות טבע. המחסור בקרקעות פנויות מהווה חסם מרכזי להשגת היעדים שהוגדרו ועל כן מהווה שיקול מרכזי בהתוויית מדיניות הפקת אנרגיה מתחדשת בארץ. תימוכין לטענה זו ניתן למצוא בעבודתה של הועדה הבין משרדית "לבחינת חלופות למיקום תחנת כח סולארית" אשר פעלה בין השנים 2003-2009 ובחנה חלופות למיקומו של מתקן תרמו סולארי בנגב. מתוך כלל הקריטריונים שנקבעו לדירוג החלופות, ההיבט הסביבתי-תכנוני קיבל את מירב המשקל (65%) ביחס להיבטים הטכנולוגיים והתשתיתיים. נתון זה מדגיש את מצוקת הקרקעות בנגב. לאור האמור, בכדי למזער את השפעתה של מגבלת הקרקעות על השגת יעדי הממשלה, יש צורך בקידומו של פתרון שאינו תלוי במשאב הקרקע, ויאפשר שימוש בשטח בנוי בעל תשתיות חשמל קיימות וסמיכות למוקדי צריכת החשמל. [לקריאה נוספת על החסמים לשילוב אנרגיות מתחדשות – פרק 1.3 בעבודת המחקר המלאה]

חישוב פוטנציאל ייצור החשמל על גגות מבני המגורים בארץ התבסס על נתוני GIS של כלל מבני המגורים בארץ מתוך שכבת הבנט"ל של מפ"י לשנת 2012. המידע כולל את כל המבנים בארץ המסווגים כ"מגורים" ללא שטחי יהודה, שומרון ועזה. התחשיב בוצע באמצעות שלושה פרמטרים: גובה כל מבנה, שטח פולגון הגג שלו, ומיקומו הגיאוגרפי-אקלימי (דרום, צפון, מרכז וירושלים). רשומות מבנים בעלי שטח גג או גובה חריגים הוסרו מהתחשיב (פחונים, מחסנים וכיו"ב). [לקריאה נוספת על בסיס המידע במחקר – פרק 2.1 בעבודת המחקר המלאה]

גובה המבנה תורגם למספר הקומות כך שניתן יהיה לסווג לאחת מארבע קבוצות **סוג בניין**: בתים פרטיים ובניינים נמוכים; בניינים של 3-5 קומות; בניינים של 6-8 קומות; ובנייני מגורים של 9 קומות ומעלה. [לקריאה נוספת על מתודולוגיית חישוב מספר הקומות – פרק 2.2 בעבודת המחקר המלאה] על סמך חלוקה זו נקבע **אחוז שטח הגג הפנוי**. בבנייני מגורים משותפים שטח הגג עשוי להכיל אלמנטים מותקנים כגון דודי שמש, צלחות לוויין, גופי מיזוג, גנרטורים ואנטנות. בנוסף לכך, קיימים אלמנטים מובנים נוספים בשטח הגג, כגון: פנטהאוזים, פירי מעליות, פתחי יציאה לחדר המדרגות ומעקות היקפיים. כל אלה מקטינים את שטח הגג הפנוי לשימוש ועשויים להוות גורם מצליל. בניינים שונים מכילים אלמנטים שונים על גגותיהם, אולם ככלל, ככל שמספר הקומות בבניין גדול, אחוז שטח הגג הפנוי המתאים להקמת מערכת פוטו-וולטאית קטן יותר. כך לדוגמה, בבניינים של 9 קומות ומעלה, רק 13.5% משטח גג הבניין בממוצע מתאים להתקנת מערכת פוטו-וולטאית. אחוז שטח הגג הפנוי כפול שטח פולגון הגג, אפשרו לחשב את היקף השטח הזמין להתקנת מערכת פוטו-וולטאית בכל מבנה. [לקריאה נוספת על מתודולוגיית חישוב שטחי הגג הפנויים – פרק 2.3 בעבודת המחקר המלאה] תפוקת הפאנלים הפוטו-וולטאים מושפעת מתנאי מזג האוויר ולכן תפוקת החשמל לכל מבנה חושבה לפי מיקומו האקלימי-גיאוגרפי. [לקריאה נוספת על תפוקה סולארית לפי אזורי אקלים – פרק 3.2 בעבודת המחקר המלאה]

פוטנציאל הייצור הכולל בארץ חושב באמצעות המרת סך שטחי הגג הזמינים ליחידות קילוואט מותקן, תוך התייחסות לתפוקת הייצור השנתית לפי האזור הגיאוגרפי-אקלימי בו המבנים מצויים. בוצעו שני תחשיבים – חישוב הפוטנציאל המוגבל וחישוב הפוטנציאל המקסימאלי. התחשיב המוגבל בוצע תחת ההסדרה הביתית כיום, לפיה משק הבית היצרני מוגבל לייצור חשמל עד להיקף הצריכה השנתית שלו ("מונה נטו"). בהתאם להסדרה זו, גודל המערכת המותקנת נקבע לפי הביקוש השנתי לחשמל במבנה. הביקוש לחשמל חושב עבור כל מבנה מגורים בארץ בהתאם למספר משקי הבית המאכלסים אותו וממוצע ביקוש חשמל שנתי למשק בית. אין כיום מידע רשמי לגבי מספר הקומות ומספר הנפשות המתגוררות בכל מבנה בארץ. מידע זה חיוני על מנת לחשב את גודל המערכת הפוטו-וולטאית הנדרשת לכל סוג בניין. על כן, נתוני מספר הקומות במבנה ושטח הפולגון שימשו לחישוב מספר משקי הבית המתגוררים במבנה, ומתוך כך נגזרה צריכת החשמל במבנה. במבנים בהם יכולת ייצור החשמל עלתה על הביקוש, בעיקר בבתים פרטיים, שטח הגג העודף לא נלקח בתחשיב הפוטנציאל. סך הפוטנציאל המוגבל הינו 16,582 גיגה וואט לשעה שהם 27% מצריכת החשמל הכללית בישראל. הפוטנציאל המקסימאלי לייצור חשמל על גגות מבני מגורים בארץ ימומש בתנאי שתוסר מגבלת ייצור החשמל הביתית לצריכה עצמית בלבד (הסדר "מונה

נטו"). סך הפוטנציאל המקסימאלי הינו 20,484 גיגה וואט לשעה – שהם יותר משליש מצריכת החשמל הארצית. מימוש הפוטנציאל (המוגבל והמקסימאלי) תלוי בביצוע התאמות מבניות של רשת החשמל לצורך קליטת כמויות גדולות של חשמל סולארי מבוזר. אולם יש לציין שגם כיום, רשת החשמל מסוגלת לקלוט חשמל סולארי בהיקפים גבוהים הרבה יותר מהחשמל הסולארי המיוצר כיום. [לקריאה נוספת על פוטנציאל הייצור הביתי – פרק 2.6 בעבודת המחקר המלאה]

פרק 3: ניתוח התועלת הפרטית

הביקוש הביתי לחשמל מהווה 36% מסך הצריכה הארצית ועומד על כ-18,000 גיגה וואט. לפי נתוני חברת החשמל בשנת 2014 היו 2.4 מיליון צרכני חשמל ביתיים ומכאן שצריכתו הפרטית של משק בית בשנה הינה 7,469 קוט"ש. בכדי לחשב את צריכתו הריאלית של הצרכן-יצרן יש להוסיף לנתון זה שני אלמנטים נוספים של צריכה: הראשון בגין הגידול בשימוש בדוד החשמלי (בהנחה שדוד השמש יוסר מהגג לטובת התקנת פאנלים פוטו-וולטאים) והשני בגין 2% ייצור נוספים לכיסוי אובדן ההמרה מזרם ישיר לחליפין. לאחר הוספתם, נתון הצריכה השנתי עומד על 8,223 קוט"ש בממוצע למשק בית. על סמך נתון זה, גודל המערכת הנדרשת עבור משק הבית הממוצע הינו 4.73 קילוואט מותקן. יחד עם זאת, מגבלת שטח הגג עבור משק הבית הממוצע מאפשרת את הקמתה של מערכת פוטו-וולטאית בגודל של 3.7 קילוואט מותקן בלבד. [לקריאה נוספת על צריכת החשמל הביתית – פרק 3.1 בעבודת המחקר המלאה]

רמת הניצולת של סוג הפאנל הפוטו-וולטאי שנלקחה לבסיס החישוב במחקר הינה 16%, ורמת יעילות המרת החשמל ממתח ישיר לעקיף הינה 98%. עם זאת, התפוקה הפוטו-וולטאית מושפעת באופן ישיר מתנאיו החיצוניים של התא הפוטו-וולטאי ולכן כמות החשמל המיוצרת בכל אזור גיאוגרפי תהיה שונה. ניתן לחלק באופן גס את המדינה לארבעה אזורים: צפון, מרכז, דרום ואזור ירושלים. לכל אזור מאפייני האקלימיים הייחודיים מבחינת רמות הקרינה, עוצמת הרוחות והטמפרטורה הממוצעת. בכדי לעמוד על השונות, רמת תפוקתו של כל בניין מגורים בארץ חושבה על סמך האזור האקלימי-גיאוגרפי בו הוא נמצא. [לקריאה נוספת על תפוקה סולארית לפי אזורי אקלים – פרק 3.2 בעבודת המחקר המלאה]

בדצמבר 2012 פורסמה הסדרת "מונה נטו" אשר בישרה את הגעתה של ישראל למצב של שוויון תעריפי (*Grid Parity*), לפיו עלות ייצורו של קוט"ש באמצעות הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית שווה לעלות ייצורו בדרכים הקונבנציונאליות הקיימות. על פי ההסדרה, צרכן-יצרן יוכל להפחית את הוצאות החשמל הפרטיות שלו על ידי צריכת החשמל הסולארי עם הפקתו או באמצעות ניצול הקרדיט שנצבר בגינו בהמשך (במסגרת תקופה מוגדרת). על אף שבמסגרת ההסדרה, עודפי חשמל לא מנוצלים יכולים להיפדות עבור תעריף מוקטן, מתודולוגית המחקר הגבילה את גודל המערכת כך שלא תעלה על צריכתו הפרטית על פני השנה. [לקריאה נוספת על הסדרת מונה נטו – פרק 3.3 בעבודת המחקר המלאה]

בתחום של ניצול אנרגיית השמש לחימום מים במגזר הביתי, ישראל מהווה חלוצה הן בפיתוח טכנולוגי והן ביישומה. תרומתם של דודי השמש לצמצום צריכת החשמל נאמדה בכ-4% מהביקוש הכלל ארצי בשנת 2010 שהם 2.12 גיגה וואט שעה. עם זאת, התפתחותה של הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית הולידה אפשרויות חדשות לניצול שטח הגג החשוף לשמש, על ידי המרת קרני השמש לחשמל, ולא למים חמים בלבד. המחקר מצא שעבור משקי בית רבים קיימת עדיפות להקמת מערכת פוטו-וולטאית על פני דודי שמש. הסיבה לכך היא הצורך המוגבל של משק הבית באנרגיה התרמית (מים חמים) שמייצר דוד השמש, לעומת הצורך של משק בית בחשמל שמייצרים הפאנלים הפוטו-וולטאים. תחת הסדרת "מונה נטו", 38.8% ממשקי הבית בארץ יוכלו להשאיר את דוד השמש כיוון ששטח הגג שלהם מאפשר את הקמתה של המערכת הפוטו-וולטאית לצידו. החיסכון האנרגטי שמיוצר כיום על ידי דוד השמש, חושב כצריכת החשמל התוספתית שתידרש למשקי בית אשר יוותר עליו. היות ובמרבית משקי הבית הישראלים האלטרנטיבה לדוד השמש הינה שימוש בדוד חשמלי, החישובים מתבססים על ערכו של קילוואט חשמל כבסיס השוואה לאנרגיית החום של השמש. [לקריאה נוספת על ההשוואה הכלכלית בין מערכת פוטו-וולטאית לדודי שמש – פרק 3.4 בעבודת המחקר המלאה]

עלותה של מערכת פוטו-וולטאית מורכבת מעלות הפאנלים (5,156 שקלים לקילוואט מותקן) ועלות ההתקנה (4,864 שקלים לקילוואט מותקן למערכת ממוצעת). עלות הפאנלים כוללת את עלותם של הממיר, החיווט, רכיבי העיגון, הפאנלים והמיסים בגינם. עלות ההתקנה כוללת את עלותם של התכנון, הוצאת האישורים, רווח קבלן וההתקנה עצמה. בבנייני מגורים משותפים בהם הקמת המערכת מתבצעת על ידי ועד הבניין, עלות ההתקנה מתחלקת בין מספר הדירות ששותפות למערכת.

הכדאיות של משק בית פרטי מהקמת מערכת פוטו-וולטאית נמדדת אל מול מצב של "עסקים כרגיל", בו לא נעשה כל שימוש בשטח הגג מעבר למצב הקיים. כדאיותו של פרויקט ניתנת למדידה על ידי מציאת הערך הנוכחי הנקי שלו (NPV), המגלם את כלל ההוצאות והתקבולים על פני תקופה של 30 שנה, לפי שוויים המהווים לזמן הנוכחי. הפרמטרים שנלקחו בתחשיב הינן שיעור ריבית של 3%, תקופת היוון של 30 שנה, גודל מערכת של 3.7 קילוואט מותקן, עלות של 6,900 שקלים עבור קילוואט מותקן אחד (משקלל עלות התקנה שמתחלקת בין מספר דיירים), פחת בניצולת של 0.5% מדי שנה, עלות קוט"ש של 55 אגורות ועלות תחזוקה של 82 שקלים לקילוואט מותקן.

תחשיב הכדאיות כולל את הביקוש התוספתי לחשמל תחת ההנחה שיוסר דוד השמש. בנוסף, ניתן לשער שגידול בביקוש למערכות פוטו-וולטאיות ברמה ארצית יביא לירידה מסוימת בעלויות ההתקנה, אך אלו לא נלקחו בחשבון. הערך הנוכחי הנקי של הקמת מערכות פוטו-וולטאיות ממוצעת הינו 41,800 שקלים, החיסכון בהוצאות החשמל על פני כל התקופה הינו 67,500 שקלים והחזר ההשקעה כ-6.8 שנים. [לקריאה נוספת על מידת כדאיות ההשקעה במערכת פוטו-וולטאית – פרק 3.7 בעבודת המחקר המלאה]

פרק 4: ניתוח התועלות הכלכליות למשק הישראלי

הכדאיות הכלכלית עבור משק הבית היא תנאי הכרחי למהפכת הגגות הסולאריים אך קיימות תועלות נוספות עבור משק הבית, מעבר לחיסכון הכספי האישי – תועלות כלכליות, חברתיות וסביבתיות.

יש לציין כי חישוב התועלות הכלכליות המפורטות בפרק זה בוצע על בסיס ההנחה ששיעור הגיבוי הנדרש לחשמל המסופק על ידי מערכת פוטו-וולטאית הינו 75%, משמע אספקתו למערכת של 1 קוט"ש סולארי ימנע את הפקתו של 0.75 קוט"ש קונבנציונאלי. לדוגמא, תועלת שנאמדה במיליון ש"ח לשנה, שוקללה בתחשיבים כ-750 אלף ש"ח לשנה.

צמצום זיהום האוויר והפחתת פליטות גזי חממה

התועלת המשמעותית ביותר של מעבר לחשמל מאנרגיה מתחדשת הינו צמצום זיהום האוויר והורדת היקף פליטות גזי החממה לאטמוספירה. לפי נתוני ה-OECD בשנת 2010 שיעור התמותה בארץ ממחלות הקשורות לזיהום אוויר עמד על 2,542 נפש לשנה. על פי המשרד להגנת הסביבה, ייצור חשמל היה אחראי למחצית מזיהום האוויר בארץ באותה שנה. באשר לפליטת גזי חממה, בשנת 2013 ייצור חשמל היה אחראי ל-70% מכלל הפליטות שנמדדו בארץ. ניתוח נתוני הפליטות, כפי שהתפרסם על ידי חברת החשמל בשנת 2013, בשילוב עם אינדקס העלות החיצונית של מזהמים לשנת 2014, מראה שהעלות החיצונית של ייצור החשמל בשנת 2013 הייתה 4.3 מיליארד שקלים. אילו מהפכת הגגות הסולאריים הייתה מיושמת באותה שנה, היה נחסך למשק נזק בעלות חיצונית של 1.08 מיליארד שקלים. יש לציין כי ככל שתימשך מגמת הסבת תחנות הכוח לגז טבעי, ירד שיעור זיהום האוויר הנפלט מתחנות הכוח, והעלות החיצונית תקטן באותו שיעור. [לקריאה נוספת על צמצום זיהום האוויר והפחתת פליטות גזי חממה – פרק 4.2 בעבודת המחקר המלאה]

שימור השטחים הפתוחים

ישראל מדורגת מספר 34 במדד צפיפות האוכלוסייה מבין מדינות העולם, ועתודות הקרקע הפנויות שלה מעטות. מהפכת הגגות הסולאריים תאפשר לייצר חשמל ללא ויתור על שטחים פתוחים נוספים של המדינה. ניתן לאמוד את ערכו של דונם קרקע בנגב על ידי בחינת הסכמי החכירה תחתם העבירה רשות מקרקעי ישראל (רמ"י) ליזמים פרטיים אדמות להקמת שדות סולאריים. מחירו הממוצע של דונם קרקע מוכר הינו 32 אלף שקלים לתקופה של 25 שנים. על פי התוכנית הלאומית לאנרגיות מתחדשות, יעדי הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית יושגו באמצעות הקמת 350 מגהוואט מותקן על שטחי קרקע. היות ופוטנציאל גגות המגורים גדול בעשרות מונים מיעד זה, תוכל המהפכה למנוע לחלוטין את השימוש בשטחי קרקע נוספים מעבר לאלו בהם כבר נעשה שימוש. אילו היו גגות מבני מגורים מחליפים לחלוטין את יעד מכסת השדות הסולאריים, הייתה נחסכת החכרתם של 5,600 דונם מאדמות רמ"י, שווי ערך ל-179 מיליוני שקלים. בנוסף, הימנעות מהקמת שדות סולאריים מרוחקים תמנע את הצורך בהקמתן של תשתיות הולכה בהיקף של 55.2 מיליוני שקלים. סך החיסכון החד-פעמי בגין שימור קרקעות המדינה הינו 234 מיליוני שקלים. [לקריאה נוספת על שימור השטחים הפתוחים – פרק 4.3 בעבודת המחקר המלאה]

צמצום אי-השוויון

שיעורי צמיחת התוצר בישראל בעשור האחרון עמד על 4.5% ולווה באחוזי אבטלה נמוכים. אולם לא כל שכבות האוכלוסייה נהנו מהעלייה ברמת חייהם באופן שווה. לפי הנתונים, שיעור אי-השוויון גדל בתקופה זו בשל שחיקה בשכרו הריאלי של מעמד הביניים, וזאת במקביל לצמצום ההשקעה של המדינה בשירותים הציבוריים המסופקים לו. ישראל ממוקמת רביעית מבין מדינות ה-OECD במדד ג'יני, המייצג את אי-השוויון בחלוקת ההכנסות.

השילוב של גידול מתמשך ברמת צריכת החשמל הביתית לצד עליית תעריפי החשמל מאז שנת 2002, על אף ההוזלות האחרונות, מעידים כי ההוצאה על חשמל עבור משקי בית גבוהה יותר כיום מאשר הייתה בעבר. על אף שסך ההוצאה על חשמל בעשירונים העליונים גבוהה יותר, המחקר מצא שמשקי בית בעשירונים תחתונים מקצים אחוז גבוה יותר מההכנסה הפנויה לחשמל. השפעתו של צמצום הוצאות החשמל על מדד ג'יני, חושבה במחקר על בסיס תוספת לשכר בשווי גודל החיסכון. התחשיב בוצע לפי אינדקס ההכנסה הפנויה לנפש ומעיד על קיטון של 2% במדד ג'יני. כמו כן, הפיזור הגיאוגרפי של העשירונים לפי מחוזות אקלימיים מעיד על הקשר שבין מעמד חברתי-כלכלי נמוך והתיישבות בפריפריה, ובפרט בדרום הארץ, בה הקרינה ורמות התפוקה של המערכות הסולאריות גבוהות מביתר הארץ. בנוסף, המחקר מצא שבנייני מגורים של 6 קומות ומעלה נפוצים יותר במרכז הארץ, שנחשבת לענייה פחות בממוצע. כיוון שמשקי בית עם הכנסה נמוכה נוטים להתגורר בבנייני מגורים נמוכים, שטח הגג הממוצע העומד לרשותם גדול באופן יחסי למספר הדיירים ומאפשר כיסוי רב יותר של הוצאות החשמל באמצעות ייצור חשמל סולארי. בנוסף, בנייני מגורים גבוהים הינם בעלי אחוז שטח גג פנוי נמוך מאשר מבנים נמוכים, על אף ששטח הגג שלהם גדול יותר במרבית המקרים. [לקריאה נוספת על השפעתו של ייצור חשמל סולארי על צמצום אי-

השוויון – פרק 4.4 בעבודת המחקר המלאה]

שינוי תפיסתי בערכו של משאב הטבע

משאב טבע הוא חומר מוחשי הנוצר בטבע כגון מים, יערות או אדמה אשר ניתן לייצר מהם ערך כלכלי. בשנים האחרונות התפתח דיון ציבורי סביב סוגיית משאבי הטבע של המדינה ואופן חלוקתם, ובתוך כך הוקמו ועדות צמח ושינסקי במטרה לקבוע מחדש מנגנוני מיסוי ראויים ויעילים על משאבי המדינה. עם זאת, גם לאחר השינויים בהסדרת התקבולים, מרבית הרווח מניצול משאבי הטבע של המדינה נשאר בידיהן של החברות הפרטיות המפיקות אותם. בשונה ממשאבי הטבע האחרים, משאב השמש מפוזר באופן שוויוני למדי בין אזרחי המדינה, וניצולו באופן ישיר, ולא דרך חברות מתווכות, יאפשר למלוא ערכו הכלכלי להישאר בידי האזרח. השינוי שנדרש אינו טכנולוגי, אלא תפיסתי. לפי התפיסה החדשה, משקי בית במדינה זכאים לבעלות על משאב הטבע שייקרא "שטח שמש", שהוא חלקם היחסי בשטח הגג אשר חשוף לשמש, וממנו ניתן להפיק רווח. יתרה מזאת, היות והסדרת "מונה נטו" מגבילה את היקף הייצור לפי מידת הצריכה של משק הבית היחיד, לא קיים חשש שהמשאב ינוצל באופן לא שוויוני על ידי משקי בית בעלי שטח גג רב, שכן לא קיימת תועלת כלכלית פרטית מחשמל עודף שיוצר.

כיום יכולת ניצול משאב הטבע שמורה בעיקר לבעלי ממון, אולם ייצור חשמל באופן עצמי מעביר את הכוח אל הפרט ומייצר תמריץ לשיתופיות בין בעלי דירות בבנייני מגורים על מנת להוזיל את עלויות ההקמה. שותפות זו יכולה לשמש כאמצעי להפחתת עלויות מימון במידה ונדרשת הלוואה בנקאית להקמת המערכת. חלוקתו ההוגנת של משאב הטבע מפיקה תועלת כלכלית למשקי הבית

הפריטים, אך לא שוקללה בתחשיב התועלות המאקרו כלכליות למשק הישראלי. [לקריאה נוספת אודות שינוי תפיסתי בערכו של משאב הטבע – פרק 4.5 בעבודת המחקר המלאה]

יצירת מקומות תעסוקה חדשים

נכון לשנת 2014 שיעור האבטלה בישראל עמד על 6.2%, וכלל קבוצה ניכרת של כוח אדם בלתי מיומן. תרומתו של ייצור חשמל סולארי ליצירת מקומות תעסוקה חדשים נמדדת בכמות המשרות הישירות שהיא יוצרת בתחומי התכנון, ההקמה והתחזוקה של מערכות. לפי ה-OECD כל מגה-וואט מותקן מייצר 18.3 מקומות תעסוקה (כ-18 משרות התקנה ו-0.3 משרות תחזוקה) שיוכלו לייצר סך של 2,980 משרות ארוכות טווח ו-177,817 משרות התקנה במשק הישראלי. לשם השוואה, תעשיית החשמל המסורתית מייצרת רק 0.32 מקומות תעסוקה לכל מגה וואט. בכדי לאמוד את תרומתן של המשרות החדשות למשק התבסס המחקר על ממצאי דוח קנדל של המועצה הלאומית לכלכלה, אשר אמד את תרומתה של אנרגיה פוטו-וולטאית משדות סולאריים בפריפריה ב-15.5 מיליון שקלים לכל 12 מגה וואט מותקן. לפי מודל זה, מהפכת הגגות הסולאריים צפויה ליצור מקומות תעסוקה בשווי של 118 מיליון שקלים מדי שנה, על פני תקופה של 25 שנים. [לקריאה נוספת אודות יצירת מקומות תעסוקה חדשים – פרק 4.6 בעבודת המחקר המלאה]

צמצום הפסקות חשמל

בשנת 2013 דיווחה רשות החשמל על 234 דקות של הפסקות חשמל ברשת. הפסקות אלה הסבו נזק כלכלי של 2.6 מיליארד שקלים למשק באותה שנה. מרבית ההפסקות נבעו מתחזוקה לקויה של תשתית החשמל או משיאי ביקוש אשר מרביתם בחודשי הקיץ. מערכות פוטו-וולטאיות על גגות מבני מגורים יוכל לספק חשמל באופן מקומי מבלי שיוזרם דרך מקטע ההולכה, בזמנים של תקלות או תחזוקה. באשר להפסקות הנגרמות בשל עודף ביקוש, קיים מתאם גבוה בין השעות בהן הביקוש לחשמל גבוה לבין השעות בהן קרינת השמש בשיאה. מערכות פוטו-וולטאיות יוכלו לספק תוספת משמעותית למאזן החשמל בשעות אלו. המחקר מצא שייצור חשמל סולארי על גגות מבני מגורים יוכל לחסוך אובדן של 532 מיליון שקלים הנגרמים בשל הפסקות חשמל מדי שנה. [לקריאה נוספת אודות צמצום הפסקות חשמל – פרק 4.7 בעבודת המחקר המלאה]

הגברת הביטחון האנרגטי

בדוח משנת 2013 הצהירה חברת החשמל שבשל מצבה הגיאוגרפית של ישראל ויחסיה עם מדינותיה השכנות, המדינה עשויה למצוא את עצמה מבודדת מבחינה אנרגטית. במהלך השנים 2009-2010 התגלו שני מצבורי גז טבעי בשטחה הימי של מדינת ישראל, אולם לטענת משרד האנרגיה תשתיות גז טבעי נתונות לתקלות ומעשי חבלה בהסתברות גבוהה ביחס לתשתיות אנרגיה פוסילית אחרות. על אף שאסדות הגז, והמתקנים הנלווים להן נמצאות בבעלות פרטית, הן מוגדרות כתשתיות לאומיות אסטרטגיות המהוות יעד לתקיפה ועל כן מוגנות על ידי צה"ל בעלות שנאמדת ב-3 מיליארד ₪ לפי תוכניות אשר הוצגו למדינה. פיזור מוקדי ייצור החשמל על פני מאות אלפי יחידות לאורכה של הארץ, יחזק את יכולתה של המדינה לספק חשמל באופן סדיר, הן בתרחישי מלחמה והן תחת מצבי חירום העשויים להיגרם מאסונות טבע כגון רעידת אדמה. [לקריאה נוספת אודות הגברת הביטחון האנרגטי – פרק 4.8 בעבודת המחקר המלאה]

הפחתת אובדן החשמל לאורך מקטע הייצור והחלוקה

חברת החשמל מספקת את צרכיהם של 2.4 מיליון צרכני חשמל ביתיים באמצעות עשרות מתקני ייצור הפזורים על פני 19 אתרים שונים ברחבי הארץ. החשמל מגיע לצרכנים ממתקני הייצור באמצעות קווי הולכה באורך כולל של 51,827 ק"מ. אובדן חשמל לאורך מקטע ההולכה הינה תופעה מוכרת הנגרמת כתוצאה מחיכוך האוויר עם קווי המתח. בשנת 2013 דיווחה חברת החשמל על אובדן חשמל של 1.25% במקטעי ההולכה ו-2.65% במקטעי החלוקה. צריכת חשמל סולארי תוכל לצמצם את המרחק בין מקור הייצור החשמל למוקד צריכתו ולחסוך אובדן הולכה ברשת. כמו כן, הגדלת היקף ייצור החשמל הסולארי עשויה לחסוך בעלויות ייצור החשמל הנדרש לצורך הפקת חשמל קונבנציונאלי בתחנות הכוח. גובה החיסכון נאמד בכ-160 מיליון שקלים מדי שנה. [לקריאה נוספת אודות הפחתת האובדן לאורך מקטע הייצור והחלוקה – פרק 4.8 בעבודת המחקר המלאה]

שדרוג מקטע החלוקה

ייצור חשמל סולארי על גגות מבני מגורים יתרום להסטת עומסים ממקטע ההולכה למקטע החלוקה ולשימוש ישיר של הצרכנים בתוך בתיהם ללא מעורבות הרשת. בהתאם, יידרש שדרוגה של מערכת החלוקה על ידי הוספת קוים חדשים ועיבויים של הקיימים. מהלך זה יצריך את חלוקתם מחדש של תקציב התחזוקה המוקצה לכל סוג מקטע. כמו כן, ניתן לטעון כי העברת חלק מנפח מהייצור מתחנות הכוח אל גגות מבני המגורים יביא לצמצום מסוים בעלויות התפעול והתחזוקה במקטע הייצור. עבודת המחקר הניחה שהחיסכון בעלויות הקיימות יתקזז עם הצורך בהוצאות הנוספות, ולא ייווצר עודף תקציבי כלל. [לקריאה נוספת אודות שדרוג מקטע החלוקה – פרק 4.10 בעבודת המחקר המלאה]

יצירת קרן ממשלתית לתמיכה בהקמת מערכות פוטו-וולטאיות

מרבית משקי הבית המשתייכים למעמד הביניים יכולים לשאת בעלות רכישתה ותחזוקתה של מערכת פוטו-וולטאית ממוצעת. אולם כדי לאפשר למשקי בית בעשירונים התחתונים לקחת חלק בייצור חשמל סולארי יש ליצור תכנית ממשלתית לסבסוד ומתן הלוואות על סמך מדד חברתי-כלכלי. מנגנון דומה קיים בתוכנית המענקים הממשלתית עבור שיפור חזות בנייני מגורים בשכונות חלשות, ובשנת 2012 לבדה היה תקציבה 1.9 מיליארד שקלים. הסטת אחוז מסוים מתקציב זה יכולה לשמש לתמיכה בהקמת מערכות פוטו-וולטאיות. מקור מימון אפשרי נוסף הינו ההנחה החודשית בחשבון החשמל אשר מוענקת לזכאים ומסתכמת ב-306 מיליון שקלים מדי שנה. חלקו של תקציב זה ניתן בגין השתייכות למעמד חברתי-כלכלי נמוך, וכך ניתן לשלב את הקמתן של מערכות פוטו-וולטאיות לצורך המשך אספקת חשמל חינוך למשק הבית הזכאי. היות וייצור חשמל סולארי הינו פרויקט מניב בעל צפי תקבולים ידוע מראש, רמת הסיכון אליה תיחשף המדינה הינה נמוכה ביחס למתן הלוואות למטרות אחרות. בהתאם למנגנון של הון חוזר, כאשר תסיים הקרן להחזיר את עצמה, יוכלו התקבולים השוטפים לשמש למתן הלוואות חדשות וכן הלאה. בנוסף, עבור קבוצת האוכלוסייה המשתייכת לעשירונים הנמוכים-בינוניים תוכל הממשלה לתת הלוואות בריבית נמוכה כאמצעי לעידוד המעבר לייצור חשמל באופן עצמאי. לפי מחקר ישראלי (פרידמן ושות' 2014) שבדק את מידת המוכנות של משקי בית להשקיע באמצעים להתייעלות אנרגטית נמצא שסובסידיה בגובה של 25% הינה מספקת בכדי לייצר עליה בנכונות משק הבית לביצוע המהלך. עלותה של קרן תמיכה ממשלתית תהיה 289 מיליון שקלים לשנה על פני תקופה של שמונה שנים.

[לקריאה נוספת אודות יצירת קרן ממשלתית לתמיכה בהקמת מערכות פוטו-וולטאיות – פרק 4.11
בעבודת המחקר המלאה]

אובדן הכנסות ממיסים

הוצאות החשמל בארץ חייבות בשיעור מס של 17%. הקטנת חשבון החשמל החודשי של משקי הבית יביא לאובדן הכנסות לקופת המדינה בהיקף של 1,331 מיליון שקלים. מנתון זה יש לקזז את ההכנסות החדשות למדינה ממיסוי רכש המערכות, התקנתם ותחזוקתם השוטפת, ולכן הפסד ההכנסות המיסיים יסתכם ב-614 מיליון שקלים בשנה. [לקריאה נוספת אודות אובדן הכנסות ממיסים – פרק 4.12 בעבודת המחקר המלאה]

הלימת התוכנית להמלצות ועדת הרפורמה במשק החשמל

משק החשמל בארץ מתאפיין בריכוזיות גבוהה בשל אחזקתה של חברת החשמל בכל שרשרת המקטעים. בשל כך מונתה ועדה בין משרדית לבחינת הרפורמות הנדרשות בענף החשמל. שתיים מתוך שלושת המלצותיה המרכזיות של הוועדה עולות בקנה אחד עם רעיון גגות מבני מגורים סולאריים. הראשונה, שילובם של יצרני חשמל נוספים בבעלות פרטית, והשנייה, יצירת תחרות במקטע החלוקה. ייצור חשמל על משקי הבית, מלבד הגדלת נתח הייצור המוחזק בידיים פרטיות, יביא לצמצום כמות החשמל המוזרמת ברשת, הן במקטע החלוקה והן ביתר המקטעים. [לקריאה נוספת אודות המלצות ועדת הרפורמה במשק החשמל – פרק 4.13 בעבודת המחקר המלאה]

לסיכום, בשקלול כלל התועלות והעלויות נמצא כי ייצור חשמל סולארי על גגות מבני מגורים ייצר תועלות לכלכלת המדינה בהיקף של מעל מיליארד שקלים נטו מדי שנה.

פרק 5: תוצאות ודיון

מניסיון העבר ניתן ללמוד כי קביעת יעדים ממשלתיים כשלעצמה אינה מספיקה כל עוד לא ניתנת התייחסות למידת הרווחיות של הפרט שבקצה השרשרת. התועלות הכלכליות למשק הישראלי אינן מהוות תמריץ מספק עבור הפרט ולכן העבודה מבוססת על ההנחה הכלכלית שהפרט מעוניין למקסם את רווחתו האישית מעל לכל. לפיכך, הניתוח הכלכלי בוצע גם ברמת משק הבית הפרטי ורק לאחריה ברמת המדינה, כפי שהוצג בפרקים 3 ו-4 בהתאמה. הצלחת מהפכת הגגות הסולאריים תתאפשר רק במידה והאינטרסים של הפרט והמדינה יצטלבו ותוכח כדאיות מובהקת למשק הבית. [לקריאה נוספת אודות יצירת תמריצים – פרק 5.2 בעבודת המחקר המלאה]

שקלול הנתונים מראה כי הערך הנוכחי נקי (NPV) עבור כלל משקי הבית במדינה מייצור חשמל על גגות המבנים מסתכם בחסכון של 9.1 מיליארד שקלים מדי שנה. בנוסף, התועלות הכלכליות נטו למשק הישראלי נאמדו ב-1.1 מיליארד שקלים מדי שנה שהם כ-0.4% מהתמ"ג במדינה. [לקריאה נוספת אודות התועלת הפרטית והלאומית – פרק 5.1 בעבודת המחקר המלאה]

כפי שהוצג בפרקים הקודמים, למהפכת הגגות הסולאריים תועלות רבות ברמה הלאומית – החל מצמצום זיהום האוויר ועמידה בהתחייבויות בינלאומיות, יצירת מקומות עבודה חדשים וכלה בהגברת הביטחון האנרגטי. המהפכה היא אינטרס לאומי ולכן מומלץ שהכנסת והממשלה יקדמו רגולציה שתתמוך ותעודד את יישומה. בין היתר, מומלץ לתקן את חוק התכנון והבניה-1976 ולחייב התקנה של מערכות פוטו-וולטאיות על מבני מגורים חדשים. תיקון זה יהווה איתות לשוק ובכך צפוי לעודד גם משקי בית בבניינים קיימים להתקין מערכות, בדומה לחקיקה מסוף שנות ה-70, בנוגע להתקנת דודי שמש בבניינים חדשים. [לקריאה נוספת אודות איתות לשוק – פרק 5.3 בעבודת המחקר המלאה]

על מנת לבצע שינוי מבני בבניין או בשטחו יש להשיג מינימום נדרש של דיירים המסכימים לשינוי. דוגמא מוכרת היא תמ"א 38 לחיזוק מבנים קיימים בפני רעידות אדמה. עם זאת, בשונה מתוכנית זו, התקנת מערכת פוטו-וולטאית על גג הבניין אינה כרוכה בטרחה רבה או ויתורים מצד הדיירים. אולם במקרים בהם קיימת התנגדות של מיעוט מתוך בעלי הדירות, מוצע שהרגולטור יגבש מנגנון להסדרת חלוקת שטח הגג בין בעלי הדירות. [לקריאה נוספת אודות זכויות בניה והסכמות דיירים – פרק 5.4 בעבודת המחקר המלאה]

בשנים האחרונות הוסרו חסמים ביורוקרטים להתקנת מערכות פוטו-וולטאיות על גגות מבני מגורים, כגון: ביטול הצורך בהיתר בניה, ביטול תשלום הארנונה והקלות בתחום המיסוי. כיום, תקנת מערכת פוטו-וולטאית על גג בית פרטי הינה הליך פשוט. אך התקנת המערכת בבנייני מגורים משותפים דורשת טיוב רגולטורי מרכזי נוסף – חלוקת עודפי ייצור החשמל בין משקי הבית השותפים למערכת. [לקריאה נוספת אודות שיפור הרגולציה – פרק 5.5 בעבודת המחקר המלאה]

כפי שצוין בפרק 4, יחס הגיבוי הנוכחי לאנרגיה סולארית עומד על 75%. ככל ששיעור האנרגיה המתחדשת ברשת החשמל גדל, יש להגדיל את יחס הגיבוי. מאידך, יחס הגיבוי הנוכחי מבוסס ברובו על ייצור חשמל במתקנים גדולים המרוכזים גיאוגרפית. מהפכת הגגות הסולאריים מציעה ביזור למאות אלפי יחידות ייצור קטנות, אלמנט המקטין את היקף הגיבוי הנדרש. [לקריאה נוספת אודות שמירה על יחס גיבוי נוכחי – פרק 5.6 בעבודת המחקר המלאה]

הגידול הטבעי באוכלוסייה יחד עם שיעורי הצמיחה הגבוהים של המשק הובילו לגידול ניכר בביקוש לחשמל בעשורים האחרונים. הביקוש הנוכחי אף צפוי להכפיל את עצמו עד שנת 2030. במקביל למגמה זו, הקמה של תחנות כוח קונבנציונאליות חדשות נתקלת בהתנגדות מקומית מצד התושבים משיקולי בריאות הציבור. על מנת לתת מענה לביקושים הגדלים, יש לגבש חלופות למקורות ייצור החשמל הקיימים. התגליות האחרונות של גז טבעי לחופיה של מדינת ישראל אינן מהוות מענה מספק לאתגרים שצוינו לעיל. ראשית, גדולים ככל שיהיו מאגרי הגז, מאגרים אלה אינם מתחדשים. שנית, שימוש בגז לייצור חשמל אינו נקי מהשפעות שליליות לבריאות הציבור והסביבה, אלא רק פחות מזיק משימוש בדלקים פוסיליים. לכן, מומלץ להשקיע בשילובן של אנרגיות מתחדשות בכלל, ואנרגיה סולארית בפרט, במשק החשמל בישראל. [לקריאה נוספת אודות מבט לעתיד – פרק 5.7 בעבודת המחקר המלאה]

העלייה בביקוש לחשמל בישראל, לצד המצב הגיאוגרפי-פוליטי הייחודי, דוחפים את המשק הישראלי לגיבוש פתרון אנרגטי בר-קיימא שיכלול מגוון של מקורות אנרגיה מתחדשים, ביניהם אנרגיה סולארית. המעבר לשימוש באנרגיה מתחדשת דורש זמן ושינוי מבני ברשת החשמל. מהפכת הגגות הסולאריים מציגה אפשרות חדשה לניצול שטחי הגג של מבני המגורים בארץ כחלק ממדיניות אנרגטית כוללת. יישום המהפכה תלוי בקיומן של כדאיות כלכלית למשק הבית, תשתית רגולטורית תומכת וחשוב מכל, מודעות גבוהה של משקי הבית. מטרת המחקר היא להציג את הפוטנציאל הכלכלי של המהלך למשקי הבית ולמדינה, להצביע על שינויים רגולטוריים נדרשים ולהעלות את מודעות משקי הבית לאפשרות התקנת מערכת פוטו-וולטאית על גג ביתם. בשונה מאוצרות טבע מוחשיים כגון אדמה, מים או גז, קרינת שמש עדיין לא נתפסת כמשאב טבע בעל ערך, בפרט כמשאב שהפרט יכול לנצל באופן אישי לתועלתו. כיום "שטחי השמש" שלנו לא מנוצלים באופן יעיל. על אף שחישוב פוטנציאל ייצור החשמל במחקר היה שמרני, נמצא כי הפוטנציאל לייצור חשמל על גגות מבני מגורים נע בין 27% מכלל צריכת החשמל הנוכחית, תחת מגבלת הצריכה הפרטית במסגרת ההסדרה הקיימת, ועד 33% מצריכת החשמל, במידה ואין מגבלה על כמות החשמל המיוצרת. [לקריאה נוספת – פרק 6 בעבודת המחקר המלאה]