

יולי 2016 | מחקר מספר 104

הרחבת ייצור האנרגיה הסולארית על גבי מבני מגורים

ניר לוטן

עמית מרכז מילקן לחדשנות במכון ירושלים לחקר ישראל



Jerusalem Institute for Israel Studies **מכון ירושלים לחקר ישראל**
Milken Innovation Center **מרכז מילקן לחדשנות**

תודות

ברצוני להודות לוולדן טרנר על ההנחיה האקדמית והמקצועית לאורך כתיבת המחקר. תודה רבה לגלית כהן, סמנכ"לית אשכול תכנון ומדיניות במשרד להגנת הסביבה, על ההזדמנות להוביל תחום מרתק זה ועל ההשראה. תודתי המיוחדת נתונה לאדריכל רן אברהם, ראש תחום בנייה ירוקה, על העבודה המשותפת ועל תקופה מדהימה במשרד להגנת הסביבה. אני מודה גם לכל חבריי באשכול תכנון ומדיניות, ובפרט לאלה ויינשטיין, לשחר סולר ולעומרי כרמון.

לבסוף, ברצוני להביע תודתי הרבה לצוות מרכז מילקן לחדשנות: לסטיבן זכר על שחלק עמי מתובנותיו המועילות, לפרופ' גלן יאגו על ההעשרה והידע הנרחב, ולאורלי מובשוביץ-לנדסקרונר על שהייתה לכולנו עמוד התווך של התכנית וסייעה בכל מקום ובכל זמן.

על אודות תוכנית עמיתי מרכז מילקן לחדשנות

תוכנית עמיתי מרכז מילקן לחדשנות מקדמת את הצמיחה הכלכלית בישראל באמצעות התמקדות בפתרונות חדשניים, מבוססי שוק, לבעיות מתמשכות בתחומים חברתיים, כלכליים וסביבתיים. התוכנית מתמקדת באיתור פתרונות גלובליים והתאמתם למציאות הישראלית ובבניית ממשקים חינויים המחברים בין משאבים ממשלתיים, פילנתרופיים ועסקיים, לטובת צמיחה ופיתוח לאומי בר-קיימא.

התוכנית מעניקה מלגות שנתיות לישראלים מצטיינים, בוגרי מוסדות להשכלה גבוהה בארץ ובעולם, המתמחים במוקדי קבלת ההחלטות הלאומיים ומסייעים בפיתוח פתרונות באמצעות מחקר והתמחות. היקף הפעילות של עמיתי התוכנית הוא מקסימלי – התמחות, הכשרה ומחקר במשך חמישה ימים בשבוע.

במשך שנת התמחותם עוסקים עמיתי מכון מילקן במחקר המדיניות במשרדי הממשלה וברשויות שלטוניות אחרות, ומסייעים למקבלי ההחלטות ולמעצבי המדיניות בחקר ההיבטים השונים של סוגיות כלכליות, סביבתיות וחברתיות.

בנוסף עורכים העמיתים מחקר מדיניות עצמאי, שמטרתו לזהות חסמים לתעסוקה ולצמיחה בישראל ולאתר פתרונות אפשריים. מחקרי העמיתים מתבצעים בהדרכת צוות אקדמאי ומקצועי מנוסה ותומכים במחוקקים וברגולטורים, המעצבים את המציאות הכלכלית, חברתית והסביבתית בישראל.

במהלך השנה מוענקת לעמיתים הכשרה אינטנסיבית במדיניות כלכלית, ממשל ושיטות מחקר. במסגרת מפגשי ההכשרה השבועיים, העמיתים רוכשים כלים מקצועיים לכתבת תזכירים, מצגות וניירות מדיניות, וכן כלי ניהול, שיווק ותקשורת. בנוסף, נפגשים העמיתים עם בכירים במשק ובממשל ועם אנשי אקדמיה מהשורה הראשונה בישראל ובעולם. בסמסטר הראשון, העמיתים משתתפים בקורס המתמקד בחידושים פיננסיים, במסגרת בית הספר למנהל עסקים באוניברסיטה העברית בירושלים. הקורס מקנה 3 נקודות זכות אקדמיות, ומלמד אותן פרופ' גלן יאגו, מנהל בכיר, ומייסד, המעבדות לחידושים פיננסיים[™] במכון מילקן.

את בוגרי התוכנית ניתן למצוא במגוון תפקידים בכירים במגזר הפרטי, כמרצים באקדמיה, במגזר הציבורי וכיועצים לשרים ולמשרדי הממשלה. ישנם בוגרים שנקלטו במשרדי הממשלה, ואחרים המשיכו ללימודים גבוהים באוניברסיטאות מובילות בישראל, ארצות הברית ובריטניה.

תוכנית עמיתי מרכז מילקן לחדשנות היא לא פוליטית ובלתי מפלגתית, ואינה מקדמת קו פוליטי או אידאולוגי.

למידע נוסף על אודות התוכנית: www.milkeninnovationcenter.org

תוכן עניינים

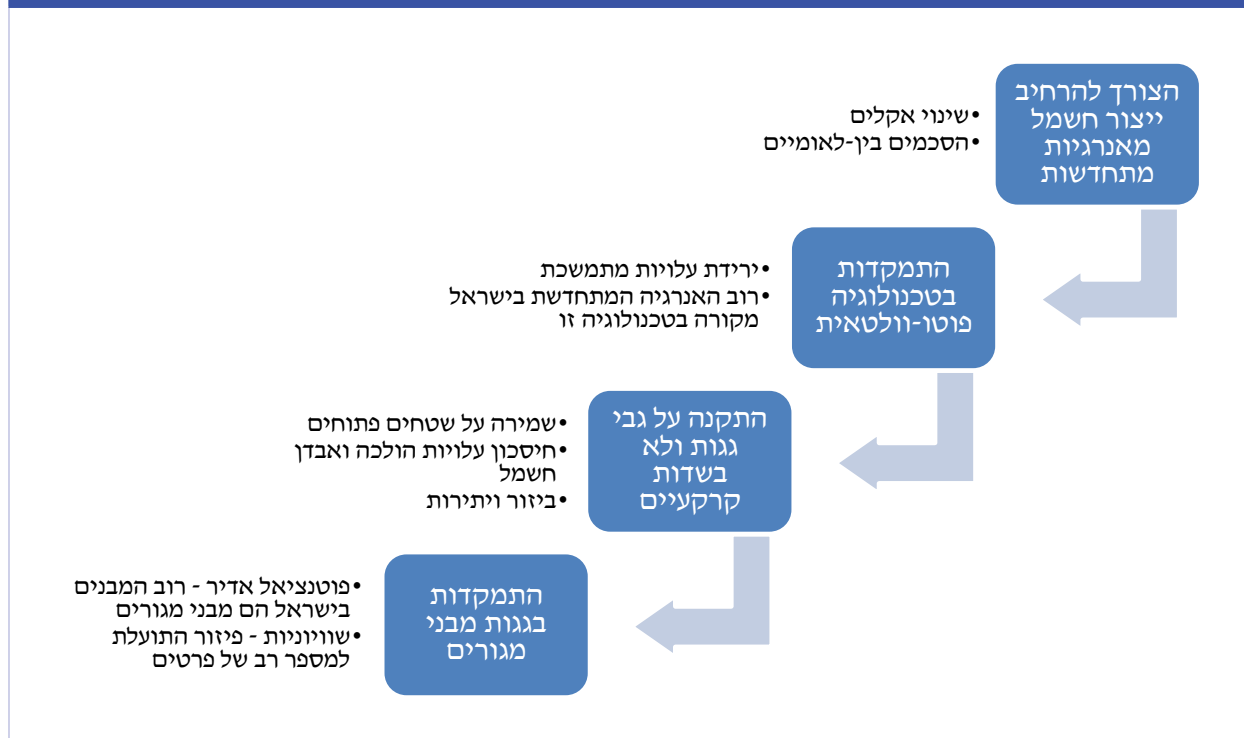
4	תקציר מנהלים.....
8	מבוא.....
9	רקע – אנרגיה סולארית.....
9	הטכנולוגיה – מהי אנרגיה סולארית?.....
10	מבט גלובלי.....
11	תועלת כלכלית מאנרגיה סולארית.....
14	אנרגיה סולארית בישראל.....
17	מודלים להצבת מתקנים סולאריים על מבני מגורים.....
18	מודל ועד הבית.....
19	מודל הרשות המקומית.....
20	מודל הדיור הציבורי.....
23	מודל קואופרטיבי/שותפות.....
24	מודל כלכלה שיתופית.....
25	אפשרויות מימון.....
30	חסמים עיקריים.....
34	סיכום והמלצות.....
36	ביבליוגרפיה.....
38	נספחים.....
38	נספח א' – השפעת מבנה ההון של צד הממשלה במיזם על גודל המיזם.....
41	נספח ב' – הנחות.....

תקציר מנהלים

הרחבת ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות היא כורח המציאות במאבק העולמי מול ההתחממות הגלובלית. הנושא קיבל משנה תוקף לאחרונה בחתימה ההיסטורית על הסכם פריז (בשנת 2015) לצמצום פליטות גזי חממה, וכן באסטרטגיה הלאומית של מדינת ישראל. במסגרת מאמצים אלה, טכנולוגיה פוטו-וולטאית לייצור חשמל היא הטכנולוגיה הירוקה המובילה כיום בישראל, והיא צפויה להמשיך להוביל את המעבר לאנרגיות מתחדשות בעשורים הקרובים.

עם זאת, לא זו בלבד שהיקף ייצור האנרגיה הפוטו-וולטאית¹ כיום בישראל נמוך מאוד ביחס לזה של המדינות המפותחות, אלא שרוב הייצור הוא ממתקנים קרקעיים. בניגוד למתקנים קרקעיים, מתקנים פוטו-וולטאיים המותקנים על גבי גגות מונעים פגיעה בשטחים הפתוחים, מפחיתים את אבדן החשמל בהולכה, ויוצרים יתירות של הרשת. כמו כן, ריבוי ההתקנות והטייתן לגגות מבני מגורים מפזרת את התועלת על פני מספר רב של פרטים, ועל כן היא גם שוויונית יותר. זאת ועוד, רוב הבניינים בישראל הם מבני מגורים שגגותיהם מעמידים שטח פוטנציאלי עצום, שאיננו מנוצל, לטובת התקנה של המערכות. תהליך החשיבה שמוביל למיקוד בייצור אנרגיה סולארית (אנרגיית שמש) על גבי מבני מגורים לנוכח מכלול הצרכים לעיל מוצג בתרשים א'.

תרשים א' – הצרכים להרחבת ייצור האנרגיה הסולארית על גבי מבני מגורים



מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

¹ אנרגיה פוטו וולטאית הינה אוסף של פאנלים המורכבים מתאים פוטו וולטאים שמיוצרים בדרך כלל מסיליקון אשר הופכת את קרני השמש באופן ישיר לחשמל.

בין החסמים המונעים את הרחבת ההתקנות של מערכות פוטו-וולטאיות על גבי גגות מבני מגורים ניתן למנות סיבות רבות: הגגות אינם מסודרים בצורה מיטבית, ומותירים שטח פנוי דחוק, תכנון שמרני ועיצוב מבנים שאינו מעודד שימוש בגג לצורכי ייצור אנרגיה, שינויים במחירי החשמל המשפיעים על רמת הכדאיות של המיזם, חששות דיירים וחוסר בפתרונות זולים לאגירת חשמל. לצד חסמים אלה, שני חסמים משמעותיים ביותר שהממשלה יכולה להתערב בהם ביתר שאת הם בעיות אסדרה (רגולציה) וסוגיות של ריבוי בעלים על הגג.

- **חסמי אסדרה** – הסדר 'מונה נטו' בניסוחו כיום מאפשר הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים לצריכה עצמית בלבד. כלומר, לא ניתן לקזז את התקבולים של המערכת הסולארית מחשבון חשמל שאינו של מונה החשמל שהמערכת מחוברת אליו. מגבלה זו מונעת אפשרות לחלק את התקבולים בין דיירי הבית המשותף, ומאפשרת שימוש בתקבולים רק לטובת שימושים משותפים במסגרת ועד הבית או פתרונות עקיפים אחרים.
- **ריבוי בעלים** – בבתים משותפים גג המבנה הוא בבעלות משותפת של כלל הדיירים. לפיכך, כדי לקדם הקמה של מערכת פוטו-וולטאית משותפת על הגג נדרשים הסכמה ושיתוף פעולה של כלל הדיירים בבניין. עניין זה עשוי להוביל לבעיות של "דייר סחטן", וקושי בתיאום ובארגון של כלל הדיירים למטרה משותפת.

לאחר מיפוי החסמים והצרכים מופו חמישה מודלים שונים להקמה של מתקנים פוטו-וולטאיים על גבי מבני מגורים משותפים. כל מודל מאופיין בגורם שונה שיוזם את התקנת המערכת, במידת ההתאמה לקיומו במסגרת האסדרה הקיימת כיום, וכן ביתרונותיו ובחסרונותיו ביחס לשאר המודלים, כפי שמוצג בטבלה א'.

טבלה א' – מודלים תפעוליים להקמת מערכת פוטו-וולטאית על מבני מגורים משותפים				
המודל	הסבר על המודל	האם מתאפשר לאור האסדרה הקיימת	יתרונות המודל	חסרונות המודל
מודל הדיור הציבורי	הקמת מערכות על נכסי הדיור הציבורי. הניהול יבוצע על ידי החברות המשכנות, וההכנסות מהמערכת ישמשו לאחזקה ולטיפוח הבניין.	מתאפשר	ניסיון ויכולת גבוהה בניהול נכסים. כל התועלת מהמערכת מופנית למטרות ציבוריות.	בעיית התרחבות (scalability) לנוכח גובה צריכת החשמל של החברות המשכנות.
מודל הרשות המקומית	הקמת המערכות על מבנים משותפים בעיר. הניהול יבוצע על ידי הרשות, וההכנסות ישמשו לטיפוח ולאחזקת המבנים.	מתאפשר	ניהול על ידי גוף בעל מכוניות ציבוריות. כל התועלת מהמערכת מופנית למטרות ציבוריות.	עשוי להעניק הטבה ממשלתית לאוכלוסיות חזקות – מרחיב אי-שוויון. אין לרשויות ניסיון בניהול נכסי מגורים.

טבלה א' – מודלים תפעוליים להקמת מערכת פוטו-וולטאית על מבני מגורים משותפים - המשך				
המודל	הסבר על המודל	האם מתאפשר לאור האסדרה הקיימת	יתרונות המודל	חסרונות המודל
מודל ועד הבית	המערכת תוקם על ידי הדיירים באמצעות ועד הבית. ההכנסות ישמשו את הבניין כמקור הכנסה לצרכים המשותפים (חשמל משותף, ניקיון, גינון ואחזקה שוטפת)	ככל הנראה מתאפשר	פשטות – אין צורך בגורמים נוספים פרט לוועד הבית.	אין תקדים לכך שהאסדרה מאפשרת. תעריף נמוך יותר הפוגע בכלכליות המיזם.
מודל השותפות/קואופרטיב	דיירי הבית יתאגדו כשותפים בתאגיד לייצור חשמל. התאגיד יגבה תשלום מהדיירים וישלם את חשבונות החשמל הפרטיים.	ככל הנראה מתאפשר	תמריץ חזק לדיירים – הפחתת עלויות בחשבונות פרטיים.	סרבול בירוקרטי. מחייב ניהול פעיל של הדיירים.
מודל הכלכלה השיתופית	יצירת שוק חופשי להכנסות ממערכות סולאריות שדיירים במבנים ללא גישה לגג יוכלו לקנות באופן ישיר מדיירים בבניין אחר שמתקנת בו מערכת סולארית.	לא מתאפשר	מייצר "שוק לגגות", ומייעל את תהליך הקצאת המשאבים.	מחייב אסדרה מתאימה. מצריך פיתוח טכנולוגיות תומכות.

מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

לאור התועלת החיצונית הגלומה בייצור חשמל מבוזר ומקומי, לממשלה יש אינטרס מובהק לקדם התקנה של מערכות פוטו-וולטאיות במבני מגורים. כמו כן, ברשותה כלים אפקטיביים לעשות זאת – הן בדמות תמריצים כלכליים ואסדרה מתאימה הן על ידי יצירת מיזמים והגדלת ביקושים כגורם מרכזי במשק. המלצות המחקר מצביעות על התערבויות אפקטיביות לקידום התחום על ידי הממשלה בטווח הקצר ובטווח הבינוני-ארוך:

בטווח הקצר

- **שינויי אסדרה** – תיקון הסדר 'מונה נטו' כך שיתאפשר רישום של קיזוז החשמל מול גורם שונה מהגורם שמונה החשמל של המערכת הפוטו-וולטאית רשום עליו. אפשרות זו תאפשר ביתר קלות חלוקת תקבולים

לדיירי הבניין המשותף, וכן תיצור שוק ל'מונה נטו' וירטואלי המנגיש את אפשרות קיזוז החשמל לצרכנים על ידי מסחר בתקבולי מערכות פוטו-וולטאיות.

- **קידום מיזמים בנכסי המדינה ביוזמת הממשלה** – לנכסי נדל"ן רבים בבעלותה או בניהולה של המדינה פוטנציאל גדול לקידום מחקר חלוץ להתקנה של מערכות פוטו-וולטאיות. מיזמים על גגות נכסי הדיור הציבורי, מעונות סטודנטים ודיור מוגן ישמשו הוכחת היתכנות לשוק, ויסירו חששות וחוסר ודאות השוררים כיום בשוק.

בטוח הבינוני-ארוך

- **הטבות מס** – התועלת החיצונית החיובית מהקמת מערכת פוטו-וולטאית בסביבה הבנויה, כגון חיסכון עלויות הולכה ויתירות, אינן מגולמות כיום בעלות הייצור. לפיכך, מוצדק לסבסד מתקנים המוקמים על גבי גגות מבנים בהטבת מס שתגלם את התועלת הזו. מתן הטבת מס יגדיל את הכדאיות הכלכלית של מיזמים אלה ויגדיל את מספר הבתים המשותפים שיפעלו להקמת מערכות פוטו-וולטאיות.
- **הקמת קרן מחזורית** – כלי אפקטיבי שבמסגרתו הממשלה תבצע הוצאה תקציבית חד-פעמית עבור קרן לקידום הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים על גבי גגות באמצעות הלוואות או באמצעות הקמה של מתקנים בבעלות הממשלה. התקבולים של הקרן יופנו מדי שנה למתן הלוואות ליזמים לטובת הקמת מתקנים חדשים, או שיופנו לטובת התקנת מתקן ראשוני בבעלות הממשלה, שהתקבולים ממנו יופנו לטובת התקנה של מתקנים נוספים, ובכך ילך ויגדל ההספק המותקן של המתקנים שברשות הממשלה. את המתקן הראשון והמתקנים שיתווספו ניתן להקים על גבי נכסים של גורם ציבורי גדול, כמו רשות מקומית, חברות הדיור הציבורי או סוכנות ממשלתית, שברשותו נכסים פיזיים רבים. כמו כן, ניתן לשלב קרן מחזורית להלוואות יחד עם העמדת ערבויות מדינה, שימנפו כסף פרטי או פילנתרופי נוסף, ויגדילו את היקף ההשפעה של הקרן.
- **הסברה** – לנוכח הצורך בהסכמת הדיירים, בהסרת חששות ובהגדלת הביקוש "מהשטח", דרושה פעילות הסברה שתעניק לציבור מידע על אודות היתרונות שבהתקנת מערכת פוטו-וולטאית במבני מגורים משותפים ועל אודות אופני הביצוע של מיזם שכזה.

מבוא

מדינת ישראל התחייבה בפני האומות המאוחדות בוועידת פריז שהתקיימה בספטמבר 2015, שתגיע ליעד ייצור מאנרגיות מתחדשות בגובה 17% מסך האנרגיה המיוצרת בישראל עד שנת 2030. כיום עומד הייצור מאנרגיות מתחדשות על כ-2.5% בלבד מסך האנרגיה המיוצרת בישראל. על פי האסטרטגיה שנבנתה כדי להשיג יעד זה, רוב האנרגיה המתחדשת תיוצר בטכנולוגיה פוטו-וולטאית (המשרד להגנת הסביבה, 2015א).

כיום מיוצר רוב רובה של האנרגיה הפוטו-וולטאית בשדות קרקעיים. הדבר נובע, בין היתר, מהיתרונות לגודל של מתקנים אלה על פני מתקנים המותקנים על גגות, וזאת על אף היתרונות הגלומים בייצור מבוזר במערכות קטנות, כגון יתירות וחיסכון בעלויות הולכה וחלוקה. זאת ועוד, רוב המתקנים על גבי גגות מותקנים על גגות גדולים של מבני ציבור ומסחר. כמעט ואין מתקנים על גבי גגות מבני מגורים, אף על פי שרוב המבנים בישראל הם מבני מגורים, ושטח הגג שלהם מאפשר התקנה פוטנציאלית של מערכות פוטו-וולטאיות בהיקף של עשרות אלפי מגה-ואט.

היות שכך, יש לבחון את האופנים המתאימים להרחבת הייצור של אנרגיה סולארית (אנרגיית שמש) על גבי מבני גגות מגורים, במסגרת סביבת האסדרה (רגולציה) הקיימת כיום בישראל. האגוז הקשה ביותר לפיצוח הוא מבני מגורים בבנייה רוויה, קרי מבנים שמאכלסים מספר משקי בית, ושהגג הוא רכוש משותף לכולם. מחקר זה יתמקד בניתוח האפשרויות הקיימות לקידום נושא זה, תוך התמקדות במבני מגורים בערי הפריפריה. זאת לאור האפשרות למנף את ייצור האנרגיה גם בהיבטים של צמיחה כלכלית מקומית, וכן לנוכח אופי הבנייה בפריפריה, המאופיין בריבוי מבני שיכונים, שמתאימים להתקנת מערכות סולאריות יותר מאשר מבני מגדלים.

המחקר בוחן חמישה מודלים תפעוליים שונים לייצור אנרגיה במבני מגורים משותפים – הראשון, ועד הבית כיוזם המיזם, תוך מכירת עודפי החשמל; השני, שימוש ברשות המקומית כיוזם להקמה של מיזמים במבני מגורים בשטחה; השלישי, הקמת מתקנים על גגות נכסי הדיור הציבורי שבבעלות המדינה; הרביעי, מודל כלכלה שיתופית שבמסגרתו דיירים יוכלו לייצר אנרגיה על גבי גגות של דיירים בבניינים אחרים; החמישי, יצירת ישות משפטית חדשנית של שותפות/קואופרטיב שתאגד את דיירי הבניין לשם ייצור משותף של חשמל. היתרונות והחסרונות המרכזיים של כל אחד מהמודלים יוצגו ביחס למודלים האחרים, וכן גם ההיתכנות הביצועית שלהם בסביבת האסדרה הקיימת כיום בישראל.

בבואה לעודד מיזמים סולאריים על גבי גגות מבני מגורים יכולה הממשלה להשתתף במימון המיזמים בדרכים שונות, וזאת לאור התועלת הציבורית הכרוכה בייצור מקומי ומבוזר. אפשרויות המימון מגוונות, ובהן האפשרות לשותפות במימון המיזם עם משקיעים פרטיים בתמהיל המערב הון, חוב ומענק; מתן ערבויות מדינה להורדת הסיכון ליזמים פרטיים; הקמת קרן מחזורית שתשמש מנגנון להרחבת התקנת המערכות; תמריצי מיסוי שונים המעודדים את השוק הפרטי להתקין מערכות אנרגיה מתחדשת על גבי גגות. חלק מהאפשרויות הללו מתאים גם למיזמים על גבי קרקע, וחלק מהן מתאים באופן מיוחד למיזמים על גבי גגות.

להקמת מתקנים סולאריים על גגות מבנים חסמים שונים וייחודיים. בין היתר ניתן למנות חסמים הקשורים לתחרות על שטח הגג, חסמי לקונה באסדרה מאפשרת, חסמי תכנון ועיצוב של המרחב הבנוי, ריבוי בעלים של הגג במבנים משותפים, חוסר ודאות לגבי ההכנסות מייצור סולארי בעתיד והיעדר פתרונות אגירה זולים. במחקר מפורטים החסמים המרכזיים הללו, ומוצעים פתרונות בטווח הזמן הקצר והארוך.

רקע – אנרגיה סולארית

הטכנולוגיה – מהי אנרגיה סולארית?

אנרגיה סולארית (אנרגיית שמש) היא שם כולל לתחום העוסק באנרגיה שמקורה בקרינת השמש. הטכנולוגיות לאנרגיה סולארית רבות ומגוונות, והודות לפיתוחים בתחום ממשיכים לייצר מתקנים משוכללים יותר, בעלויות שהולכות ופוחתות. באופן גס ניתן לחלק את הטכנולוגיות להפקת אנרגיה סולארית לשני סוגים – אנרגיה תרמו-סולארית ואנרגיה פוטו-וולטאית. שתי הטכנולוגיות הן שיטות להפקת אנרגיה מהשמש, אולם אנרגיה פוטו-וולטאית הופכת את קרני השמש באופן ישיר לחשמל, בעוד שאנרגיה תרמו-סולארית משתמשת בקרני השמש ליצירת אנרגיית חום (לרוב לחימום נוזל) והחום מאפשר יצירת קיטור המשמש ליצירת חשמל. במחקר זה האנרגיה התרמו-סולארית אינה נידונה כלל.

אנרגיה פוטו-וולטאית

מערכת פוטו-וולטאית היא אוסף של פאנלים² המורכבים מתאים פוטו-וולטאיים שמיצרים בדרך כלל מסיליקון. הסיליקון מצוי בשפע, אינו מתכלה, וכרייתו אינה מזיקה במיוחד לסביבה. הסיליקון הוא חומר מוליך למחצה, ואיכות ההולכה מושפעת מרמת הקרינה שמגיעה אליו ומטמפרטורת הסביבה. לרוב, הפאנל הסולארי מכיל חיבור טורי של תאים פוטו-וולטאיים הממוסגרים באלומיניום ומכוסים בזכוכית שקופה.

השמש מספקת כ-1,000 ואט למ"ר. נהוג להעריך כי רמת הנצילות של מערכות פוטו-וולטאיות היא של 15%–10%, קרי כל 1 מ"ר מספק כ-100–150 ואט. ככלל, כדי לספק 1 קילו-ואט (קו"ט) יש צורך ב-15–10 מ"ר. למערכת כזו הספק של 1 'קו"ט מותקן'. קו"ט מותקן מייצג את ההספק החשמלי של המערכת בתנאים אי־אליים של אור ישיר. בשעות הלילה, בחורף ובעת עננות או אובך יורד ההספק, ולכן יש למדוד את הצריכה לפי שעות השמש הישירה ביום ממוצע, ולחשב את ההספק הממוצע השנתי שמביא בחשבון הבדלים במצבי מזג האוויר ובשעות האור (שלאין, נאור ודרסלר, 2010). בישראל, הנחשבת למדינה עשירה בקרינת שמש, ייצור החשמל מהספק של 1 קו"ט מותקן נע בין 1,600 ל-1,800 קילוואט לשעה (קוט"ש) בשנה (Bloomberg, 2012).

נהוג לחלק את המתקנים הפוטו-וולטאיים לשלוש קטגוריות, בהתאם לגודל המערכת: מתקנים פוטו-וולטאיים קטנים הם מתקנים שהספקם עד 50 קו"ט המחוברים לרשת במתח נמוך; מתקנים פוטו-וולטאיים בינוניים הם מתקנים שהספקם בין 50 קו"ט ל-12 מגה-ואט מותקן המחוברים לרשת מתח נמוך או לרשת מתח גבוה; מתקנים פוטו-וולטאיים גדולים הם מתקנים שהספקם מעל 12 מגה-ואט והם מחוברים לרשת מתח עליון (רשת ההולכה).

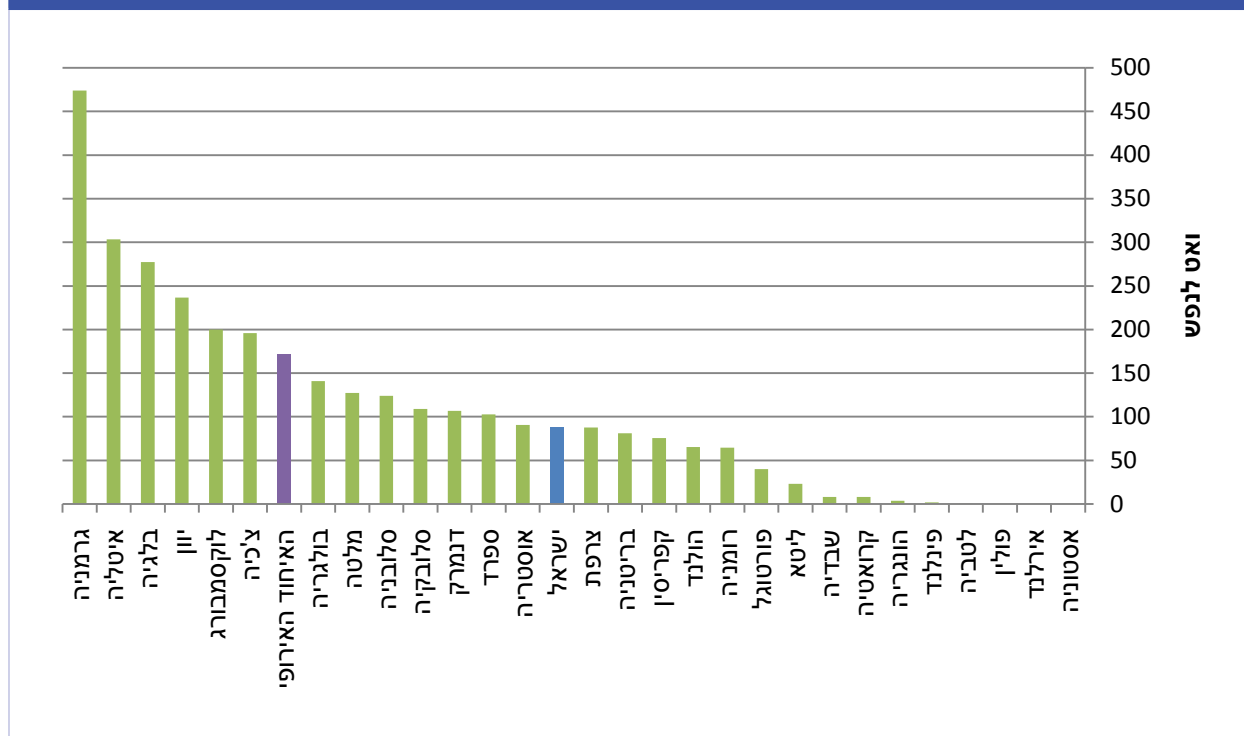
הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים יכולה להתבצע באחת משלוש דרכים מקובלות. הדרך המקובלת ביותר בישראל היא יצירת שדות קרקעיים של פאנלים. הקולטים מונחים באופן ישיר על הקרקע (על גבי קונסטרוקציה מתאימה) ומכסים שטחים נרחבים. השיטה השנייה היא הצבת הלוחות על גבי גגות מבנים, לרבות מבני מגורים, מבני משק, מבנים חקלאיים ומבני תעשייה. מתקנים אלה נחשבים קטנים, ומקצתם נחשבים בינוניים. הדרך השלישית, שנפוצה פחות בישראל, היא הצבה של "טרקרים" שהם עמודים שבנוי עליהם משטח שנושא לוחות פוטו-וולטאיים. בשיטה זו המתקן מסתובב לכיוון השמש באמצעות מערכת עקיבה כדי להגביר את תפוקתו.

² מכונים גם "מודולים".

מבט גלובלי

אנרגיה פוטו-וולטאית צוברת תאוצה בעולם בשנים האחרונות, ונעשית מקור ייצור אנרגיה מרכזי בקרב המקורות לייצור אנרגיות מתחדשות. בסוף שנת 2014 יוצרו כמעט 180 ג'יגה-ואט מותקן של הספק פוטו-וולטאי, והמדינות המובילות בהתקנת אנרגיה פוטו-וולטאית הן סין, יפן, ארה"ב, גרמניה ואיטליה (IEA, 2015). כפי שניתן לראות בגרף 1, היקף ההתקנות בישראל נמוך ביחס למדינות מפותחות, וכן בהשוואה למדינות האיחוד האירופי (EurObserv'ER, 2015).

גרף 1: הספק מותקן לנפש במדינות האיחוד האירופי ובישראל

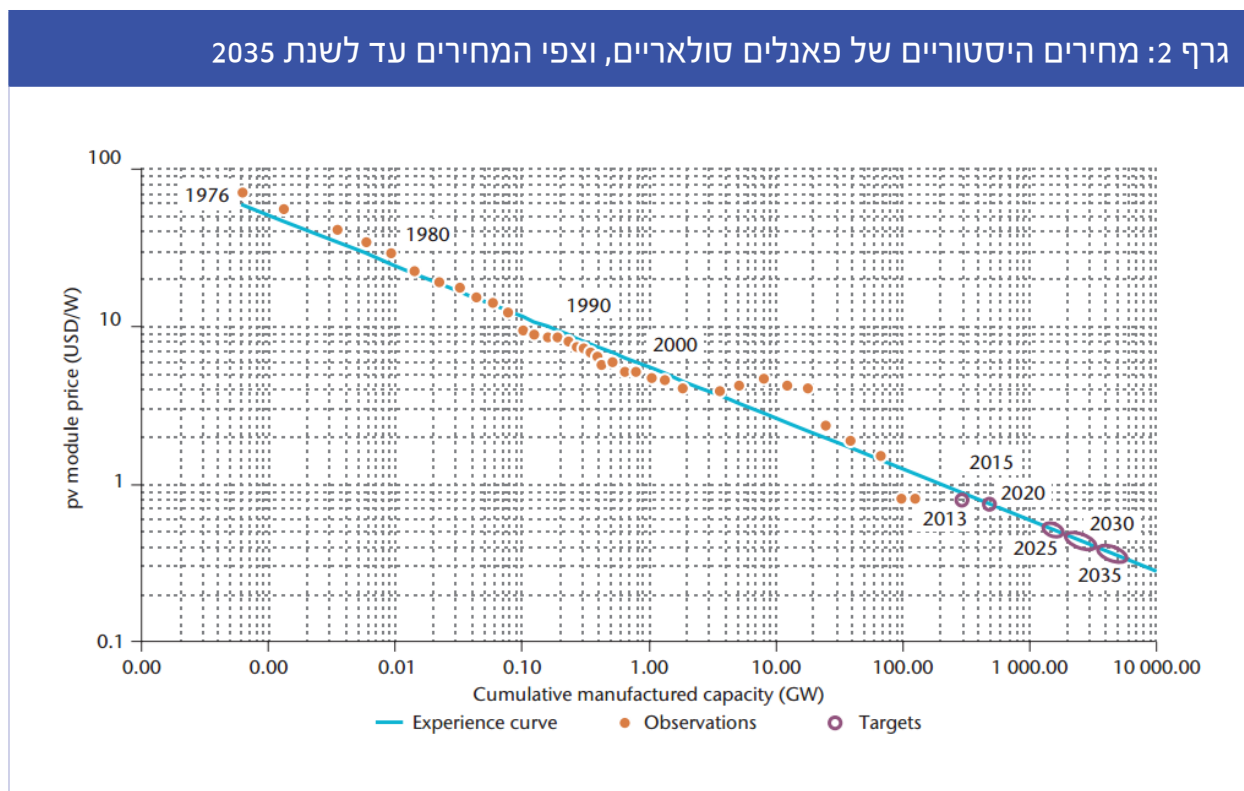


נתונים: EurObserv'ER, 2015.
מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

סוכנות האנרגיה הבינ-לאומית (ה-IEA) מעריכה כי הגידול בקצב ההתקנה של מערכות פוטו-וולטאיות ימשיך לעלות בעשורים הקרובים, הן לאור העלייה המתמשכת בביקוש לחשמל והן לאור ההתחזקות של אנרגיות מתחדשות, ובפרט האנרגיה הסולארית, על פני אנרגיה מדלקי מחצבים (fossil fuels). כמו כן, רוב הגידול בהתקנת המערכות צפוי להגיע ממדינות עולם שלישי ומשווקים מתעוררים, ובראשם סין והודו (IEA, 2015).

מחירי הפאנלים הסולאריים נמצאים במגמת ירידה מאז שהחל שיווק מסחרי של הפאנלים, ובין שנת 2008 לשנת 2012 הם ירדו בכ-80%. כיום ירד מדד מחירי הפאנלים הרבה מתחת ל-1 דולר לוואט, והוא צפוי להמשיך לרדת בשנים הקרובות (IEA, 2014, ראו גרף 2). הירידה במחיר נובעת, בין היתר, משיפורים טכנולוגיים ומכניסה של יצרנים רבים לתחום שיוצרת תחרות. מחירי הפאנלים הנמוכים הובילו לכדאיות כלכלית גבוהה לייצור חשמל באמצעות טכנולוגיה פוטו-וולטאית, ובפרט ביחס למחירי טכנולוגיות מתחרות.

גרף 2: מחירים היסטוריים של פאנלים סולאריים, וצפי המחירים עד לשנת 2035



מקור: IEA, 2014.

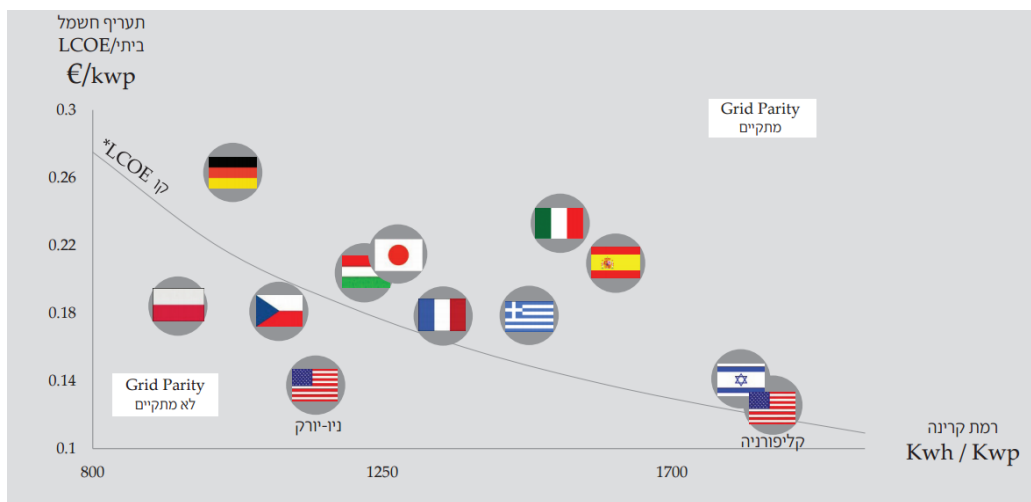
לאור ירידת המחירים והופעתם של שיפורים טכנולוגיים, ייצור אנרגיה ממקורות ידידותיים לסביבה נעשה יעד השקעה רווח בקרב משקיעים. הפורום הכלכלי העולמי (World Economic Forum, 2010) מעריך כי מבין ההשקעות באנרגיות מתחדשות עד שנת 2030, ההשקעות באנרגיה סולארית יהיו הנתח המשמעותי ביותר – כשני שלישים מסך ההשקעות הירוקות.

תועלת כלכלית מאנרגיה סולארית

תועלת לפרט

לאור הכדאיות הכלכלית ההולכת וגוברת של מיזמים סולאריים, יותר ויותר יזמים מוצאים ענף זה כיעד השקעה אטרקטיבי, ומשקיעים רבים מכניסים השקעות בתחום הסולארי לתמהיל תיק ההשקעות שלהם. בסביבת ריבית נמוכה, מיזמים סולאריים מציגים זמני החזר קצרים באופן יחסי, ושיעור תשואה פנימית (IRR) גבוה. בישראל הלך והצטמצם גובה הסבסוד של אנרגיה פוטו-וולטאית לאורך השנים, עד למצב שבשנת 2016 הופסק הסבסוד כליל, וזאת לאור הירידה התלולה במחיר הייצור מאנרגיה סולארית, שייתרה את הצורך בסובסידיה. מצב זה, שייצור חשמל באמצעות טכנולוגיה סולארית זול יותר מאשר טכנולוגיות קונבנציונליות נקרא "Grid Parity", והיווצרותו תלויה בעלויות הייצור וברמת הקרינה במדינה. בישראל, כמו במדינות רבות נוספות, נראה כי גבול ה-Grid Parity נחצה. כך, בשנים האחרונות העלות המשוקללת לייצור חשמל באמצעות מערכות פוטו-וולטאיות הולכת ונעשית נמוכה יותר מתעריף החשמל הביתי בישראל, והדבר ממצב את ישראל על גבול ה-Grid Parity (ראו גרף 3).

גרף 3: עלות ייצור חשמל באנרגיה פוטו-וולטאית לעומת תעריף החשמל המקומי במדינות נבחרות



עלות הייצור המשוקללת לקוט"ש בטכנולוגיה פוטו-וולטאית מסומנת בקו ה-LCOE (Levelized Cost of Electricity) שהולכת ויורדת ככל שרמת הקרינה עולה. דגלי המדינות ממוקמים לפי תעריף החשמל הביתי בכל מדינה. כאשר הדגל נמצא מעל הקו, במדינה זו זול יותר לייצר חשמל באמצעות טכנולוגיה פוטו-וולטאית לעומת הטכנולוגיות הקונבנציונליות במדינה. מקור: TASC, 2014.

באופן טבעי תלויה מידת הרווחיות של מיזם המבוסס על ייצור חשמל סולארי בפרמטרים רבים, ובהם: מחיר ההון, מבנה ההון, מחירי ההתקנה, עלויות האחזקה והביטוח, שיעור האינפלציה, השינוי במחירי החשמל, אורך חיי המערכת, קצב ירידת הנצילות, המיסוי, היקף המיזם ועוד. לכן, אף על פי שמדובר במיזמים דומים יחסית, טווח הרווחיות והתשואה המובטחת במיזם סולארי משתנה מאוד בין מיזם למיזם, ובפרט במיזמים במדינות שונות. היבט נוסף ראוי לציון המשפיע על רווחיות המיזם הוא גודל המתקן הסולארי. ככל שבונים שדות גדולים יותר, כך התשואה הכלכלית על המיזם גדלה, וזאת לאור היתרון לגודל בתחזוקה ובהקמה של הפאנלים. לצד זאת, לפי הערכות מומחים ניתן לומר כי היתרון לגודל נחלש באופן ניכר החל בגודל מסוים (סביב 1 מגה-ואט מותקן). כלומר, מחיר ההתקנה והתחזוקה למגה-ואט מותקן של שדה בן כמה מגה-ואטים בודדים לעומת שדה של מאות מגה-ואטים, הוא זניח. עם זאת, בכל הנוגע למתקנים קטנים, ובפרט מתקנים הקטנים מ-50 קילו-ואט, אין ספק שהם סובלים מחיסרון לקוטן ומעלות התקנה ותחזוקה גבוהה יותר לקילו-ואט מותקן – ולפיכך גם מרווחיות נמוכה יותר.³

³ הבדלי הרווחיות בין מתקנים קטנים לגדולים כאמור משתנים כתלות בפרמטרים רבים נוספים, אולם גם מתקנים קטנים משיגים תשואה שגבוהה מתשואת השוק באופן מובהק.

תועלת למשק

דו"ח ועדת קנדל (המועצה הלאומית לכלכלה, 2013) בחן את התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות, ומצא כי סך התועלת למשק נאמדת בכ-46.2 אג' עבור כל קוט"ש המיוצר בטכנולוגיה פוטו-וולטאית. תועלת זו מורכבת מהחיסכון למשק בדלקים ובעלויות משתנות, מחיסכון בהון למשק החשמל, מ"ביטחון אנרגטי" בהינתן יכולת ההספק, וכן מצמצום זיהום האוויר. עוד נאמד בדו"ח, כי ייצור חשמל בטכנולוגיה פוטו-וולטאית כשהמתקן סמוך לנקודות הצריכה, ובפרט על גבי גגות, חוסך עלויות הולכה ואבדן חשמל בכ-3.5 אג' נוספות. נוסף על כך, להערכת הוועדה, שילוב של יכולת אגירה מקומית המאפשרת מיצוי מלא של פוטנציאל האנרגיה הסולארית, וניהול מושכל של היצע ביחס לביקוש, יעלה את סך התועלת למשק ל-68.6 אג' עבור כל קוט"ש המיוצר באופן זה.

מעבר לתועלת הישירה למשק, במתקן פוטו-וולטאי טמונה תועלת נוספת, הנובעת מפיתוח אזורי. אנרגיה סולארית היא תחליף לייצור קונבנציונלי של אנרגיה מדלקי מחצבים, שרובם מיובאים ואינם תורמים לפיריון בשוק המקומי. לעומת זאת, לטובת הקמה ותחזוקה של מתקנים סולאריים נדרשות טכנולוגיות ועבודות מקומיות. הם מובילים להקטנת האבטלה, להגדלת הפיריון ולהגדלת שיעור ההשתתפות בכוח העבודה, ובפרט כאשר המתקנים מוקמים באזורי הפריפריה. לאור זאת, ועדת קנדל העריכה כי שדה סולארי בינוני של 12 מגה-ואט מעניק תועלת כלכלית אזורית של כ-15.5 מיליון ש"ח לאורך חיי המיזם (כ-20 שנה). דוגמאות בולטות ליצירת מקומות עבודה על ידי פיתוח של שוק האנרגיה הפוטו-וולטאית ניתן למצוא בפינ, שם כ-126,000 איש עובדים בתעשייה הפוטו-וולטאית, שמהווה כ-0.55% מהתמ"ג. כמו כן, בארה"ב – מעל 170,000 משרות מקורן באנרגיה פוטו-וולטאית (IEA, 2015).

אנרגיות מתחדשות ואוכלוסיות מוחלשות

להתקנה של מתקנים סולאריים על גבי מבני מגורים בפריפריה החברתית יתרונות נוספים וייחודיים. בראש ובראשונה, ייצור אנרגיה הופך נכס מקרקעין לנכס מניב, שיוצר הכנסה קבועה ונוספת לפרט. הכנסה זו יכולה לבוא לידי ביטוי בכמה דרכים, כתלות באופן יישום המיזם הסולארי. מתקן בבעלות הדיירים מפחית את הוצאות הפרט על צריכת אנרגיה. הירידה בהוצאות החשמל מגדילה את ההכנסה הפנויה של הפרט לטובת צרכים אחרים. באופן דומה, אם הפרט מקבל את התועלת מייצור החשמל בדרך שאינה חשבון החשמל, למשל על ידי שימוש של ועד הבית בהכנסות לטובת אחזקת הגינה והשטחים המשותפים, הדבר מתבטא בהורדת תשלומי ועד בית לדייר. כך או אחרת, מדובר בהגדלת ההכנסה הפנויה של הפרט שמובילה לאיתנות פיננסית גבוהה יותר בקרב האוכלוסיות המוחלשות, ומאפשרת להן הוצאה גדולה יותר לטובת מזון, בריאות ודיוור. מודל זה נפוץ ביותר בארה"ב ומשולבים בו דיור בר-השגה ובנייה ירוקה בדיוק לאור יתרונות אלה (כרמון, 2015). ההשפעה על צמצום הוצאות החשמל בקרב אוכלוסיות מוחלשות משמעותית יותר לנוכח העובדה ששיעור ההוצאה היחסי של העשירונים הנמוכים על אנרגיה גבוה יותר מזה של העשירונים הגבוהים (הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2012).

נוסף על כך, כפי שצוין, ייצור אנרגיה מתחדשת מספק מקומות עבודה מקומיים. רוב העבודות הכרוכות בהתקנה של מתקנים סולאריים הן עבודות של עבודה מסורתית וטכנולוגיה פשוטה (Low-Tech) כגון התקנות, אחזקה, עבודות בנייה, מכירות, שיווק וכדומה. לכן, במקומות שסובלים ממחסור בעבודות לאוכלוסייה ברמת השכלה נמוכה, אנרגיה סולארית היא תעשייה מתאימה, שיכולה להקטין את האבטלה ולהגדיל את הפיריון.

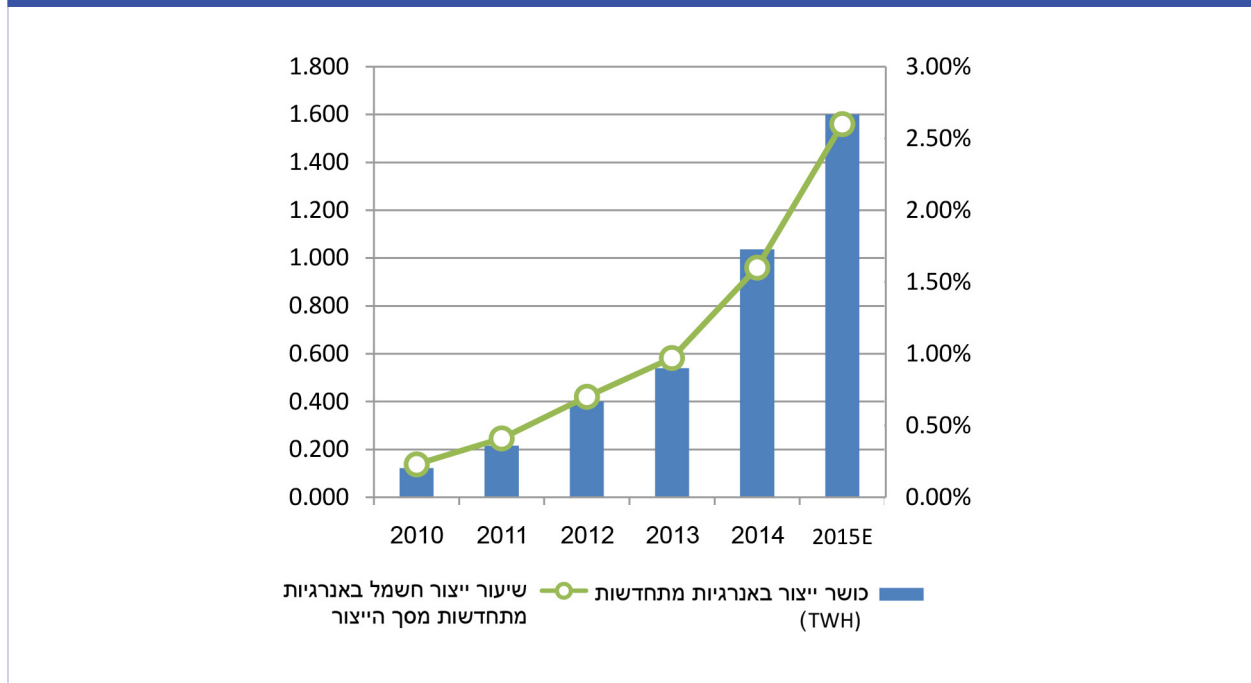
לבסוף, מערכת סולארית משביחה את הנכס שהיא משתייכת אליו. המערכת עצמה, וכן זרם התקבולים שהיא מייצרת, מעלים את ערך הנכס. לפיכך, ככל שייצור אנרגיה על גגות מבנים יוטה לפריפריה, הרי שהדבר גם יקטין את האי-שוויון בנכסים, וייתן הזדמנות טובה יותר לאוכלוסיות מוחלשות שבבעלותן נכס כזה.⁴

אנרגיה סולארית בישראל

מדינת ישראל התחייבה בוועידת האקלים של האו"ם בפריז ליעד לאומי של הפחתת פליטות גזי חממה. לפי יעד זה, בהתבסס על תרחיש עסקים כרגיל, תפחית ישראל את הפליטות לנפש מ-10.2 טונות CO₂ לנפש ל-7.7 טונות CO₂ לנפש עד שנת 2030. ליעד זה נגזרו שלושה יעדי ביניים: התייעלות של 17% בתחום האנרגיה, צמצום הנסועה הפרטית ב-20%, וייצור 17% מצריכת החשמל מאנרגיות מתחדשות עד שנת 2030. ב-20 בספטמבר 2015 התקבלה החלטת ממשלה 542, המעגנת את היעדים הללו כמחייבים.

סך ייצור האנרגיה בישראל בשנת 2011 עמד על כ-59.9 טרה-ואט לשעה (TWH) (חברת החשמל, 2011). אנרגיות מתחדשות מספקות כ-2.5% מסך הביקוש לאנרגיה (שעומד בשנת 2015 על כ-60 TWH; ראו גרף 4). מעל 95% מהאנרגיות המתחדשות מבוססים על אנרגיה סולארית פוטו-וולטאית (משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים, 2016).

גרף 4: ייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת בישראל



מקור: מנהל החשמל, משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים, 2016.

היקף האנרגיה סולארית על גבי גגות בישראל ממתקנים מאושרים עמד בשנת 2015 על כ-20% מסך המתקנים המאושרים. כלומר, רוב האנרגיה הסולארית מותקנת על הקרקע. זאת בעוד שהמועצה הארצית לתכנון ובנייה החליטה

⁴ עם זאת, יש לציין כי עלייה של מחירי הדירות בפריפריה עשויה גם להקשות על האוכלוסייה המקומית שאין בבעלותה דירה.

לעודד באופן מרבי הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים על גבי גגות מבנים (המועצה הארצית לתכנון ובנייה, 2010). כדי לבנות שדות סולאריים קרקעיים נדרש שטח קרקע נרחב, ועל כן מבחינה סביבתית, עדיף להתקין מערכות סולאריות על גבי גגות, וכך למנוע פגיעה בשטחים הפתוחים. הדבר נכון בפרט בישראל, שהיא מדינה קטנה עם מחסור חריף בקרקע.

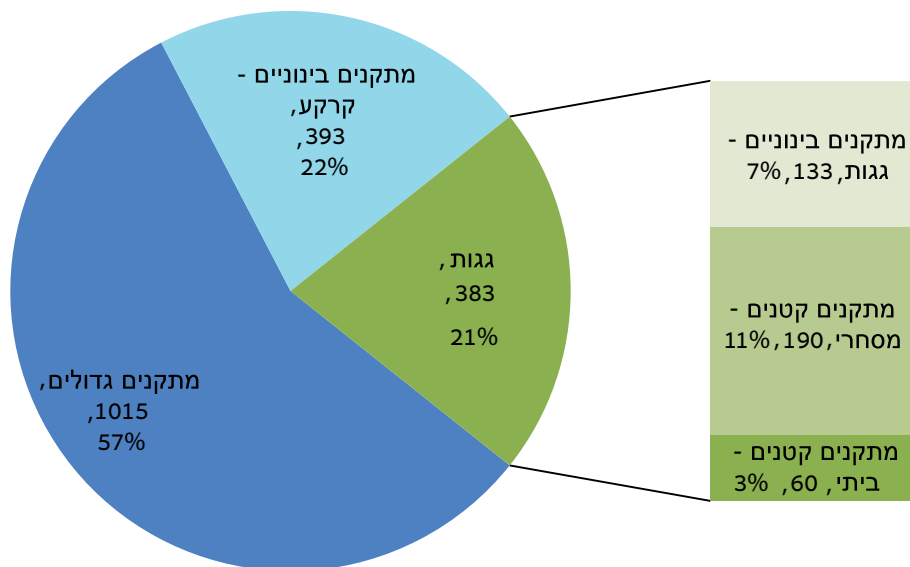
רוב המתקנים הפוטו-וולטאיים הותקנו במסגרת אסדרת תעריף הזנה ייעודי (feed-in-tariffs) בהליך מכרזי של רשות החשמל לפי גודל המתקן וסוג היצרן (ביתי או מסחרי) החל בשנת 2008. במסגרת הליך זה נקבע מראש התשלום בגין הייצור, וניתן באופן קבוע לאורך כל תקופת ההתקשרות (20 שנה). המכסות הראשונות בשנת 2008 הוצעו תשלום של 2.21 שקלים לקוט"ש, ומאז המחיר ירד עד לכדי 27 אגורות לקוט"ש, והפך את המכרזים למשתלמים פחות מבחינה כלכלית (בנק ישראל, 2015). בו-בזמן, רשות החשמל יצאה בהסדר 'מונה נטו' (Net-Metering), שקבע מנגנון קיזוז עבור צרכנים שמייצרים אנרגיה סולארית לצריכה עצמית. במסגרת ההסדר משמש החשמל המיוצר לצריכה עצמית, והעודף מוזרם לרשת, תוך שהצרכן יכול לצבור יתרת זכות (עד שנתיים). מאחר שמדובר במנגנון קיזוז, החיסכון הכספי לצרכן הוא בגובה העלות שלו לקוט"ש נצרך (בניכוי עמלות לחברת החשמל), שתלויה בתעריף של הצרכן הספציפי (תעריף תעו"ז או תעריף אחיד),⁵ וכן במחירי החשמל.

נכון למאי 2015, הותקנו או אושרו להתקנה עתידית כ-250 מגה-ואט במתקנים קטנים,⁶ 526 מגה-ואט במתקנים בינוניים, ו-1,015 מגה-ואט במתקנים גדולים (משרד הפנים, 2015). בסך הכול מדובר בכ-1,790 מגה-ואט מותקנים, שצפויים לייצר כ-3 TWH בשנה. ההספק המאושר להתקנה על גבי גגות מבני מגורים בישראל הוא כ-3% בלבד מסך ההספק המותקן (ראו תרשים 1). לשם השוואה, בשנת 2014, כשליש מסך ההספק המותקן בבריטניה הוא במערכות קטנות על גבי מבני מגורים (NPD, 2014). יש לציין כי ככל ששיעור הייצור במגזר הביתי גדול יותר, ניתן לומר כי משק החשמל שוויוני יותר. הסיבה לכך היא שסך ההכנסות בגין ייצור החשמל מתפזר בין מספר גדול של יצרנים. המשאב הטבעי (קרינת השמש) מנוצל על ידי הציבור כולו ולא רק על ידי גורמים גדולים במשק שגורפים את כל הרווח, וזו הצדקה נוספת לקידום ייצור בטכנולוגיה פוטו-וולטאית במתקנים ביתיים קטנים.

⁵ תעו"ז – תעריף לפי עומס המערכת וזמן. במסגרת התעריף מתומחרת צריכה בזמנים שיש בהם ביקוש גבוה יותר לחשמל במחיר גבוה יותר. בתעריף אחיד כל קוט"ש מתומחר במחיר זהה לכל אורך היממה.

⁶ בפועל, מספר זה גבוה יותר כיום, ועומד על כ-290 מגה-ואט (הרשות לשירותים ציבוריים חשמל, 2015).

תרשים 1: הספק מתקנים פוטו-וולטאיים שהותקנו או אושרו בישראל, לפי גודל מתקן ומיקום



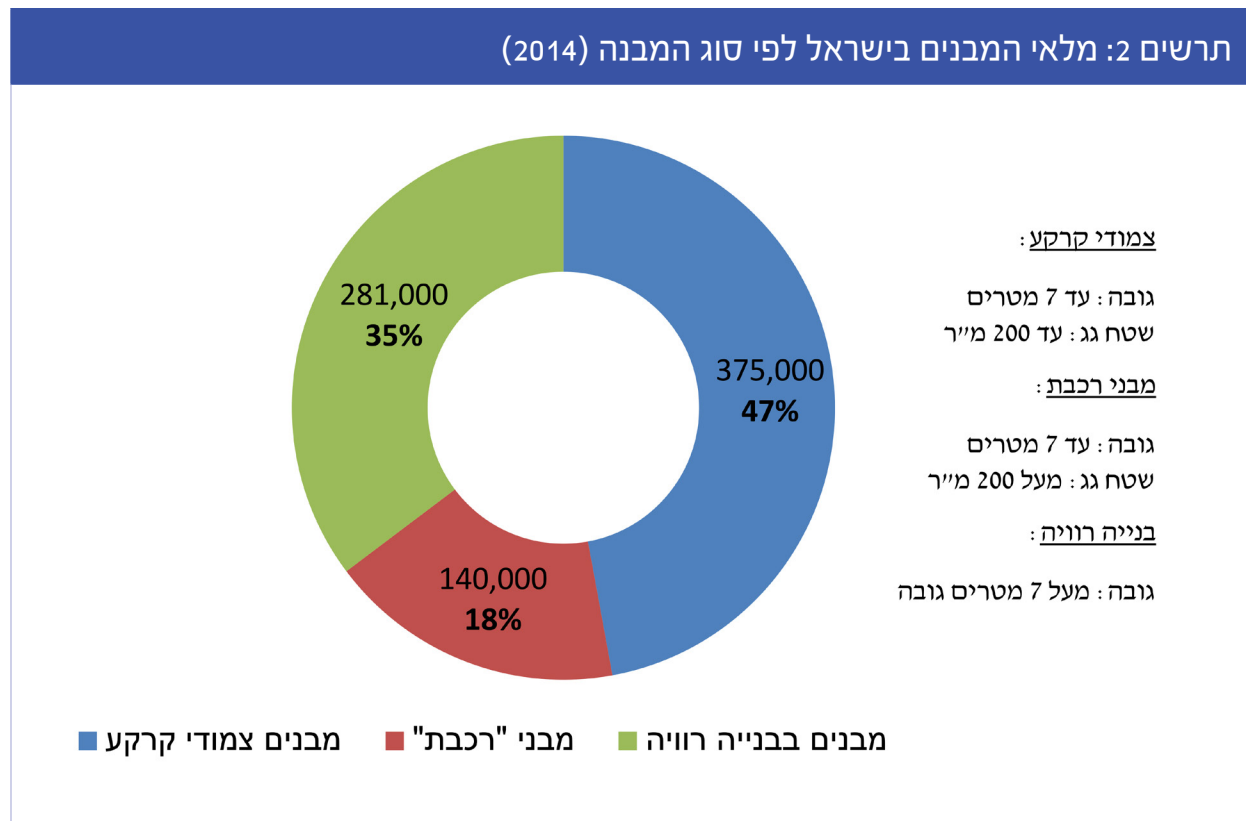
נתונים: משרד הפנים, 2015.
מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

בעוד שהיקף החדירה של האנרגיה הפוטו-וולטאית לשוק הישראלי נמוך, פוטנציאל השימוש בשמש כמקור אנרגיה חלופי גבוה בישראל ביחס לעולם. ישראל היא מדינה שיש בה קרינה ממוצעת⁷ גבוהה יחסית, והיא ממוקמת מעל הממוצע העולמי (IEA, 2011). התקנה של מערכות פוטו-וולטאיות על גבי גגות מבני מגורים בלבד בישראל, עשויה לאפשר ייצור של בין 3.3 ל-16 TWH בשנה, כלומר כ-32%–7% מסך צריכת החשמל של ישראל (Vardimon, 2010).⁸ בפרט, כ-20% ממבני המגורים בישראל הם מבני שיכונים משותפים (המשרד להגנת הסביבה, 2015; ראו תרשים 2), המתאימים יותר להתקנת מערכת ממגדלי מגורים לאור שטח הגג הפנוי לדירה. כלומר, ניתן לקבוע כי ישראל אינה מנצלת באופן מיטבי את היתרון היחסי שלה כמדינה בעלת קרינת שמש גבוהה, ואת השטח הפוטנציאלי הגדול של גגות פנויים, המאפשרים לנצל את הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית לייצור חשמל באופן נרחב.

⁷ רמת הקרינה הרלוונטית לטכנולוגיה פוטו-וולטאית נמדדת בקוט"ש לקו"ט מותקן לשנה (KWH/KW/Y), כלומר, מספר שעות השמש הישרה שיקרינו על המערכת במשך שנה בממוצע. מספר זה מביא בחשבון את מספר שעות האור ביממה, את מזג האוויר וגורמים נוספים. במילים אחרות, נתון זה מגדיר כמה קוט"ש מיוצרים על ידי מערכת בגודל 1 קו"ט מותקן במשך שנה. בישראל עומד נתון זה על כ-1,700.

⁸ יש לציין כי סביד שהפוטנציאל גדול אף יותר. מחקר זה בוצע על בסיס הנחות העדכניות לשנת 2010, ומאז השתפרה נצילות התאים הפוטו-וולטאיים.

תרשים 2: מלאי המבנים בישראל לפי סוג המבנה (2014)



מקור: המשרד להגנת הסביבה, 2015.

מודלים להצבת מתקנים סולאריים על מבני מגורים

בפרק זה יוצגו מודלים שונים להקמה של מערכות פוטו-וולטאיות על גבי גגות של מבני מגורים משותפים. כאמור, הבחירה להתמקד בהתקנות על גבי גגות, ולא על גבי הקרקע, נובעת מהרצון לקדם אנרגיות מתחדשות על גבי שטחים שאינם מנוצלים ושלא צפויים לשמש לשימושים אחרים גם בעתיד, וזאת כדי לשמור על השטחים הפתוחים ולעודד עירוב שימושים.

ההתמקדות דווקא במבני מגורים נובעת בראש ובראשונה מהעובדה שמבני מגורים הם "אגוז קשה לפיצוח", ולראיה – אין כמעט מערכות פוטו-וולטאיות המותקנות כיום על מבני מגורים משותפים בישראל. הסיבה השנייה להתמקדות במבני מגורים משלימה את הסיבה הראשונה: אף על פי שכיום כמעט ולא מתקיים ייצור אנרגיה במבני מגורים, הרי שחזון התפיסה של בנייה ירוקה למבנים בכלל ולמבני מגורים בפרט, מציינ מודל של מבנים "מאופסי אנרגיה" (Net-Zero Energy Buildings) שמסוגלים לייצר את כמות האנרגיה שהם צורכים. לפיכך, בניית מודלים המאפשרים כניסה של מערכות אלה למבני מגורים היא בבחינת זריעת הזרעים לעתיד הבנייה הירוקה בישראל.

זאת ועוד, הניתוח יתמקד רק במודלים שמבוססים על הסדר 'מונה נטו' ולא על הזנה תעריפית ממספר סיבות. ראשית, באופן טבעי, התקנה על גבי גגות מבני מגורים כלכלית פחות מאשר התקנה בגגות גדולים (כדוגמת מבני תעשייה ומבני

ציבור) או בשדות קרקעיים, שכן יש צורך בתשתית שונה – יותר ממירים וכבלים לקו"ט וכדומה. מאחר שמכסות ההזנה התעריפית מחולקות במכרז, הסבירות שמערכות בגגות מבני מגורים יזכו במכרזים נמוכה, גם אם יוגשו מספר גגות יחדיו כמיזם אחד. שנית, חוסר הוודאות התזרימית בהזנה תעריפית אמנם נמוך לאחר הזכייה במכרז, אולם התעריף במסגרת אסדרה זו תנודתי ביותר, ומתאפיין בחוסר יציבות גבוה. לעומת זאת, הסדר מונה נטו חושף את התזרים של הזם להשפעות של תנודתיות במחירי החשמל, אך נראה סביר כי מחיר החשמל לא ישתנה בצורה דרסטית במהלך אורך חיי המיזם. שלישית, מבחינה מהותית, נכון יותר לראות במבני מגורים צרכן אנרגיה שמתקזז על הייצור, ולא לראותו כמפעל לייצור חשמל או כתחנת כוח פרטית קטנה. הסדר מונה נטו למעשה מכוון לסוג כזה של יחס צריכה-ייצור, ועל כן מתאים יותר לגגות מבני מגורים, ויהלום את המטרות שלשמן נוצרה על ידי המאסדר.

מודל ועד הבית

במודל זה, הזים הוא ועד הבית (נציגות הבית המשותף). ועד הבית משמש ישות משפטית ייחודית שמאגדת את דיירי הבניין מכוח חוק המקרקעין לניהול ענייני הבית המשותף. לכן, לכאורה, בכל בניין משותף יש גוף שמטרתו לעסוק בשטחים המשותפים, לרבות הגג.⁹

במסגרת אחריותו, ועד הבית אחראי על תשלום חשבונות החשמל עבור הצריכה המשותפת – אור חדר המדרגות, מעליות, וכל צריכת חשמל שמשמשת את כלל הדיירים בבניין. לכן, בבניין מותקן מונה נפרד עבור הצריכה המשותפת.

ועד בית המעוניין להתקין מערכת סולארית על הגג, ייזום מול חברת התקנה מהלך של בדיקת הגג, הנחת הפאנלים וחיבור לרשת. המונה שהמערכת תחובר אליו ושממנו יקוזז הייצור יהיה מונה ועד הבית. כך ייהנה ועד הבית מצמצום של עלויות החשמל השוטפות שלו, ויחסוך כסף לדיירים.¹⁰

בתרחיש זה היקף החשמל המיוצר במערכת צפוי להיות גדול מהיקף הצריכה.¹¹ במצב של ייצור שגובה מהצריכה, הסדר 'מונה נטו' מאפשר לצבור יתרת זכות עבור אותו צרכן במשך שנתיים. עם זאת, נראה כי במקרה זה הפער בין הייצור לצריכה יהיה קבוע, ומימוש היתרה יהיה בלתי אפשרי.

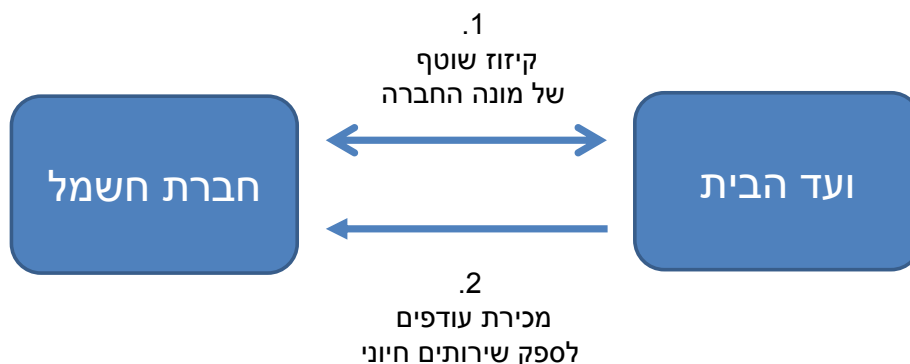
האפשרות של חלוקת יתרת הזכות בין דיירי הבית והפחתת חשבונות החשמל הפרטיים אינה אפשרית במסגרת ההסדר. זאת משום שעל פי ההסדר הקיים כיום, הקיזוז יכול להתבצע רק עבור צרכן אחד, קרי מונה אחד, שמחובר למערכת הסולארית. לפיכך, האפשרות היחידה שנשארת לוועד הבית כדי ליהנות מהכנסות בגין החשמל שהוא מייצר היא מכירת החשמל לחברת החשמל, קרי העברת היתרה ל"ספק שירות חיוני". התעריף עבור חשמל עודף נקבע לפי עלות הייצור המשוקללת של חברת החשמל, והוא נמוך יותר מהתעריף של חשמל שנעשה בו שימוש. יש לציין כי אפשרות זו עדיין תאורטית בלבד, שכן טרם אוסדר נושא רישיון ההולכה לספק שירות חיוני. אם תתאפשר, ההכנסה העודפת שתיווצר לוועד הבית תוכל לשמש למגוון היבטים לשיפור איכות החיים במבנה – הרחבת השירותים בבניין (ניקיון, גינון), יצירת קרן לתקלות שבר, שיפוצים עיתיים ועוד.

⁹ למעט מבנים עם גגות פרטיים (פנטהאוז).

¹⁰ יש לציין כי טרם נוצר תקדים של רישום מונה של חשמל במסגרת הסדר 'מונה נטו' על שמו של ועד בית, למעט מבנים עם גגות פרטיים (פנטהאוז). יש לציין כי טרם נוצר תקדים של רישום מונה של חשמל במסגרת הסדר 'מונה נטו' על שמו של ועד בית,

¹¹ זאת מאחר שוועד הבית ינסה למקסם את שטח הגג המנוצל לייצור חשמל ולהתקין מערכת גדולה ככל הניתן, שתייצר כמות גדולה של חשמל. לעומת זאת, הצריכה המשותפת, בפרט בבניינים נמוכים ללא מעלית וללא מערכות מכניות מורכבות, נמוכה מאוד.

תרשים 3: מודל ועד הבית

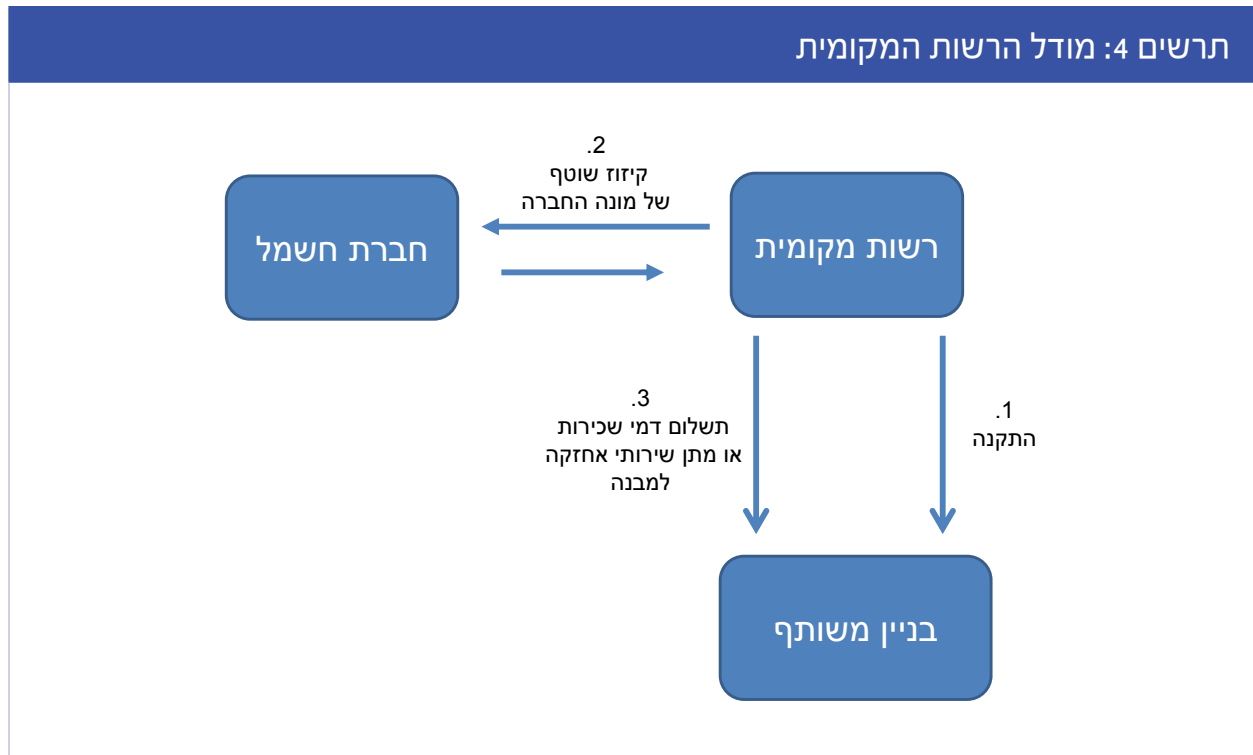


מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

מודל הרשות המקומית

במודל זה, היזם הוא הרשות המקומית. הרשות המקומית לוקחת בעלות על מונה החשמל של ועד הבית, כך שהצריכה המשותפת בבניין תשולם בפועל על ידי הרשות המקומית. בתמורה, ועד הבית יאפשר לרשות להניח מערכת פוטו-וולטאית על גג המבנה, שתהיה בבעלות הרשות. כך, דיירי הבניין ייהנו מהפחתה בעלויות ועד הבית (לאור הפחתת העלויות בגין צריכת החשמל המשותפת), והרשות המקומית תוכל להגדיל הכנסותיה. באופן זה נמנעת הבעיה של ייצור גבוה מהצריכה, שכן הרשות המקומית היא צרכן אנרגיה גדול מאוד, שלא כמו ועד הבית.

ניתן לתאר זאת גם כמודל שבו התשלום של הצריכה המשותפת בבניין על ידי הרשות הוא "דמי שכירות" לשימוש שלה בגג המבנה. מאחר שהצריכה המשותפת של הבניין נמוכה מאוד ביחס לגובה הייצור, אם כוח המיקוח של הדיירים יהיה גדול מספיק, הם יוכלו לדרוש תועלת או טובות הנאה נוספות בגין השימוש בגג, שיבואו לידי ביטוי כתשלום חודשי נוסף לוועד הבית או כהפחתה של תשלומי הארנונה לדיירים, או כהתחייבות של הרשות לדאוג גם להוצאות ועד הבית שאינן עבור צריכת חשמל (כגון חשבון מים, ניקיון וכו'). זאת ועוד, ניתן לקבוע בהסכם סוגי הטבות שמשותפים לרשות המקומית ולבניין שהתקבולים מהמערכת יושקעו בהם, כמו למשל שיפור פני הרחוב שהבניין נמצא בו, שיפוץ חזית הבניין וכדומה.



מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

מודל הדיור הציבורי

ברבים מהשיכונים בישראל הדירות הן דירות "דיור ציבורי", ומנהלות אותן חברות משכנות (כיום "עמידר" ו"עמיגור"). החברות מנהלות עבור המדינה עשרות אלפי יחידות דיור בפריסה ארצית (בעיקר בפריפריה), שרובן במבני שיכונים ישנים. בחלק ניכר מהמבנים רוב הדירות הן בבעלות המדינה, כך שוועד הבית נשלט בפועל על ידי החברות המשכנות. לפיכך, המדינה, באמצעות החברות המשכנות, יכולה לזיזם התקנה של מערכות פוטו-וולטאיות על גג המבנים, וזאת תוך פשטות משפטית יחסית.

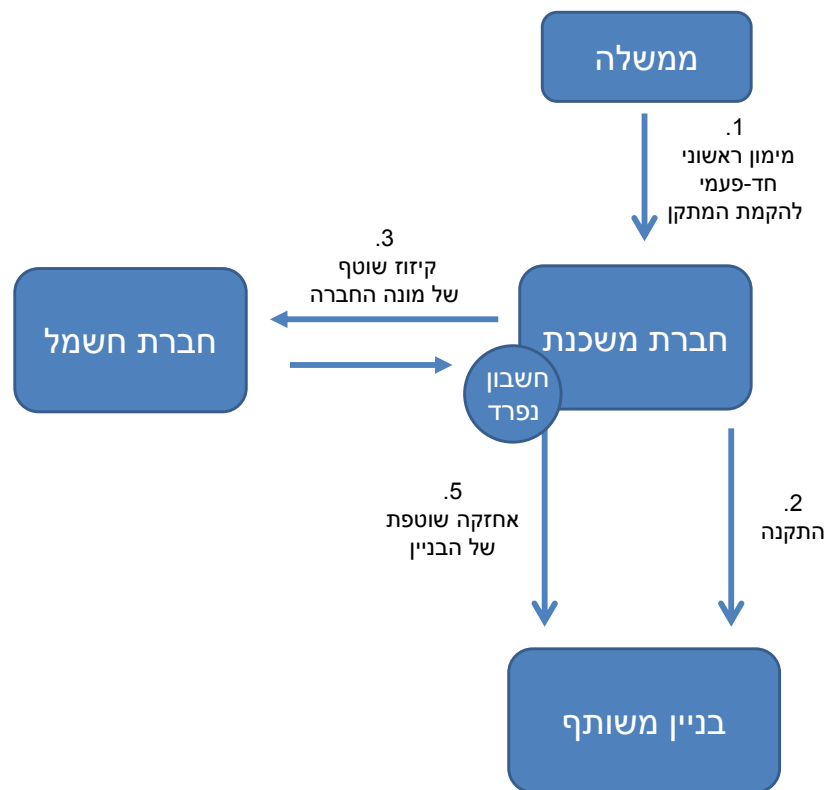
מאחר שהמדינה שולטת בפועל בוועד הבית, היא יכולה לקחת בעלות על מונה החשמל של ועד הבית, בכפוף להסכמת אסיפת הדיירים, ובפרט לדרוש מהחברות המשכנות לקחת אחריות על המונה. כך יימנע מצב שהייצור גבוה מהצריכה, שכן החברות המשכנות הן צרכן אנרגיה גדול יחסית. 12. במודל זה, החשמל שייצור במערכת יקזז את חשבון החשמל של החברה המשכנת, ועל כן יש לתכנן מנגנון להחזרת הכסף למדינה או לציבור. כמו כן, יש לציין כי כל עוד החברות לא יוכלו למכור עודפי ייצור, המודל מוגבל בהיקפו לגובה הצריכה השנתית של החברות המשכנות.

מנגנון אחד אפשרי הוא שימוש בתקבולים מהמערכת לטובת אחזקה ארוכת טווח של המבנה שהמערכת מותקנת בו. היבט זה חשוב במיוחד בדיור הציבורי, שכן אוכלוסיית הדיירים נמצאת לרוב בקשיים חברתיים וכלכליים, שמובילים ברוב

¹² זאת עקב צריכת החשמל של החברות במשרדהים השונים הפזורים ברחבי הארץ, וכן במבני הדיור המוגן שבניהולן. כלומר, קיזוז ייצור החשמל במבני הדיור הציבורי יקוזזו עם צריכה בנכסים אחרים שבשימוש החברות המשכנות.

המקרים להזנחה של המרחב הציבורי ושל הבית המשותף. החברות המשכנות, המשמשות כחברות ניהול של הבניינים, יחזירו את ההכנסה מהמערכת בדמות עבודות גינון, ניקיון, הדברה, טיפול בתקלות שבר, ותחזוקה שוטפת של נזקים בשטחים המשותפים בבניין. מודל שכזה יוצר יתרון לכלל הגורמים המעורבים: המדינה משביחה את נכסיה ומייצרת מנגנון לתחזוקה ארוכת טווח של הנכסים שבבעלותה, דיירי הדיור הציבורי יזכו לשיפור במרחב המחיה שלהם ללא כל עלות נוספת, והחברות המשכנות יגדילו את נפח הפעילות שלהן וייהנו מהעמלה בגין ניהול המיזם.

תרשים 5: מודל הדיור הציבורי



מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

חקר מקרה - מיזם "שכונה טובה"

המשרד להגנת הסביבה ומשרד הבינוי והשיכון מקדמים בימים אלה את מיזם "שכונה טובה". במסגרת המיזם, מבני שיכונים ובהם דיירים של הדיור הציבורי, יעברו שיפוץ, לרבות שיפוץ של הגג לחיסכון באנרגיה, ויותקנו בהם מערכות פוטו-וולטאיות לייצור אנרגיה סולארית במסגרת הסדר 'מונה-נטו'. ההכנסה מהמערכת תשמש להוצאות המשותפות של הבניין ולאחזקה של המבנה למשך 20 שנה, ותכלול את התאורה בחדר המדרגות, גינון השטח הפתוח מסביב למבנה ועוד. המיזם יצא לפועל על ידי חברות המשכנות, עמידר ועמיגור, שיהיו אמונות על הביצוע, הפיקוח והבקרה. כמו כן, על ידי העברת בעלות מונה החשמל המשותף לחברות המשכנות, מנגנון הקיזוז של המערכת יבוצע מולן.

ההתקנה הראשונית של המערכות ושל השיפוץ תמומן בכספי ממשלה. לא נדרשת השתתפות דיירים בעלות ההקמה. מתום ההתקנה, במהלך תקופת הפעילות של המערכת (המוערכת בכ-20 שנה), המימון של האחזקה והטיפול יגיע מהכנסות הנובעות מייצור החשמל בלבד. כלומר, לא תידרש תוספת תקציב מרגע ההקמה מצד המדינה, וגם כאן לא ייגבה תשלום מהדיירים. ההכנסות מהמערכת הפוטו-וולטאית צפויות לכסות את כל הוצאות התפעול הדרושות (לרבות עלויות אחזקה, מיסוי, עמלות, תקורות, רישוי וביטוח), והיתרה תשמש לאחזקה ולטיפול הבניין.

התועלת מהמיזם:

לדיירים

- הורדת תשלומי ועד הבית לאור החיסכון בעלויות החשמל המשותף ובעלויות הגינון.
- שיפור איכות החיים לאור שיפורים במרחב הבנוי - אור במדרגות, גינה מטופחת.
- השבחת הנכס - לדירות נוסף זרם תקבולים המיועד לטיפול ולאחזקה של הבניין.

למדינה

- הרחבת הייצור מאנרגיות מתחדשות - יעד לאומי מחייב במסגרת הסכם פריז, וכן הפחתת זיהום אוויר וקידום תועלת של ביזור ייצור החשמל (כגון עלויות הולכה וביטחון בתחום האנרגיה)

לרשות המקומית

- המיזם מתמקד במתחמים שיש בהם מספר מבנים סמוכים, ובכך שיפור החזות של השטחים הפתוחים יוביל לשיפור פני העיר ולהשפעה חיובית על הרחוב ועל כלל התושבים בשכונה.
- המיזם צפוי לפעול ב-15 רשויות מקומיות, מקריית שמונה בצפון ועד אילת בדרום, ובסך הכול יותקנו מערכות על גבי 65 מבנים, בהיקף של יותר מ-1 מגה-וואט.

הערים שבהן יבוצע מיזם "שכונה טובה"

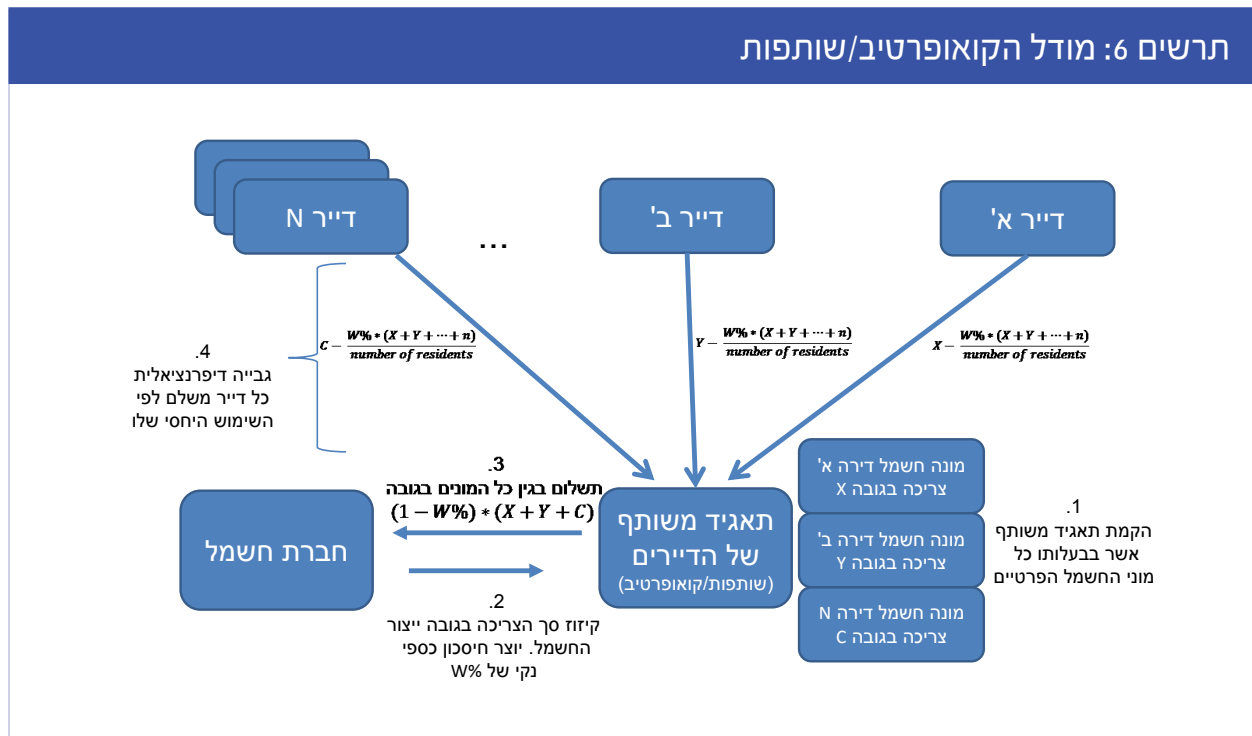


גג של מבנה בשדרות לפני תחילת המיזם

מודל קואופרטיבי/שותפות

כאמור, הסדר 'מונה נטו' מצריך ישות משפטית אחת שהיא צרכן אנרגיה, וזו תתקזז על החשמל. מסיבה זו, הדיירים בבניין משותף, שהם ישויות משפטיות שונות, אינם יכולים ליהנות במישרין מהפחתת עלויות החשמל, אלא ליהנות מהטבה עקיפה בלבד. המודל הקואופרטיבי מציע התאגדות של דיירי הבית בצורה שונה מוועד הבית, שתאפשר הפחתה של עלויות החשמל לדיירים באופן ישיר, ולא רק באמצעות הפחתה של עלויות אחזקת השטחים המשותפים.

במסגרת מודל זה, על דיירי הבניין להקים קואופרטיב/שותפות לייצור אנרגיה. התאגיד יהיה הבעלים של כלל מוני החשמל בבניין, לרבות מוני החשמל הדירתיים. למעשה, הדיירים ישלמו את חשבון החשמל שלהם לתאגיד, שיהפוך להיות הגישות שחברת החשמל פועלת מולה. התאגיד יקבל את חשבון החשמל כפי שמופיע בכל המונים של הדירות, וכן את המונה המשותף של הבניין. גובה החשמל המיוצר יחולק במספר הדיירים בבניין, וכל מונה דירתי יחסוך הוצאה בגובה זה. את יתרת התשלום יגבה התאגיד מהדיירים, לפי שימושם היחסי.



מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

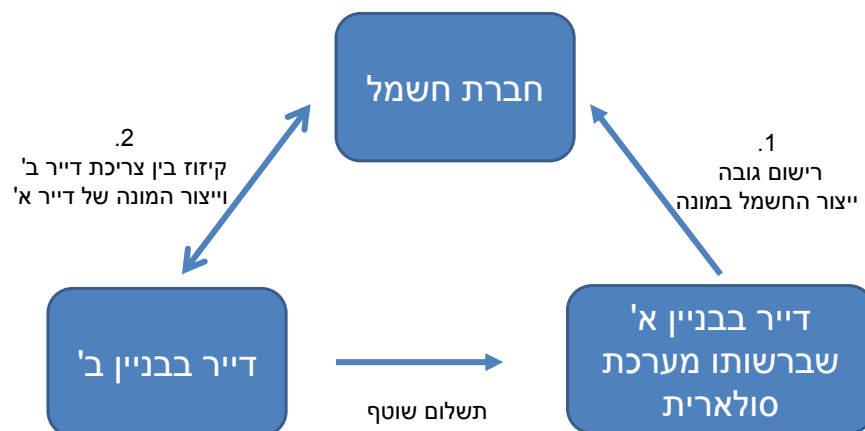
דוגמה להמחשה – בבניין שלושה דיירים שצורכים חשמל באופן הבא: דייר א' 1,000 קוט"ש בחודש, דייר ב' 800 קוט"ש בחודש, ודייר ג' 1,200 קוט"ש בחודש. המערכת המשותפת על הגג ייצרה 300 קוט"ש בחודש. התאגיד המשותף לכל הדיירים יקבל חשבון חשמל של 2,700 קוט"ש (3,000 קוט"ש שצרכו הדיירים פחות 300 קוט"ש שהמערכת ייצרה). הקואופרטיב יגבה מהדיירים את התשלום כך שהייצור מחולק שווה בשווה בין כל הדיירים, קרי 100 קוט"ש פחות לכל דייר. לפיכך דייר א' ישלם עבור 900 קוט"ש, דייר ב' עבור 700 קוט"ש, ודייר ג' עבור 1,100 קוט"ש.

מודל כלכלה שיתופית

מודל נוסף המעודד התקנה של מערכות סולאריות על גבי גגות בתים הוא מודל של "מונה נטו וירטואלי" (VNM – Virtual Net-Metering). הרעיון בבסיס מודל זה הוא שיתוף של שטחי גג בין אלה שיש להם עודף בשטח הגג, לבין אלה שאין להם שטח גג. שיטה זו היא חלק מהכלכלה השיתופית שמאפשרת לפרטים לשכור שירותים מפרטים אחרים. כך, אדם א' שברשותו גג יוכל להתקין מערכות על גבי הגג שלו, ואדם ב' שהוא דייר אֶמְבְּנָה שאינו מאפשר התקנה של מערכת סולארית, ישכור באופן וירטואלי חלק מהמערכת שעל הגג של אדם א'. באופן דומה, אדם ב' יוכל להתקין בעצמו מערכת על הגג של אדם א' עבור תמורה מסוימת. הרווחים מחלק המערכת המשותף יתחלקו בין השניים, כך שההכנסה לאדם ב' תהיה גבוהה מעלות השכירות, והשכירות שיקבל אדם א' תכסה את ההשקעה הנוספת.

מודל הכלכלה השיתופית יוצר מספר יתרונות. ראשית, שוויוניות בנגישות למערכות סולאריות. גם דיירים הגרים במבנים שאינם מתאימים לייצור אנרגיה בגגות יוכלו לתמוך בהטמעת השימוש וליהנות מפירות האנרגיה הסולארית. שנית, הרחבת הנגישות לאנרגיה סולארית תוביל להגדלת פוטנציאל השוק של האנרגיה הסולארית בגגות. שלישית, לבעלי גגות נוצר תמריץ לנצל את הגג באופן מיטבי ומלא, שכן הם יוכלו להשכיר את העודפים שאינם נדרשים להם. רביעית, למעשה מדובר ביצירת שוק לשטחי הגגות, שהופך שטחים שוממים לנכסים מניבים. כמו כן, היכולת להשכיר חלקים מהגג בלבד מיעלת את השוק כך שיותאם ליותר צרכנים ויאפשר יותר עסקאות.

תרשים 7: מודל הכלכלה השיתופית



מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

בטבלה 1 מוצגים היתרונות והחסרונות המרכזיים של כל אחד מהמודלים שנבחנו.

טבלה 1: יתרונות וחסרונות המודלים		
המודל	יתרונות	חסרונות
מודל הדיור הציבורי	ניסיון ויכולת גבוהה בניהול נכסים. כל התועלת מהמערכת מופנית למטרות ציבוריות.	בעיית התרחבות (Scalability) לנוכח גובה צריכת החשמל של החברות המשכנות.
מודל הרשות המקומית	ניהול על ידי גוף בעל מכוונות ציבורית. כל התועלת מהמערכת מופנית למטרות ציבוריות.	עשוי להעניק הטבה ממשלתית לאוכלוסיות חזקות – מגדיל אי-שוויון. אין לרשויות ניסיון בניהול נכסי מגורים
מודל ועד הבית	פשטות – אין צורך בגורמים נוספים פרט לוועד הבית.	אין תקדים לכך שהאסדרה מאפשרת. כמו כן, התעריף של העברת יתרת הזכות מפחית מהכלכליות של המיזם.
מודל קואופרטיבי/שותפות	תמריץ חזק לדיירים – הפחתת עלויות בחשבונות פרטיים	עשוי ליצור סרבול בירוקרטי. מחייב ניהול פעיל של הדיירים.
מודל הכלכלה השיתופית	יוצר שוק לשטח גגות ומייעל את תהליך הקצאת המשאבים.	מחייב אסדרה מתאימה. מצריך פיתוח טכנולוגיות תומכות.

אפשרויות מימון

כפי שהוצג ברקע, הזרימה של כסף פרטי לתחום ההשקעות במיזמים סולאריים צוברת תאוצה באופן טבעי לאור ירידת מחירי המערכות ועליית הרווחיות. הניתוח להלן יתמקד במימון שמעִבֵר פעילות כלכלית מצד הממשלה, מתוך רצון להגדיל את כמות האנרגיה המתחדשת במדינה. אפשרויות המימון השונות של הממשלה מחולקות לכמה סוגים: שותפות ממשלתית-פרטית (PPP), ערביות מדינה, מיזם הֶחָפֵר (ליסינג), קרן מחזורית ותמריצי מיסוי.

שותפות ממשלתית-פרטית (PPP)

לרוב כדי להוציא לפועל מיזם סולארי על גבי גג מבנה, עושים שימוש בשיטה הפשוטה למימון מיזמים (לא בהכרח מיזמים סולאריים): תמהיל בין חוב והון. בעוד שההון מייצר בעלות על חלק מהמיזם (Equity), החוב ניתן כהשקעה ומוחזר

בתוספת ריבית. המקרה השכיח של מיזמים שמעורב בהם כסף ממשלתי וכסף פרטי, הוא חלוקה של ההון והחוב בין הצדדים. כך הממשלה ממנפת את הכסף שהיא מביאה לטובת המיזם עם תקציב נוסף מצד היזם הפרטי. רמת המינוף תלויה בחלוקה בין הממשלה ליזם, ונקבעת במשא ומתן בין הצדדים ובהתאם לרמת האטרקטיביות של המיזם. ככל שהמיזם אטרקטיבי יותר, כך יהיה ביקוש גדול יותר מצד משקיעים פרטיים למנוף את הכסף הפרטי, והממשלה תוכל לבצע יותר התקנות באותו תקציב ממשלתי נתון.

כדי להגדיל עוד יותר את הרווחיות עבור היזם ולמשוך יותר כסף פרטי, ניתן לבנות מודל שבו הממשלה נותנת את החוב (הלוואה), וההון ניתן על ידי המשקיע הפרטי. באופן זה, הממשלה מוותרת על חלקה בבעלות על המיזם, ומקבלת בחזרה רק את התשואה עבור הלוואה. הדבר מאפשר תשואה גבוהה יותר עבור המשקיע, וכך יותר כסף יזרום למיזם, ויבוצעו יותר התקנות.

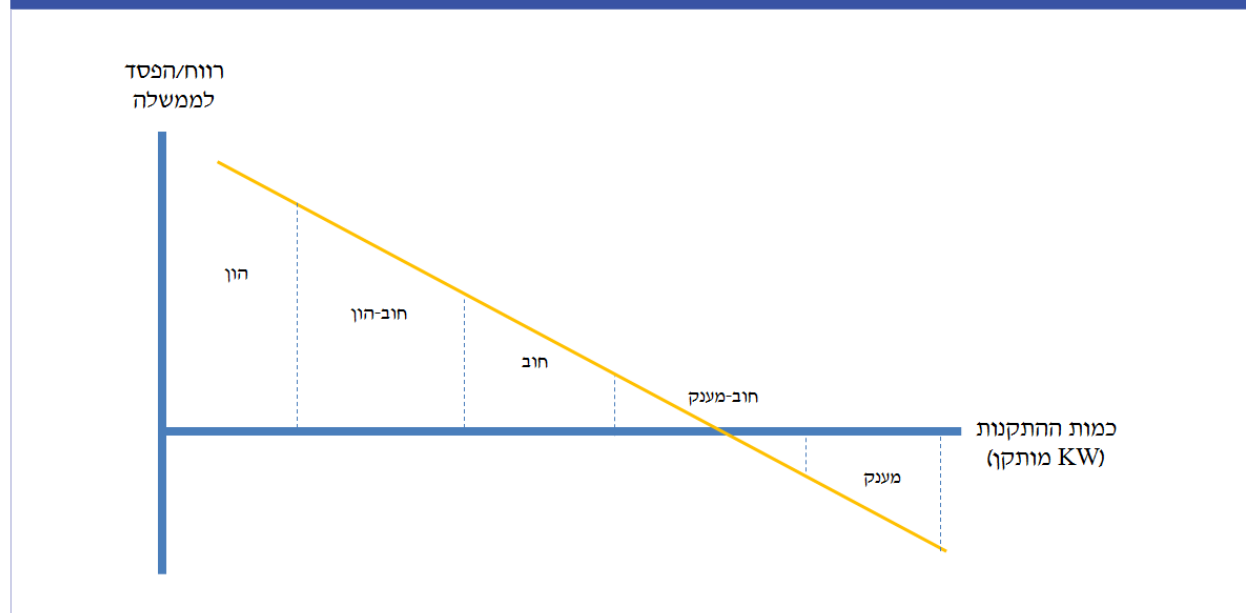
אם נדרש תמריץ גדול יותר עבור המשקיעים הפרטיים להיכנס למיזם, הממשלה יכולה ליזום מיזם שימומן בתמהיל של מענק והון בלבד.¹³ כלומר, הלוואה הממשלתית ניתנת כמענק, והממשלה מוותרת על החזר שלה, וכמובן גם על החזר הריבית.¹⁴ מצב זה מגדיל באופן ניכר את רמת האטרקטיביות עבור היזם הפרטי, שכן כל התשואה העודפת של חלקה של הממשלה עוברת למשקיע הפרטי. במצב זה, ניתן גם להקטין את גובה המענק כדי שהממשלה תשיג מהמיזם את אותן תוצאות, אך תספוג הפסד תקציבי קטן יותר. במודל זה כמות ההתקנות תהיה הגבוהה ביותר.

למעשה, ניתן ליצור מודל מימון בכל תמהיל המערב הון, חוב, ומענק מצד הממשלה וכסף פרטי מצד המשקיע. כך נוצר שקלול תמורות (trade-off) בין גובה הויתור של הממשלה על הכנסות, לבין כמות או גודל המערכות הסולאריות שיוקנו במיזם (ראו פירוט בנספח א'). תרשים 8 מציג בצורה סכמטית את שקלול התמורות.

¹³ תכנית MASH בארה"ב מעניקה מענקים מסוג זה לפי קו"ט מותקן (Navigant, 2015).

¹⁴ אמנם הממשלה מגדילה הוצאות כך שהחשבון השוטף שלה קטן, אולם יש לציין כי היא עושה זאת מתוך ראייה ארוכת טווח, שמחזירה את המענק בדמות פיתוח אזורי, צמצום זיהום אוויר וכדומה.

תרשים 8: תרשים סכמטי של איזון בין כמות ההתקנות לבין המאזן התקציבי של הממשלה בתום המיזם, כתלות באופן המימון הממשלתי



מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

אגרות חוב ירוקות

כדי לגייס חוב עבור השקעה במיזמים סולאריים, ממשלות רבות משתמשות באגרות חוב ירוקות (Green Bonds). למעשה, מדובר בהנפקה של אגרות חוב לציבור, ומטרת גיוס החוב היא הקמה של מיזמים שמטרתם צמצום הפגיעה בסביבה. בפרט, ניתן להנפיק אגרות חוב באופן ספציפי עבור תמיכה באנרגיות מתחדשות. החזר החוב מתבסס על ההכנסות מהמיזמים, למשל מההכנסות מייצור החשמל במקרה של מיזמים סולאריים. היקף השימוש באגרות חוב ירוקות בעולם גדל מכ-4 מיליארד דולר בשנת 2010 עד ליותר מ-37 מיליארד דולר בשנת 2014 (הבנק העולמי, 2015). במידת הצורך, כדי לעודד משקיעים לרכוש אגרות חוב ירוקות, המדינה יכולה לתת פטור מלא או חלקי מהמיסוי על רווח ההון מהאגרות.

ערבויות מדינה

אחד הכלים הנפוצים לעידוד השקעות שהמדינה מעוניינת לקדם הוא ערבויות מדינה. הערבות ניתנת מול הגורם המממן של הלויים שמעוניינים לקדם מיזם עסקי כלשהו, והמדינה ערבה להחזר ההלוואה. התחייבות המדינה לשלם את ההלוואה אם הגורם הלווה לא יפרע את חובו, מורידה באופן ניכר את הסיכון עבור הגורם המממן, וכך הלווה יכול ליהנות משיעורי ריבית נמוכים יותר.

לנוכח העובדה ששוק ההתקנות הסולאריות על גבי גגות מבני מגורים נמצא בחיתוליו ולכן מגלם חוסר ודאות מסוימת, הדבר עשוי להוביל לתוספת של פרמיית סיכון למחירי ההתקנה והתפעול. לכן, המדינה יכולה לערוב למיזמים מסוג זה

ולהוריד את עלות ההון הדרוש להקמת המיזם. כך, יהפכו מיזמים אלה לאטרקטיביים יותר, והדבר יוביל להטיית השוק כלפי התקנת מערכות על גבי גגות.

הֶחָכֵר (ליסינג)

כשמדובר במיזמים סולאריים על גבי גגות מבני מגורים, אחד ההיבטים המרכזיים הוא זכות השימוש בגג המבנה. יזמים המעוניינים להתקין מערכת סולארית נדרשים למצוא מקום להתקנה – קרקע או גג – ולרוב משלמים עבורו שכירות מסוימת שמובאת בחשבון בתחשיב. מודל אפשרי הוא מודל לשכירות ארוכת טווח של הנכס לטובת המתקן, אך במקום דמי שכירות תקופתיים, המערכת מוקמת על הנכס ללא עלות, ובתום תקופה מסוימת הבעלות על המערכת עוברת לבעל הנכס. מודל זה דומה לשיטת BOT (Build Operate Transfer) שהיזם אחראי בה על ההקמה של המיזם ועל התפעול שלו למשך תקופה מסוימת, ולאחר מכן הוא מעביר את הבעלות ואחריות התפעול לידי המדינה.

אורך התקופה שלאחריה המערכת עוברת מהיזם לבעל הגג או לבעל הקרקע נקבע במשא ומתן בין הצדדים. משך הזמן קובע למעשה את התשואה ליזם, וככל שהמיזם אטרקטיבי יותר, כך היזם יהיה מוכן להעביר את המערכת מוקדם יותר. כאשר היזם הוא הממשלה, ניתן לבצע את המודל באופן דומה, אך לקצר את התקופה עד להעברת המערכת לבעל הנכס. קיצור התקופה שווה ערך להורדת האטרקטיביות הכלכלית של המיזם, או במילים אחרות – מתן מענק מהממשלה לבעל הגג. לדוגמה, אם יזם פרטי מציע להקים מערכת על גג בניין משותף ולהעבירה לידי דיירים הבניין לאחר 15 שנה, הממשלה יכולה להציע לבצע את המיזם ולהעביר את המערכת לידי הדיירים לאחר 5 שנים בלבד. אורך התקופה ייקבע על ידי הממשלה כתלות בשיעור החזר שהיא מוכנה לוותר עליו לטובת קידום התחום.

קרן מחזורית

קרן מחזורית היא מקור תקציבי המאפשר השקעה בתשומות שמניבות תשואה שחוזרת לקרן, וכך הקרן ממשיכה לפעול לאורך זמן ללא צורך במקור תקציבי נוסף מעבר לתקציב הראשוני. הסוג השכיח של קרנות מסוג זה הוא קרן מחזורית להלוואות (Revolving Loan Fund – RLF), שמעמידה הלוואות עבור תכלית ייעודית. כך, לאור העובדה שמתקן סולארי הוא נכס המניב תשואה לאורך זמן, ניתן להקים קרן מחזורית שתיועד להלוואות עבור מיזמים פטו-וולטאיים על גבי גגות מבני מגורים.

שימוש בקרן מחזורית מאפשר תמיכה ארוכת טווח בהקמה של מיזמים סולאריים על גבי מבנים, וכן יוצר מנגנון ייעודי ומומחיות במימון מיזמים מסוג זה. נוסף על כך, שילוב הקרן המחזורית יחד עם הקצאת ערבויות מדינה, מאפשר לתת הלוואות בריבית נמוכה ואטרקטיבית, ויוצר תמריץ משמעותי ליזמים.

שיטה נוספת היא קרן מחזורית שאינה מחלקת הלוואות, אלא משתמשת בתשואה כתקציב נוסף להגדלת היקף המיזם. כך ניתן למחזר את ההשקעה הראשונה בהקמת המתקן כדי להגדיל את כמות הקו"ט המותקנים. כל ההכנסות מייצור חשמל מהפעילות של המתקן בשנה הראשונה יושקעו בתוספת מתקנים (או בתוספות למתקן הקיים), וכך גם בתום התקופה הבאה וחוזר חלילה. המיזם ימשיך לגדול ולייצר עוד ועוד אנרגיה ללא צורך בתוספת תקציב מעבר לתקציב ההקמה הראשוני. קצב הגידול של המיזם יהיה כגובה ההכנסה השנתית מהמיזם (בחיסור הוצאות נדרשות על קבלת הסכמה לשימוש בגג, למשל כדי לשלם לדיירים דמי שכירות). למשל, מערכת המייצרת הכנסה של 12% מעלות ההקמה מדי שנה, תאפשר

הגדלה של סך הקו"ט המותקנים ב-12% כל שנה, קרי קצב גידול מעריכי. 15 מערכת בגודל של 1 מגה-ואט בשנה הראשונה תכפיל את עצמה תוך 10 שנים פי $1.12^{10} = 3.1$. כלומר, בשיטה זו הממשלה יכולה לייצר תוך 10 שנים יותר מ-3 מגה-ואט בעלות ראשונית של הקמת 1 מגה-ואט בלבד. כמובן בשיטה זו רלוונטיות לכל גודל של התקנות, וניתן לבצע את המיזם גם עם התקנה ראשונית קטנה או גדולה בהרבה. נוסף על כך, ניתן לגייס את ההון הדרוש להקמת המיזם באמצעות אגרות חוב ירוקות, ולחלוק את ההחזר עם בעלי האגרות. הדבר יקטין את קצב הגידול של המיזם, אך ימנע מהממשלה הוצאה תקציבית חד-פעמית כבדה.

שיטה זו מתאימה במיוחד לקידום על ידי הממשלה ממספר סיבות. ראשית, שלא כמו מיזמים פרטיים שמעוניינים למקסם את התשואה על המיזם, התכלית של מדיניות הממשלה אינה בהכרח הגדלת התשואה, אלא הרחבת ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות בעלות הנמוכה ביותר. שנית, לכאורה, לממשלה יש אורך רוח וראייה ארוכת טווח, כך שהיא יכולה להיות סבלנית לאורך תקופה ארוכה, בעוד שיזמים פרטיים מעוניינים לקצר זמנים. שלישית, כדי לקדם מיזם גדול מסוג זה, נדרש שטח גדול המנוהל על ידי גורם אחד. אמנם ישנם מספר קטן של גורמים פרטיים המחזיקים בשטחים רחבי ידיים, אך לממשלה יש מספר רב של אפשרויות לעשות זאת, בין אם על שטחי קרקע בבעלותה, ובין אם על גגות של נכסים ציבוריים. למשל, ניתן ליישם מיזם מתגלגל כזה על גבי בתי ספר של רשות מקומית, נכסי הדיור הציבורי שבבעלות המדינה, נכסים של הדיור הממשלתי, מעונות סטודנטים, תחנות רכבת, תחנות כיבוי אש, תחנות משטרה ועוד.

להלן דוגמא להמחשה – מדינת ישראל היא הבעלים של יותר מ-70,000 דירות המשמשות לדיור הציבורי, שממוקמות ביותר מ-20,000 נכסים שונים ברחבי הארץ (חברת עמידר, 2016). 16 מתוך הנחה כי שטח הגג הפנוי הממוצע לכל בניין הוא 150 מ"ר, הרי שסך השטח הפוטנציאלי הוא כ-3,000 דונם, וניתן להתקין בו כ-300 מגה-ואט. לפיכך, בהשקעה ראשונית של 50 מיליון שקלים, ניתן להתקין כ-9 מגה-ואט במערכות קטנות על גבי כ-600 מבנים. 17 לאחר 10 שנים יעמוד מספר הבניינים שהותקנו בהם מערכות על כ-1,900, בהספק של כ-28 מגה-ואט. לאחר 20 שנים, יהיו כבר כ-6,000 בניינים וכ-90 מגה-ואט מותקן בהתאמה – פי 10 מההתקנה הראשונית. על פני 20 שנה המתקנים ייצרו מעל 1.2 TWH.

תמריצי מיסוי

כדי לעודד את ההקמה של מערכות סולאריות על גבי מבני מגורים הממשלה יכולה לתת הטבות מס. הטבת מס היא למעשה סובסידיה שניתנת מטעם המדינה לקידום מטרה רצויה כלשהי. הטבות מס למיזמים סולאריים יכולות להינתן עבור היבטים שונים של המיזם – מס יבוא (מכס), מס על רווחי הון של החברה ומס דיבידנד. כמו כן, ניתן לעשות שימוש במתן פחת מואץ על מערכות סולאריות. באמצעות קביעת קריטריונים לכלי מיסוי אלה ואחרים, המיזם נעשה כדאי יותר ליזמים, ומטה את השוק. ניתן לקבוע קריטריונים גאוגרפיים, קריטריונים העוסקים בסוג התאגיד, קריטריונים העוסקים בגודל המתקן, וכן קריטריונים תכנוניים על מיקום המערכות על גבי גגות.

מעבר להצדקה הסביבתית למתן הטבות מס, הן פותרות את כשל השוק הגלום בעלויות החיצוניות שנובעות מייצור חשמל ממקורות מזהמים. כמו כן, למתקני גגות יתרונות של יתירות וחיסכון באבדן שכיום לא נכללים במחיר. לכן, הממשלה

¹⁵ ההנחות למספר זה מפורטות בנספח ב'.

¹⁶ הכוונה למבנים שונים. המספר אינו כולל דירות במבנים צמודי קרקע.

¹⁷ הנחות החישובים מפורטות בנספח א'. כמו כן, לשם פשטות נניח כי 20% מההכנסות מופנה למיסוי, לתקורות ולשאר ההוצאות שאינן מפורטות בנספח.

יוצרת הפסד מוויתור על הכנסות מצד אחד, אך יוצרת חיסכון בהולכת החשמל, בהוצאות בריאות, בהגדלת הפריון ובצמיחה כלכלית בפריפריה מהצד השני, כך שבמבט כולל, הטבות המס מעודדות את הצמיחה במשק.

לרוב, הטבות מס העוסקות בעידוד תעשייה מסוימת ניתנות מכוח חוק עידוד השקעות הון, התשי"ט-1959. אפיק תמריצים זה גם מעודד הקמה של תעשייה בפריפריה החברתית, וכך אף מתאים יותר לעניין הקמת מערכות סולאריות. עם זאת, תיקונים בחוק מצריכים מעורבות של הכנסת בחקיקה ראשית, הליך שעשוי להיות אטי ונתון ללחצים פוליטיים.

חסמים עיקריים

תחרות על שטח הגג

החסם העיקרי והמידי להקמה של מערכות לייצור אנרגיה על גגות בתים משותפים הוא שטח הגג. המערכת הסולארית זקוקה לשטח "נקי" ממפגעים של 15–10 מ"ר עבור כל 1 קו"ט מותקן. על גבי גגות מבני מגורים מוצבים מתקנים רבים אחרים שתופסים שטח – בראשם דודי השמש, ולאחר מכן גם מעבי מזגנים, אנטנות ומפגעים שונים. נוסף על כך, מעקות בפאות המבנה עשויים ליצור הצללה על חלק מהגג ולהפוך אותו ללא אפקטיבי עבור המתקן הפוטו-וולטאי. לפיכך, השטח האפקטיבי של גגות במבני מגורים קטן מהשטח ברוטו של הגג, ויכול להגיע לשטח אפקטיבי קטן מדי עבור מערכת שתצדיק השקעה כלכלית. בעיית השטח מחריפה ככל שהבניין גבוה יותר ובעל קומות רבות יותר. מכיוון שברוב המקרים הוספת יחידות דיור מתבצעת לגובה, כך שאותו שטח גג ברוטו צריך לשרת מספר רב יותר של דירות. ניתן למנות מספר פתרונות לבעיות הללו. ראשית, בכל תרחיש, יש לתכנן סידור מחדש של הגג. הגגות של מבנים משותפים, ובפרט מבנים ישנים יחסית, אינם מסודרים ואינם מנוצלים ביעילות. תכנון מדוקדק של סידור הגג יוביל למקסום השטח לשימושים השונים. שנית, כדאי לגשת תחילה למבנים שהם "פירות התלויים נמוך" – מבנים בעלי יחס גג-דירות גדול ככל הניתן. בפרט, יחס גג-דירות גדול מתקיים כאשר המבנה נמוך וארוך, תיאור התואם היטב את סוג הבנייה של מבני השיכונים שנבנו בישראל בשנות ה-50. מבנים אלה בנויים בצורה חזרתית לפי מספר הכניסות לבניין, מה שמאפשר שכפול של המערכת כגודל הכניסות בבניין. יש לציין כי גישה זו מעודדת התקנה של מערכות בפריפריה, שכן המבנים במחוזות הפריפריאליים נמוכים יותר מאשר באזורי הביקוש (המשרד להגנת הסביבה, 2015). שלישית, במבנים גבוהים יחס גג-דירות נמוך יותר, והגגות במבנים אלה גם עמוסים יותר במערכות, בדירות פנטהאוז ועוד. עם זאת, שטח הגג ברוטו של מבנים גבוהים גדול יותר בדרך כלל מזה של מבנים נמוכים בגלל הצורך להכניס יותר יחידות דיור בכל קומה. אם כן, באמצעות תכנון אדריכלי מתאים, שמוכוון למקסום הגג לטובת שימושים נוספים כמו ייצור אנרגיה, ניתן לתכנן למבנים הגבוהים גגות שיספקו יותר שטח אפקטיבי לייצור אנרגיה. רביעית, במבנים גבוהים ניתן לבחון אפשרות לייצור אנרגיה על גבי מעטפת הבניין, ולא רק על גבי הגג. שטח המעטפת החשוף לשמש בחזיתות הרלוונטיות גדול מאוד, ואף על פי שזווית הבניין מובילה לנצילות נמוכה יותר, ושתייתכן פגימה בנראות הבניין, השטח הגדול שכיום אינו מנוצל כלל יכול לשמש להגדלת השטח האפקטיבי לייצור אנרגיה.¹⁸

באופן כללי, כאשר תוטמע החשיבה שלפיה יש להתייחס לגגות מבנים כאמצעי ייצור שיש לנצלו עד תום, התכנון שלהם מראש יעשה יעיל יותר. בעתיד צפויה תחרות על שטחי הגגות בין שימושים שונים – ייצור אנרגיה פוטו-וולטאית, חימום

¹⁸ פאנלים המותקנים על גבי מעטפת הבניין כרוכים בעלויות אחזקה גבוהות יותר. עניין זה לא נבחן במסגרת המחקר.

מים תרמו-סולארי, ייצור אנרגיה באמצעות רוח, חקלאות עירונית ועוד. תחרות זו חשובה כדי לעודד התייעלות וצמצום בצריכת המשאבים.

בעיות אסדרה

במסגרת חסם האסדרה ניתן למנות מספר היבטים שונים:

- **חלוקת תקבולים בין מספר ישויות** – כאמור, במסגרת האסדרה הקיימת כיום, אין אפשרות לחלק את התועלת שנוצרת בגין המערכת הסולארית בין ישויות משפטיות שונות, קרי בין צרכנים שונים. על כן, האסדרה מוכוונת רק למבנים שיש בהם בעלים יחיד לכל המבנה (בתי מגורים פרטיים, מבני ציבור ומבני מסחר), ומותירה את הבתים המשותפים ללא פתרון. מאחר שרוב המבנים למגורים הם מבנים משותפים, ראוי לאפשר חלוקה של התועלת ממונה אחד שהמערכת רשומה עליו, למספר מונים שונים.
- **חלוקת תקבולים למונה אחר מהמונה שמערכת רשומה עליו** – כיום מגדיר הסדר 'מונה נטו' כי המערכת הסולארית צריכה להיות רשומה על מונה של צרכן שמייצר וצורך על בסיס אותו מונה. מגבלה זו אינה מאפשרת קיזוז וירטואלי (VNM), כלומר שהמערכת מייצרת עבור מונה אצל בעל הגג הסולארי, אבל מקזזת את המונה של דייר במבנה אחר. הדבר מתאפשר במדינות אחרות,¹⁹ ותלוי בעיקר בהחלטה של המאסדר כדי לאפשר סוג עסקאות שכזה.
- **מגבלות על הגדלת חיבור החשמל לטובת התקנת מערכת סולארית** – במקרים מסוימים, נדרש חיבור של מונה החשמל בבניין כדי לחבר את המערכת הסולארית. מקרים אלה צפויים להיות נפוצים במיוחד בבתים משותפים, שם המונה המשותף מיועד לצורכי חשמל קטנים מאוד (מספר נורות בחדר המדרגות).²⁰ חברת החשמל מגבילה את הגדלת החיבור, כך שתכליתו צריכה לשמש לצרכים חשמליים של הבניין ללא קשר למערכת הסולארית. נוסף על כך, במקרה של הגדלת חיבור, חברת החשמל דורשת "צינון" של שנה עד לחיבור המערכת הסולארית. מגבלות אלה עשויות להיות חסם בעיקר בבתים משותפים ישנים, שכן יש להם שטח גג גדול מספיק למערכת שמצריכה חיבור גדול,²¹ אולם מונה החשמל המשותף קטן בהתאם לצורכי החשמל הנוכחיים של הבניין.
- **היתר בנייה** – רפורמת "חוק הפרגולות"²² מאפשרת קבלת פטור מהיתר בנייה עבור מתקנים פוטו-וולטאיים. לצרכנים ביתיים, גובה הפטור הוא עד 15 קו"ט מותקן. רף זה נראה מתאים לצרכנים ביתיים במבנים צמודי קרקע, אולם בבניינים משותפים צפוי ששטח הגג הפוטנציאלי להתקנת מערכת יהיה גדול יותר, והוא עשוי לעבור את רף הפטור.

חסימי תכנון ועיצוב

הקמת גגות סולאריים במבני מגורים עדיין אינה קונצנזוס בקרב מתכנני ערים ואדריכלים. רוב הטענות המועלות כנגד ייצור של אנרגיה סולארית על גגות קשורות לפגיעה במרקם המקומי ופגיעה נופית ואסתטית. טענות אלה הן בגדר "על

¹⁹ המדינה המובילה בתחום זה היא ארה"ב (Center for Sustainable Energy, 2015).

²⁰ הכוונה למבנים משותפים קיימים. כיום, בבניינים משותפים חדשים צריכת החשמל בשטחים המשותפים נרחבת הרבה יותר, ולפיכך חיבור החשמל גדול יותר.

²¹ למשל חיבור תלת-פאזי של 45 אמפר.

²² חלק מתיקון 101 לחוק התכנון והבנייה.

טעם ועל ריח", וקשה להוכיח את צדקתו של צד אחד לעומת האחר. עם זאת, ניתן בהחלט לסבור כי ככל שמתקנים סולאריים על גגות יהפכו נפוצים יותר, כך ההתייחסות אליהם כפגיעה נופית תקטן.

סוגיה נוספת, שרלוונטית בעיקר במבני מגורים גבוהים, היא שימוש בקומה העליונה לטובת דירות פנטהאוז, ושימוש בגג לטובת דירות גדולות ויקרות שאינן מאפשרות שטח אפקטיבי להתקנה של מתקן סולארי. גם כאן נראה שמדובר בסגנון עיצובי המלווה את ישראל בשנים האחרונות, ואינו הכרח המציאות. ככל שהתאמת הגג למתקן סולארי תהא רוחנית יותר ליזמים המתכננים, כך צפוי שנראה גגות פנויים גדולים יותר, גם במגדלי מגורים.

כדי להתמודד עם חסמים אלה יש ראשית להעלות את הסוגיה לסדר היום בקרב אנשי המקצוע, משום שעצם קיומה של הדילמה לא מספיק מוכר בקרב האדריכלים. כמו כן, ניתן לעודד יזמים להתאים את הגג להתקנה של מערכות סולאריות באמצעות תמריצים ממשלתיים.

נוסף על כך, כלי אגרסיבי יותר המצוי בידי הממשלה לקידום התחום, הוא חיוב מאסדר של התאמת גגות להקמת מתקנים סולאריים. ניתן לעשות זאת קודם כול על ידי חיוב של גגות מבני ציבור ומבני מסחריים כדי לקדם את התחום, ובשלב מאוחר יותר על ידי חיוב ישיר של מבני מגורים.

ריבוי בעלים והעברת בעלות

במבני מגורים, למעט מבנים צמודי קרקע, המבנה הוא בבעלות משותפת של מספר ישויות. עניין זה מצריך הסכמה ושיתוף פעולה של צדדים רבים כדי לקדם מיזם סולארי על הנכס המשותף. כמו כן, הצורך בהסכמה מלאה של כלל דיירי הבניין עלול להוביל לבעיית "הדייר הסחטן" – מצב שבו כל דייר מבין שמתן הסכמתו תכריע את עתיד המיזם, ולאור זאת ינסה לסחוט את שאר הדיירים או את היום לקבלת תנאים טובים יותר. זו בעיה מסוג "דילמת האסיר", שבמסגרתה עומדת לפני הדיירים האפשרות לשתף פעולה ולהשיא את התועלת המשותפת או לסחוט ובכך להוביל לאי-ביצוע המיזם.

תנאי הכרחי לקיומו של מיזם משותף שכזה הוא שהתועלת לכל אחד מהפרטים המשתתפים תהא ברורה ומשמעותית. יש לציין כי מיזמים רבי משתתפים במבני מגורים כבר הוכיחו היתכנותם, ומתקיימים בצורות שונות כשבראשן ניתן למנות מיזמים במסגרת תמ"א 38 לחיזוק מבנים והוספת יחידות דיור. בדוגמת תמ"א 38 ניכר כי הרווח הצפוי לדיירים מהמיזם משמעותי ביותר (שיפוץ נרחב בדירה, הגדלתה או בעלות על נכסים נוספים), אולם המורכבות הלוגיסטית וחוסר הנוחות משמעותיים הרבה יותר במקרה זה לעומת מיזם של הקמת מערכת סולארית על גג המבנה.

כדי להגדיל את הסיכויים שהמיזם יתקבל בברכה על ידי הדיירים צריך שסיכויי המימוש שלו יהיו גבוהים, שהתכנון יהלום את צורכי הדיירים, ושהמיזם יבוצע במהירות עם מינימום פגיעה בחיי היום-יום של הדיירים (הקליניקה האורבנית, 2014). כמו כן, צריך שהמיזם הסולארי לא ימנע פיתוח עתידי של הבניין, למשל לטובת מיזם פינני-בינוי או הוספת קומות, ויש לוודא הסכמה על כך כבר טרם תחילת המיזם הסולארי.

בעיית בעלויות נוספת נובעת מכך שבעוד שהמערכת הסולארית מייצרת הכנסות לאורך כ-20 שנה, סביר להניח כי בבניינים משותפים הבעלות של הדירות משתנה בתדירות גבוהה יותר. 23 משמעות הדבר היא שבסבירות גבוהה מאוד, כלל הבעלים הנוכחיים של הבניין לא יישארו בעלי הבניין בתום תקופת החזר ההשקעה. הדבר מוביל לכך שלבעלים הנוכחיים אין אינטרס להשקיע במערכת שתחזיר עצמה לאחר זמן כה ממושך. בפרט, דייר חדש שרוכש דירה בבניין ובו מערכת סולארית פועלת ייחנה מהתקבולים שמייצרת המערכת, בעוד שהבעלים המקורי שהשקיע בהקמת המערכת לא ייחנה מהמשך התקבולים לאחר מכירת הדירה.

²³ הכוונה היא שלפחות דירה אחת בבניין מחליפה בעלים בטווח זמן של 20 שנה. ככל שיש יותר דירות בבניין, סבירות זו עולה.

ניתן לפתור בעיה זו בשני אופנים. ראשית, ניתן לבנות מנגנון חוזי שמעביר את התקבולים העתידיים לבעלי הדירות המקוריים גם לאחר המכירה של הנכס. שנית, מבני מגורים שנמצאים בבעלות של גוף מרכזי פותרים את הבעיה. מבנים כגון מעונות סטודנטים, דיור מוגן, מבני דיור ציבורי, מבנים לשכירות ארוכת טווח. במקרים אלה הבעלים של הנכסים נותר ללא שינוי לאורך שנים ארוכות, גם כשהדיירים מתחלפים.

חוסר ודאות לגבי מחיר החשמל ולגבי שינויי אסדרה

מאז שהחלו ההתקנות של מתקנים סולאריים בישראל, השתנתה האסדרה באופן ניכר. אמנם, האסדרה התעריפית יוצרת ודאות עבור מי שנכנס לאסדרה, משום שהתעריף קבוע לתקופה ארוכה מאוד, אולם התעריף עצמו השתנה בצורה דרמטית לאורך השנים, מה שהכניס חוסר ודאות לשוק עבור מתקנים פוטנציאליים. הסדר 'מונה נטו' המתבסס על קיזוז הייצור מהצריכה יוצר חוסר ודאות אחר, הגלום במחיר החשמל שעשוי להשתנות (כלפי מעלה או כלפי מטה) ולשנות את הרווחיות של המיזם בעתיד. כמו כן, הסדרים נוספים עשויים להיכנס לשוק הסולארי בעתיד, ובפרט בעקבות השינויים המבניים שעוברת רשות החשמל, המאסדר האחראי על השוק.

העובדה כי שוק האנרגיה בישראל הוא שוק רווי אסדרה, יחד עם השינויים התכופים שחוו הגורמים השונים בשוק במהלך השנים האחרונות יצרו חוסר ודאות שפוגע בהתפתחות התחום הסולארי בישראל. עם זאת, החל בשנת 2016 האסדרה התעריפית תחדל מסבסוד התעריף, ותותיר לכוחות השוק לקבוע את הכדאיות של מיזמים סולאריים. בעוד שהורדת הסובסידיה מפחיתה את האטרקטיביות הכלכלית, הדבר יוצר ודאות בשוק. כמו כן, על אף חוסר היכולת לחזות את השינויים במחירי החשמל, הם לא צפויים להשתנות בצורה דרמטית בשנים הקרובות, וניתן לבצע תחשיב עם ניתוח רגישות סביר למיזמים סולאריים. לפיכך, נראה שבעתיד תפחת רמת חוסר הודאות בשוק האנרגיה הסולארית בישראל.

חששות דיירים

לנוכח העובדה כי התקנה של מתקנים פוטו-וולטאיים על גבי מבני מגורים עדיין אינה נפוצה מאוד, פעמים רבות דיירים מעלים חששות מפני התקנת המערכת על הגג. ברוב המקרים, החששות נובעים מחוסר ידע בתחום.

החשש העיקרי הוא החשש מקרינה בלתי מייננת. בין אם משום שמדובר במכשיר חשמלי, ובין אם לאור הדמיון למיזם להקמת אנטנות סלולאריות על גגות מבני מגורים, דיירים נוטים לחשוש שהמערכת תפלוט קרינה שתסכן את בריאותם. בפועל, הפאנלים אינם קורנים כלל, והרכיב היחיד שמייצר שדה אלקטרומגנטי הוא הממיר, שממיר את הזרם החשמלי מזרם חילופין (AC) לזרם ישיר (DC). בממיר בעל הספק גבוה, עקרון הזהירות המונעת קובע כי יש להתקינו במרחק של 4 מטרים מאזור שהייה של אנשים בדרך קבע. אולם, הממירים הדרושים למערכות ביתיות קטנות קטנים בהרבה. לפיכך, ולאור שכלול הממירים בשנים האחרונות, יש לשמור על מרחק של חצי מטר בלבד מהממיר כדי לעמוד בהמלצות המשרד להגנת הסביבה (המשרד להגנת הסביבה, 2010).

מעבר להיבט הקרינה, עולים חששות הקשורים לפגיעת המערכת באיטום הגג, ובאפשרות לבצע תיקונים בגג במידת הצורך. אכן, הדבר הנכון לעשות מבחינה תכנונית היא לבצע איטום חדש לגג לפני התקנת המערכת. כיום ישנם פתרונות טכניים שונים כדי לבצע עיגון של המערכת לגג מבלי לפגוע באיטום, ובעלי מקצוע בתחום מסוגלים לבצע זאת ללא קושי מיוחד.²⁴ מאחר שמדובר במערכת חשמלית, לעיתים עולה חשש שמא דיירים העולים לגג עשויים להתחשמל מהמערכת או לחילופין להיפצע ממנה. שימוש סביר במערכת לא אמור לגרום שום נזק, זאת ועוד, קיימות פוליסות ביטוח העוסקות בתחום זה. חשש נוסף עשוי להיות קשור לעומס הפיזי שהמערכת מפעילה על הגג מפאת משקלה, אולם לא רק שמשקל הפאנלים

²⁴ בין היתר ניתן לבצע עיגון על ידי בלוקים, ביצוע האיטום מתחת לשכבת הבידוד ועוד.

והקונסטרוקציה נמוך, אלא שניתן לפתור זאת על ידי בדיקה פשוטה של מהנדס מוסמך. הפתרון להסרת החששות של הדיירים הוא הסברה והעברת ידע רלוונטי לציבור בתחום.

חוסר ביכולות אגירת אנרגיה

טכנולוגיית ייצור חשמל באמצעות אנרגיה סולארית אמנם מחליפה את הצורך בייצור חשמל ממקורות קונבנציונליים (דלקי מחצבים), אולם טכנולוגיות אלה אינן תחליפיות באופן מושלם. הסיבה לכך נעוצה בראש ובראשונה בעובדה שאנרגיה סולארית ניתנת להפקה רק בשעות היום, בעוד שאנרגיה המופקת ממחצבים ניתנת להפקה בכל שעות היממה. בעיה זו ניתנת לפתרון על ידי יכולות אגירה של האנרגיה בשעות היום, ופיזור השימוש לאורך היממה. אולם, עד כה לא נמצאו אפשרויות אגירה זולות לכמויות גדולות של חשמל, ועדיין נדרש גיבוי של ייצור אנרגיה ממקורות אחרים (בנק ישראל, 2015).²⁵

תכונה נוספת של אגירת אנרגיה היא שכיום עלות האגירה למגה-ואט עולה ככל שהמתקן גדול יותר. כלומר, פתרונות אגירה מורכבים לשדות קרקעיים גדולים מייקרים את המיזם למגה-ואט מותקן באופן ניכר לעומת הייקור של פתרון אגירה פשוט למתקן קטן הממוקם על גבי גגות. זה יתרון נוסף למתקנים המותקנים על גבי גגות לעומת מתקנים קרקעיים, שכן סביר שטכנולוגיות אגירה יחדרו לשוק המתקנים הקטנים לפני שוק המתקנים הגדולים, ועל כן יוכלו לממש את פוטנציאל האגירה משלב מוקדם יותר.

סיכום והמלצות

מדינת ישראל היא מדינה רוויה בקרינה סולארית, המצויה בסביבה העולמית של Grid Parity שעלות הייצור מאנרגיה סולארית נמוכה בה מעלות הייצור הקונבנציונליות. נוסף על כך, בישראל מלאי מבני מגורים בעלי שטחי גג פוטנציאליים משמעותיים שמנוצל באופן מזערי, וזאת על אף היתרונות הרבים הגלומים בייצור על גבי גגות, הן בהיבטים סביבתיים הן בהיבטים כלכליים וחברתיים. לפיכך, דרושים פתרונות שיאפשרו התקנת מערכות קטנות, ובפרט על גבי מבני מגורים משותפים בפריפריה.

לנוכח האסדרה הקיימת כיום בישראל, נבחנו חמישה מודלים שונים כפתרונות אפשריים. לכל מודל נקודות חוזק וחולשה שונות, הקשורות לרמת הישימות, להתאמה לאסדרה הקיימת, למורכבות הלוגיסטית, לפוטנציאל ההרחבה של ההתקנות ועוד. לאור הניתוח, המודל המתאים ביותר בישראל כיום באסדרה הקיימת הוא מודל הדיור הציבורי או מודל הרשות המקומית. עם זאת, התבססות על מודלים אלה בלבד אינה בת-קיימא, שכן הם מבוססים על מענקים (ממשלתיים או פילנתרופיה). כמו כן, מודל הדיור הציבורי מוגבל לייצור בגובה הצריכה של החברות המשכנות (במסגרת האסדרה הקיימת כיום). המודלים האחרים שנבחנו (ועד הבית, שותפות, וכלכלה שיתופית) צפויים לתת פתרונות רחבי היקף שיערבו כסף פרטי, והם מאפשרים צמיחה מהירה ללא תלות בממשלה. עם זאת, מודלים אלה מצריכים שינויים באסדרה הקיימת בישראל ופתיחת חסמים שאינם מאפשרים את קיומם כיום.

לרשות הממשלה אפשרויות שונות למתן תמריצים מימוניים לתחום האנרגיה הסולארית, ובפרט על גבי גגות מבני מגורים. כל הכלים שנבחנו מצריכים השקעה של תקציב ממשלתי, שחוזר לממשלה ברמות שונות ובזמני החזר שונים, שברובם מערבים גם כסף פרטי.

²⁵ יש לציין כי מידת התחליפיות בין ייצור של אנרגיה ממחצבים לייצור של אנרגיה סולארית תלוי בגורמים נוספים, ובראשם הצורך בעלויות הולכה של האנרגיה מאתרי ההפקה.

לאור האמור לעיל, להלן עיקרי ההמלצות לקידום תחום האנרגיה הפוטו-וולטאית במבני מגורים בישראל:

פעולות בטווח הקצר

- **התאמות האסדרה** – משק האנרגיה, ובפרט התקנת אנרגיה פוטו-וולטאית, רווי באסדרה, שבחלקה מיושנת או מגבילה. לפיכך, מתבקשים שינויים בהסדר 'מונה נטו' כדי לעודד את ההתקנות על גבי גגות מגורים. בראש ובראשונה יש צורך בשינוי האסדרה כך שתאפשר רישום של קיזוז החשמל מול גורם שונה מהגורם שבעלותו מונה החשמל של המערכת הסולארית. אפשרות זו תאפשר ביתר קלות חלוקת תקבולים לדיירי הבניין המשותף, וכן תיצור שוק ל'מונה נטו' וירטואלי. נוסף על כך, יש להגיע להבנות עם חברת החשמל, האמונה על אישורים פיזיים-חשמליים, כך שתאפשר שינויים במערכת החשמל בבניין לטובת התקנת מערכות פוטו-וולטאיות. בו-בזמן ניתן לעודד מדיניות העדפה למתקני גגות על ידי העלאת רף הייצור הפטור ממס והורדת רף ההתקנה שמצריך היתר בנייה.
- **קידום מיזמים על גבי נכסי המדינה** – המדינה בעלת נכסים רבים בבעלותה או בניהולה, לרבות מבני מגורים כגון דיור ציבורי, מעונות סטודנטים ועוד. לנוכח הראשוניות של שוק ההתקנות של מערכות קטנות על גגות מבנים, ראוי כי הממשלה תנצל את כוחה כמייצרת ביקושים בשוק, ותזום מיזמים מסוג זה על נכסיה. כך ייפתח חסם הראשוניות וחוסר הניסיון בקרב אנשי המקצוע. הוכחת ההיתכנות של מיזמים כאלה תסיר מידה רבה מחוסר הוודאות הקיים כיום בהתקנות במגזר הבתים המשותפים.

פעולות בטווח בינוני-ארוך

- **הקמת קרן מחזורית** – מומלץ כי הממשלה תבצע הוצאה תקציבית חד-פעמית לטובת מתן הלוואות או התקנת מתקן ראשוני שיגדל באמצעות תקבולי המערכת מדי שנה, שיופנו להתקנה של מתקנים נוספים. גודל המתקן הראשוני ומבנה ההשקעה במיזם (תמהיל הון-חוב-מענק) ייקבעו לפי יעדי הייצור ובהתאם להיקף התקציב הפנוי. מומלץ לרתום שותף ציבורי גדול נוסף למיזם מסוג זה שברשותו נכסים פיזיים רבים, ולבצע את ההתקנות על גבי נכסים שמנוהלים על ידי גורם מתכלל אחד.
- **מתן הטבות מס** – כיום התועלת הנוספת מייצור חשמל במתקני גגות אינה באה לידי ביטוי בתחשיב של המיזם, והתועלת החיצונית אינה מופנמת במחיר. במצב כזה, התחרות של האנרגיה הסולארית מול טכנולוגיות אחרות "אינה הוגנת". מתן סובסידיה בגובה התועלת לקו"ט מותקן תהא יעילה יותר למשק. הדבר מצריך בנייה של מתודולוגיה סדורה לכימות גובה הסבסוד ומנגנון מיסוי יעיל ופשוט.
- **הסברה והעלאת המודעות של הציבור** – לאחר טיפול בבעיות האסדרה וביצירת ניסיון של השוק בהתקנות על גבי גגות מגורים, צריך שהציבור יתוודע לנושא ביתר שאת. בכל תרחיש נדרשת לכל הפחות הסכמתו, או יוזמתו של ציבור הדיירים בבניינים המשותפים כדי להקים מתקנים סולאריים על הגג שברשותם. כיום אין מספיק ידע לצרכני הקצה על אודות האפשרות להתקין מערכת בבתי משותפים, והיא נותרה נחלתם של בתים צמודי קרקע. לפיכך, דרושה פעילות הסברה שתעורר את הנושא ותעלה אותו על סדר היום.

ביבליוגרפיה

- אריאב י' ואמיר מ'. 2011. תעשיית האנרגיה הסולארית בישראל – תמונת מצב מעודכנת. בנק ישראל. 2015. "השימוש באנרגיות מתחדשות בישראל" בתוך ההתפתחויות הכלכליות בחודשים האחרונים אפריל עד ספטמבר 2015. חטיבת המחקר.
- חברת החשמל. 2011. דין וחשבון סטטיסטי.
- כרמון ע'. 2015. פיתוח כלים פיננסיים לקידום בנייה ירוקה בישראל. מרכז מילקן לחדשנות, מכון ירושלים לחקר ישראל. הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2012. סקר הוצאות משקי בית.
- המועצה הארצית לתכנון ולבנייה. 2010. תכנית מתאר ארצית למתקנים פוטו-וולטאיים – תמ"א 10/ד/10, החלטות מוסדות התכנון.
- המועצה הלאומית לכלכלה. 2013. דוח הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות. המשרד להגנת הסביבה. 2010. ייצור אנרגיה חשמלית בטכנולוגיה פוטו-וולטאית.
- המשרד להגנת הסביבה. 2015. בחינת פוטנציאל להפחתת פליטות גזי חממה והמלצה ליעד לאומי לישראל.
- המשרד להגנת הסביבה. 2015. תמהיל הבנייה למגורים בישראל.
- הקליניקה האורבנית. 2014. היבטים חברתיים בפיוני בנייה.
- הרשות לשירותים ציבוריים חשמל. 2012. החלטה מספר 10 מיישיבה 983 מיום 25.12.2012 הסדר לייצור חשמל מבוזר באנרגיה מתחדשת – בשיטת "מונה נטו".
- הרשות לשירותים ציבוריים חשמל. 2015. מתודולוגיה לקביעת הסדרת "עודפים" למתקני ייצור חשמל לצריכה עצמית באמצעות מתקנים פוטו-וולטאיים.
- משרד הפנים. 2015. תכנית מתאר ארצית למתקנים פוטו-וולטאיים 10/ד/10 – בחינה בחלוף 4 שנים מאישורה. מנהל התכנון, אגף תכנון ארצי.
- משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים. 2016. כנס אנרגיית העתיד 2020; 31 במרץ 2016; תל-אביב.
- משרד ראש הממשלה, מזכירות הממשלה. 2015. החלטת ממשלה 542 – הפחתת פליטות גזי חממה וייעול צריכת האנרגיה במשק. עמידר. www.amidar.co.il. [נצפה ב-1 במאי, 2016]
- רשות החשמל. 2015. דו"ח מצב משק החשמל לשנת 2015.
- שלאין, א', נאור נ' ודרסלר ר'. 2010. מדיניות המועצה הארצית לקידום הקמת מתקנים סולאריים לייצור חשמל. משרד הפנים.
- Grid Parity. 2014. TASC בישראל – האומנם?.
- Bloomberg New Energy Finance. 2013. *World Energy Perspective: Cost of Energy Technologies*.

- Center for Sustainable Energy. 2015. *Virtual Net Metering Policy Background and Tariff Summary Report*.
- EurObserv'ER. 2015. Photovoltaic Barometer.
- Gagnon. 2016. Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential in the United States: A Detailed Assessment.
- IEA. 2011. Solar Energy Perspectives. International Energy Agency.
- IEA. 2014. Technology Roadmap — Solar Photovoltaic Energy. International Energy Agency.
- IEA. 2015. Trends 2015 in Photovoltaic Applications. International Energy Agency.
- IRENA. 2013. Renewable Energy and Jobs. International Renewable Energy Agency.
- Navigant. 2015. California Solar Initiative SASH MASH Impact and Cost Benefit Analysis 2011—2013. California Public Utilities Commission.
- NPD. 2014. Solarbuzz UK Deal Tracker Report.
- Van der Hoeven, M. Technology Roadmap — Solar Photovoltaic Energy (report). International Energy Agency.
- Vardimon, R. 2010. Assessment of the Potential for Distributed Photovoltaic Electricity Production in Israel.
- World Economic Forum. 2010. Green Investing: Policy Mechanisms to Bridge the Financing Gap.

נספחים

נספח א' – השפעת מבנה ההון של צד הממשלה במיזם על גודל המיזם

לשם המחשת שקלול התמורות (trade-off) בין גובה הווייתור של הממשלה על הכנסות לבין היקף המיזם, נציג דוגמה למיזם המתבסס על ההנחות בנספח ב'.

נניח כי מצד המשקיעים הפרטיים ניתן רק הון (Equity), ונבדוק מה יהיה גובה ההשקעה מצד המשקיעים כתלות בשינויים במבנה ההון מצד הממשלה. נבחן שישה מבני הון מייצגים בלבד, אולם כאמור, ניתן לבצע מיזם בכל תמהיל המערב הון, חוב ומענק מצד הממשלה.

הגדלים שיישארו קבועים במודל הם גובה ההשקעה הממשלתית, וכן שיעור התשואה הפנימי (IRR) עבור המשקיעים הפרטיים. גובה ההשקעה הממשלתית יעמוד על 40 מיליון שקלים, כשבכל תרחיש ישנתה שיעור ההון, החוב והמענק מסך השקעה זו. ה-IRR למשקיעים הפרטיים יישאר קבוע בכל התרחישים, וזאת מתוך הנחה כי ה-IRR הוא מדד למידת האטרקטיביות של המיזם. כלומר, בכל אחד מהתרחישים נבדוק מהו היקף ההון הפרטי שהממשלה מצליחה למשוך למיזם כך שמידת האטרקטיביות שלו תיוותר זהה.

ראשית נבחן את מידת האטרקטיביות של המיזם כאשר הממשלה משקיעה הון בלבד. במצב זה, הממשלה והמשקיעים הפרטיים ייהנו מ-IRR זהה, ששווה לגובה ה-IRR של המיזם. לפי ההנחות שנלקחו, שיעור זה עומד על 9.85%. יש לציין כי תרחיש זה הוא התרחיש היחיד שבו גובה ההשקעה הפרטית אינו תלוי בהשקעה הממשלתית, שכן ה-IRR ייוותר זהה לכל גובה השקעה. לכן, נניח לשם פשטות כי המיזם יוכל למשוך השקעות הגבוהות פי 3 מגובה ההשקעה הממשלתית, קרי, 120 מיליון שקלים.

כעת נבחן חמישה מבני הון נוספים של הממשלה: הון-חוב ביחס 50-50, חוב בלבד, חוב מענק ביחס 90-10, חוב-מענק ביחס 50-50, ומענק בלבד. עבור כל אחד מהתרחישים נשמור על IRR הקרוב ביותר הניתן ל-IRR של תרחיש הבסיס, ושינוי של לא יותר מעשירית האחוז. טבלה 2 מסכמת את התוצאות.

טבלה 2 – השפעת מבני הון שונים מצד הממשלה על היקף המיזם

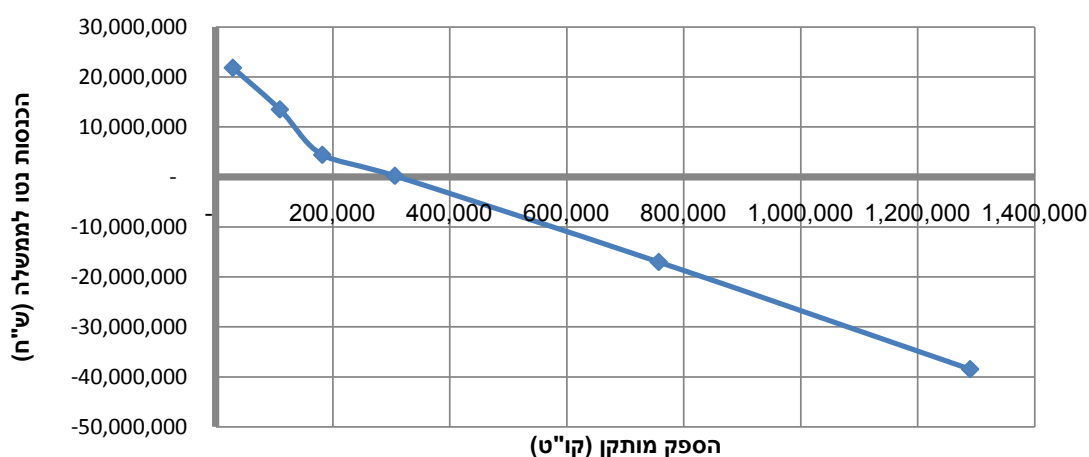
	מענק וחוב 50-50	מענק וחוב 10-90	חוב בלבד	חוב והון 50-50	הון בלבד	
7,050,260,434	4,122,959,318	1,642,613,274	960,592,558	561,750,034	120,000,000	גובה הון פרטי
40,000,000	40,000,000	40,000,000	40,000,000	40,000,000	40,000,000	השקעה ממשלתית (קבוע)

טבלה 2 – השפעת מבני הון שונים מצד הממשלה על היקף המיזם (המשך)						
מענק בלבד	מענק וחוב 50-50	מענק וחוב 10-90	חוב בלבד	חוב והון 50-50	הון בלבד	
-	-	-	-	20,000,000	40,000,000	גובה הון ממשלתי
-	20,000,000	36,000,000	40,000,000	20,000,000	-	גובה חוב ממשלתי
40,000,000	20,000,000	4,000,000	-	-	-	גובה מענק ממשלתי
7,090,260,434	4,162,959,318	1,682,613,274	1,000,592,558	601,750,034	160,000,000	סך כל התקציב להתקנות
1,289,373	757,039	305,985	181,959	109,429	29,096	סך כל ההספק מותקן
15,472,472	9,084,472	3,671,824	2,183,508	1,313,148	349,154	סך כל השטח הנדרש
65,852	38,664	15,627	9,293	5,589	1,486	סך כל מספר הבניינים במיזם
-38,461,538	-17,019,469	219,956	4,422,601	13,503,805	21,838,824	רווח נקי לממשלה (NPV)
9.94%	9.93%	9.93%	9.94%	9.92%	9.85%	למשקיע פרטי (IRR)

מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

ניתן לראות כי ככל שהממשלה בוחרת מבנה הון שבו היא מוותרת יותר על הכנסותיה מהמיזם, כך היא מצליחה למשוך יותר השקעות פרטיות ולהגדיל את היקף המיזם. בתרחישים המערבים הון וחוב בלבד, הממשלה גורפת רווחים מהמיזם, וככל שהיא נוטה יותר לחוב, כך רווחים אלה קטנים. בתרחישים המערבים חוב ומענק יש לממשלה הכנסות שליליות מהמיזם. בתמהיל של 90% חוב ו-10% מענק, הממשלה מגיעה כמעט ל-NPV אפס.

גרף 5: דוגמה לשינויים בהיקף המיזם כתלות בהכנסות הממשלה נטו



מקור: מרכז מילקן לחדשנות, 2016.

טבלה 3: הנחות נוספות למודל

הערות	פרמטר	יחידות	משתנה
מתייחס לבניין עם שטח גג ברוטו של 500 מ"ר	235	מ"ר לבניין	שטח גג פוטנציאלי ממוצע להתקנת מערכת סולארית לבניין
	12	מ"ר לקו"ט מותקן	שטח דרוש ל-1 קו"ט מותקן
	4%	%	ריבית היוון
	8%	%	ריבית על החוב הממשלתי
	5	שנים	תקופת הלוואה
שיעור מגובה הרווחים	10%	%	מיסוי

הנחות נוספות מעבר לאלה המוצגות בנספח ב'.

26

נספח ב' – הנחות

להלן הנחות כלליות לנתונים במסמך:

משתנה	יחידות	פרמטר	הערות
עלות קו"ט מותקן (כולל מע"מ)	ש לקו"ט	5,500	כולל עלויות התקנה
תפוקה שנתית	קוט"ש לקו"ט מותקן לשנה	1,700	
עלות תחזוקה שנתית לקו"ט (כולל מע"מ)	ש לשנה	100	כ- 2% מעלות ההתקנה
ירידת תפוקה שנתית למתקן	% לשנה	0.4%	ירידה לינארית קבועה בגובה זה מדי שנה
ערך החשמל המיוצר בתעריף תעו"ז מתח נמוך (ללא מע"מ) ל-1 קו"ט	אגורות (ש/100)	48.24	ממוצע משוקלל לפי עונות ותעריפי שפל, גבע ופסגה
ערך אבדן, תעריף איזון ועלות הזרמה לרשת (ללא מע"מ) ל-1 קו"ט	אגורות (ש/100)	5.88	

מכון ירושלים לחקר ישראל
מרכז מילקן לחדשנות
רחוב רד"ק 20 ירושלים 9218604
משרד: 02-5630175 (שלוחה 34)

www.milkeninnovationcenter.org
www.jiis.org.il

