



מהי ההשפעה של התקנת מערכות חשמל סולארי על משקי
הבית וכלכלת ישראל וכיצד פועלת ממשלת ישראל לצורך קידום
היעדים המדיניים והגלובליים.

מנחה: ד"ר טלי רגב

מגישים:

גיא אפשטיין - 313248049

ריף נאוי - 206056343

תוכן עניינים

1.	תקציר מנהלים.....	3
2.	מבוא	4
2.1	שאלת המחקר	4
2.2	חשיבות שאלת המדיניות.....	4
3.	סקירת הספרות.....	5
4.	שיטות המחקר	6
5.	ניתוח עלות תועלת כלכלי למשק בית בישראל	7
5.1	הנחות מקדימות לסימולציה.....	7
5.2	תעריפי החשמל	7
5.3	עלויות התקנת מערכת פאנלים סולארית על גגות בתים	8
5.4	עלויות תפעול שוטפות ופחת.....	9
5.5	הכנסות	9
5.6	הטבות מיסוי ורגולטוריות	9
5.7	מימון	10
5.8	אפקט ההצללה	10
6.	השלכת הממצאים על אוכלוסיית ישראל	12
6.1	שטחי גגות וחזית פוטנציאליים בישראל.....	12
6.2	חסכון בעלויות הולכה ואיבוד חשמל.....	12
6.3	חסכון בדלקים וחסכון בהון	13
6.4	תועלת מצמצום פליטת גזי חממה וזיהום אוויר	14
6.5	ערך הקרקע והשטחים הפתוחים.....	15
7.	מדיניות לקידום ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות והפחתת פליטות	15
8.	סיכום	17
9.	ביבליוגרפיה ומקורות	18
10.	נספחים	19

1. תקציר מנהלים

מדינת ישראל מספקת בעצמה את כל הביקוש המקומי לחשמל, זאת בנוסף למרבית הביקוש בגדה המערבית וחלק מן הביקוש בעזה. הביקוש לאנרגיה גדל משנה לשנה וצפוי לגדול בעשרות אחוזים במשך העשור הקרוב (דו"ח מצב משק החשמל, 2020). גידול זה מצביע על הצורך בהרחבת הספק ייצור החשמל במשק הישראלי. לא רק הביקוש הגובר לאנרגיה מהווה דחף, אלא גם יעדי הממשלה לצמצום פליטות מזהמים לאטמוספירה מהווים דחף להגברת השימוש באנרגיות מתחדשות. עד כה, מרבית ההספק הסולארי הגיע ממתקנים הנמצאים על הקרקע, אך על מנת לעמוד ביעדים שהוצבו, לא נוכל להמשיך להסתמך בעיקר על מתקנים אלו, כאשר הפתרון נמצא מעל ראשנו – גגות הבתים.

נייר מדיניות זה בא לבחון את השפעת מתקני גגות סולאריים על משקי הבית בישראל ואת החיסכון המצרפי הטמון בהתקנת מערכות אלו. רצינו לבדוק האם מתקני הגגות טובים בחובם ערך נוסף למשק האנרגיה, וכיצד ניתן להביא למיצוי את ערך זה. בשלב הראשון בדקנו אילו מגמות חלו בתחום האנרגיות המתחדשות בשנים האחרונות ומהם מרכיבי העלויות לייצור אנרגיה זו. כמו כן, ביצענו ניתוח רגישות למרכיבי העלויות על מנת לבחון השפעת שינויים שעלולים להתרחש בעתיד. לאחר איסוף ועיבוד הנתונים, ביצענו סימולציה מסוג Cost-Benefit Analysis בה הצלחנו לראות את כדאיות ההשקעה עבור משקי בית ישראל.

בשלב השני השלכנו את ממצאי הסימולציה למשק בית על האוכלוסייה הרחבה בישראל, וזאת על מנת לבחון כדאיות כלכלית מצרפית מהשקעה בפאנלים סולאריים על גגות בתים. מצאנו כי במספר תחומים הקשורים למשק האנרגיה, ניתן לבצע התייעלות שתוביל לחסכון כלכלי גדול במשק האנרגיה.

בשלב השלישי בצענו בחינה של כלי מדיניות הנוגעים בהתייעלות אנרגטית וזאת על ידי סקירת מאמרים והשוואה בין לאומית. מצאנו כי חל שיפור ניכר באופן הטיפול של מדינת ישראל בבעיה זו, וכי יושמו מספר רב של כלים מדיניים המאפשרים את פתרון הבעיה. בכתב זה הבאנו המלצות לכלים מדיניים נוספים אותם ניתן ליישם בישראל, אשר יקדמו את המדינה צעד אחד קרוב יותר לעבר הצלחה בעמידה ביעדים שהציבה ממשלת ישראל.

שינויי האקלים הם גורם מרכזי המעצב כיום את המציאות במזה"ת והשלכותיו כבר מורגשות והן תלכנה ותגברנה בשנים הקרובות בהעדר מענה מתאים מצד הממשלות המקומיות. עניין זה מציב בפני ישראל סיכונים רבים אך גם הזדמנויות. על ישראל לדעת להיערך למציאות החדשה שנוצרת כדי שתוכל לצמצם את הסיכונים ולמקסם את הסיכויים. במציאות של משבר אקלים גובר ישראל תתקשה מאוד לתפקד ללא שיתוף פעולה אזורי, תמיכה וחיזוק מכוון כחלק ממדיניות אסטרטגית רחבה, הכוללת חינוך והסברה, מתן תמריצים והקלות, בייחוד למשקי הבית הפרטיים אשר מהווים תפקיד מפתח להשגת יעדי המדיניים של ממשלת ישראל, תוך כדי פגיעה מזערית בשטחים פתוחים ושמירה על משאבי טבע. כמו כן, יש להטמיע את סוגיית משבר האקלים בתפיסת הביטחון האזורי הכוללת.

2. מבוא

2.1 שאלת המחקר

עיצוב משק האנרגיה הינה אחת הסוגיות הבולטות העומדות במרכז תשומת הלב של מקבלי ההחלטות בעולם. נושא זה מעסיק מדינות מפותחות ומתפתחות כאחד והינו בעל השפעה מכרעת על האיום הגדול ביותר של כדור הארץ, משבר האקלים. בעקבות כך אנו נרצה לבחון מהי ההשפעה של הקמת מערכות חשמל סולארית על כלכלת ישראל ומשקי הבית וכיצד פועלת ממשלת ישראל לצורך קידום היעדים המדיניים והגלובליים.

2.2 חשיבות שאלת המדיניות

המניע העיקרי לשימוש באנרגיות מתחדשות נוגע לבריאות ולאיכות הסביבה, בכך שלרוב הוא אינו פולט לסביבה חומרים רעילים ו/או חומרים הגורמים להתחממות כדור הארץ. התגברות המודעות לאיכות הסביבה בעשורים האחרונים, והצטברות הנתונים על התחממות כדור הארץ בשנים האחרונות, גורמת להתגבשותן של נורמות בינלאומיות לגבי הקטנת הפליטה של מזהמים לסביבה והגברת הנטייה להרחבת ניצול אנרגיות אלו. על אף ששימוש באנרגיות מתחדשות אינו פולט מזהמים אין משמעות הדבר שהשימוש בהן כלל אינו כרוך בהשפעות חיצוניות שליליות. התרחבות הביקוש לאנרגיות מתחדשות התניעה תהליכים של התייעלות טכנולוגיות והגברת התחרות, ואלה מצדם מביאים לירידה בהוצאות על הפקתן.

מניע אפשרי נוסף לשימוש באנרגיות מתחדשות והוא קשור לביטחון האנרגטי של מדינות. השימוש באנרגיות המתחדשות יכול להגדיל את הביטחון האנרגטי של מדינות שאין להן משאבים של אנרגיה פוסילית. אך יש לזכור שאופן ייצורן של אנרגיות מתחדשות והעלויות הכרוכות בייצור תלויים בתנאי האקלים והשטח של כל אזור. כמו כן, יש חשיבות רבה להשפעתם של שינויים טכנולוגיים. שינויים אלו הביאו לירידה בעלות המתקנים הסולאריים וכך גרמו למשקי בית פרטיים לרצות ולהפיק חשמל באופן עצמאי, דבר שיחסוך להם בעלויות ואף יגרום להם להכנסה נוספת.

הוזלת תהליכי הייצור של אנרגיה מתחדשת על פני זמן מאפשרת לעשות זאת עתה במחיר זול יחסית לעבר, הדבר מלמד שיש הגיון באימוץ הדרגתי של טכנולוגיות חדשות. התקדמות הדרגתית אך עקבית גם תאפשר לפתח את היכולות הנדרשות לשילוב האנרגיות המתחדשות במערך אספקת החשמל בישראל.

כיום, בשל חוסר עידוד ותמרוץ החלופות, נוצר פער בהבנה של משקי הבית לאלטרנטיבות הקיימות. עד כה לא נעשו קמפיילים משמעותיים בתקשורת בדבר היתרונות הרבים בהקמת פאנלים סולאריים על הגגות. על הממשלה לעודד את הציבור להתקין פאנלים סולאריים, ונוסף על כך, עליה לתת דוגמה לשימוש בפאנלים סולאריים על מבנים ומתקנים המשמשים אותה.

נרצה להציג את הפוטנציאל הגלום באנרגיה הסולארית עבור כל משק בית, דבר שכיום נראה רחוק לתושבים רבים. אנו עובדים בשיתוף פעולה עם חברות בתחום האנרגיה הסולארית על מנת לשפוך אור בצורה מיטבית על יתרונות חלופה זו. אנו ננתח את העלויות של כלל החלופות הקיימות ובמקביל נבצע השוואה אשר תראה מדוע אנרגיה סולארית היא פתרון נכון מבחינה כלכלית הן ברמת המיקרו (עבור משקי הבית) והן ברמת המאקרו (מדינת ישראל והעולם).

3. סקירת הספרות

כיום רוב האנרגיה בעולם מיוצרת בתהליכים הכוללים שריפת דלקים מתכלים כמו נפט, פחם וגז. תהליך זה גורם לפליטת גזים מזהמים לחלל האטמוספירה, לחימום כדור הארץ ושינויי אקלים. על פי דוח שפורסם ע"י הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה מתחדשת, כשני שליש מהפליטות הגלובליות של גזי חממה מופקים בעת יצירת אנרגיה. כמענה לבעיה זו, עולה הצורך בהגברת השימוש באנרגיה מתחדשת (IRENA, 2019), אנרגיה זו מופקת בתהליכים טבעיים ממקורות שאינם מתכלים, ובהם אנרגיה סולארית המופקת מאור השמש. כאשר ברקע ועידת האקלים הבינלאומית, עולה החשיבות של מעבר לאנרגיה ירוקה שאינה מזהמת.

מדינות רבות ומשקי בית בפרט, מנסים למצוא חלופות לייצור אנרגיה לשם התייעלות סביבתית וגם כלכלית. מדינות העולם הציבו יעדים אופטימיים, כאשר ישראל הייתה שותפה והתחייבה להפסיק לפלוט גזים מזהמים עד שנת 2050 עם זאת יש לזכור כי עד כה ישראל לא עמדה ביעד שהציבה לעצמה לשנת 2020 והוא 10% של ייצור אנרגיה מתחדשת מסך הייצור במשק. בפועל השיעור עמד על 7% (גוטגליק, נחמיה, מקונן, & ארן, 2020)

בעקבות זאת, ישראל החלה לחפש אלטרנטיבות ושיתופי פעולה עם מספר מדינות לצורך התייעלות אנרגטית. לצורך מטרה זו חתמה על הסכם היסטורי בינה לבין ירדן ואיחוד האמירויות. במסגרת ההסכם תוקם תחנת כוח סולארית במדבר הירדני לייצור חשמל אשר ישווק לישראל ובתמורה תקדם ישראל הקמה של מתקן התפלת מים שיתמוך בירדן הסובלת ממצוקת מים קשה. לכל אחת מן המדינות יתרון יחסי ובשיתוף פעולה יוכלו לשפר את מצב המשק ואיכות החיים של התושבים בה (גל, סנדלר, חאלאסה, & אבו חאמד, 2021). שיתוף פעולה זה מציג את החשיבות הרבה שיש לייצור אנרגיה סולארית ולהתפתחות היחסים הדיפלומטיים במזרח התיכון תחת מטרה משותפת.

אנרגיה סולארית מופקת גם בישראל, מדינה המאופיינת במספר רב של ימי שמש בשנה. לפי סקירה שעשה מרכז המחקר והמידע לכנסת, בעשור האחרון עלויות ייצור האנרגיה נמצאות במגמת ירידה מתמדת ומחיר המכירה של פאנלים סולאריים ירד בעולם ב-90% (2020). כפועל יוצא, אנרגיה סולארית פוטו-וולטאית (אנרגיה המופקת ישירות מאור השמש) היא מקור האנרגיה המתחדשת האטרקטיבית ביותר מבחינת המחיר, גם בהשוואה לאנרגיות מדלקים מאובנים.

ועדיין, מדינת ישראל יכולה להפיק יתרונות רבים ממעבר לאנרגיה סולארית (פרידמן, 2021) כך למשל, לשימוש באנרגיה הסולארית יש יתרון ביטחוני, הבא לידי ביטוי

בעצמאות האנרגטית של מדינת ישראל. למעשה, תוכל ישראל להפחית משמעותית את התלות שלה בממשלות ויצרני דלקים אשר מספקים לה כיום את הביטחון האנרגטי. תוספת של אנרגיה סולארית עשויה להוות גיבוי במקרה של פגיעה במקורות אנרגיה נוספים. מהלך שכזה יוביל הן להתייעלות ביטחונית והן להתייעלות כלכלית. כך השקעה בפרויקטים כאלו תשפר את מצב המשק.

יתרון נוסף להקמת מערכת סולארית הינו הקשר בין ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת לצמיחה כלכלית ושינויים בכוח העבודה במשק במדינות מפותחות ומתפתחות. ככל שתחום האנרגיה הסולארית מתפתח נפתחות יותר חברות ונוצרים יותר מקומות עבודה עבור תושבים רבים. נמצא כי ישנו קשר סטטיסטי חיובי מובהק בין גידול בייצור חשמל מאנרגיה סולארית לצמיחה כלכלית, הבא לידי ביטוי בצמיחה בכוח העבודה ובמבנה ההון של המשק, בעיקר עבור מדינות מתפתחות (Singh, Nyuur, & Richmond, 2019)

על אף היתרונות הרבים של המעבר לייצור אנרגיה סולארית, יש לו גם חסרונות. במעבר זה גלומים קשיים וחסמים כגון צורך בסיסי בתנאי מזג אוויר ראויים, השימוש בשטחים נרחבים, מדיניות עידוד ממשלה, השקעה בפיתוח רשת החשמל וכיוצא בזה.

במחקר שבוצע עבור המשרד להגנת הסביבה הובאו הוכחות לחוסר היעילות של משק החשמל בישראל, כאשר אילו היו מנצלים 80% מסך השטח המבונה בישראל לצורך הפקת אנרגיה סולארית, ניתן היה כבר היום לספק 46% מסך ייצור החשמל בישראל מאנרגיה נקייה (פרואקטור, ואחרים, 2020)

4. שיטות המחקר

את שאלת המדיניות אנו נבחן בעזרת סקירת מאמרים אקדמיים והשוואה בין לאומית. שיטות מחקר אלו יעזרו לנו להבין בצורה טובה יותר את מרכיבי השאלה. תחילה, אנו נבחן את הכדאיות של הפקת אנרגיה סולארית, על ידי ניתוח מאמרים אקדמיים ומחקרים שבוצעו על ידי גופים רשמיים וממשלתיים. אנו ננתח את העלות של הפקת אנרגיה סולארית. כחלק מבדיקת העלויות הכלכלית, נרצה לקחת בחשבון את בחינת עלות הקמת מתקן להפקת האנרגיה, למשל גודל הבניין והמערכת, עלות ייצור האנרגיה, עלות שוטפת לתפעול המתקן ואת עלות הולכת האנרגיה עד ליעדה הסופי, כגון הקמת רשת הולכה ואיבוד חשמל. לכל אלו השפעה ישירה על מחיר החשמל הסופי, נתון מהותי לצורך ביצוע השוואה כלכלית. אנו נבחן את ההכנסות הצפויות מתהליך זה דרך סך התפוקה (קוט"ש לשנה) והתעריפים אותם משלמות חברות האנרגיה. נבצע בחינת עלות-תועלת מראית הפרט של השקעה אל מול עלויות הקמה, תפעול ופחת. פרמטרים אלו יעזרו לנו לנתח האם אכן פעולה זו הינה רווחית למשקי הבית ולכלכלת ישראל. אנו נאסוף מידע זה גם דרך חברות בתחום האנרגיה הסולארית אשר רוצות לעזור ולקדם פרויקטים. בחרנו בפרמטרים שצוינו לעיל מהסיבה שדרכם אפשר לראות בפשטות כדאיות כלכלית למשקי הבית ותועלת מצרפית. אנו נציג גם את השינויים הטכנולוגיים וההוזלות בייצור החשמל במהלך השנים. אנו נרצה ליישם בחינה זו גם על מדינות נוספות בהן תחום האנרגיה הסולארית מפותח יותר מישראל. מהלך זה יוכל לתרום לנו להבנה אילו צעדים ניתן לנקוט על מנת ליעל את משק האנרגיה בישראל. לאחר הבחינה

הכלכלית, נרצה ליישם את המסקנות שמצאנו לצורך קידום היעדים הגלובליים שהציבה ממשלת ישראל בתחום האנרגיות המתחדשות.

בבחינת היעדים הממשלתיים שהציבה ממשלת ישראל, אנו נעזר בשיטת מחקר של השוואה בינלאומית, על ידי סקירת מאמרים ומחקרים שבוצעו עבור מדינות בעולם. נרצה להתמקד בעיקר במדינות ה-OECD אשר פועלות רבות לצמצום השימוש שלהן בדלקים מזהמים וכן להן רמת חיים ומאפיינים כלכליים דומים לאלו של מדינת ישראל. השוואה זו תעזור לנו למקד את ההצעה שלנו, כיצד נכון יהיה לממשלת ישראל לקדם את יעדיה. נרצה להתמקד בניתוח זה במדיניות ממשלתית 'Green Policy' ואילו תמריצים והקלות יש לקדם בישראל כדי להתאים את עצמה ליעדים העולמיים שנקבעו. בנוסף, לצורך קידום היעדים, אנו נבחן מהו הפוטנציאל הגלום בתשתיות הקיימות כיום, כגון שטח גגות פנוי לפאנלים סולאריים ושיתוף פעולה אנרגטי עם המדינות השכנות לנו. בחינה זו תעזור לנו לנתח באיזה אזור פעולה יש להתמקד לצורך מקסום היעדים.

5. ניתוח עלות תועלת כלכלי למשק בית בישראל

5.1 הנחות מקדימות לסימולציה

לצורך הסימולציה לבחינת הכדאיות הכלכלית למשק בית בישראל מהתקנת מערכות פאנלים סולאריים על גגות בתים, יש להניח מספר הנחות מקדימות שישמשו אותנו בתחשיב הסופי.

- תפוקת המערכת הסולארית נמדדת בשוק לפי יחידת בסיס של פאנלים סולאריים בהספק נקוב של 1 קילו-וואט מותקן. שטחה של יחידה כזו נע בין 6-8 מ"ר, כאשר השטח הנדרש בפועל נע סביב 10 מ"ר, מאחר ויש להותיר מרווחים בין שורות הפאנלים.
- אורך חיי אפיק ההשקעה במערכת סולארית הינו 25 שנים, ללא ערך שייר בתום הזמן.
- שיעור היוון תקבולי ההכנסות מהשקעה = 2.96% (בהתאם לשיעור הנדרש על המימון)
- תפוקה שנתית של מערכת בהספק מותקן של 1KWp היא 1,600-1,800 קוט"ש. המספר המדויק תלוי במיקום הגיאוגרפי בשטחה של מדינת ישראל, וגורמים נוספים המשפיעים על התפוקה כגון כיוון הגג, הצללות, וזווית הגג. לצורך התחשיב נלקחה תפוקה ממוצעת של 1,700 קוט"ש (KWh) לשנה בהספק מותקן של 1KWp, וזאת בהתאם להנחות חברת החשמל.

5.2 תעריפי החשמל

בתאריך 11/01/2021 פרסמה רשות החשמל אסדרה חדשה במשק האנרגיה הסולארית. מדובר באסדרה לתקופה של 25 שנים, לפיה ייחתם הסכם למכירת אנרגיה פוטו-וולטאית מול בעלי מתקן ייצור עצמי בתעריף משתנה, בהתאם להספק המערכת המותקנת, עד להספק של 630KWp.

טבלה 1: תעריפי חשמל לפי הספק מותקן.

מדרגות תעריף (אגורות לקוט"ש)	
הפסק מותקן	אגורות לקוט"ש
0-15	48.0
16-100	41.0
101-630	18.91

5.3 עלויות התקנת מערכת פאנלים סולארית על גגות בתים

עלות התקנת פאנלים סולאריים בעולם נמצאת במגמת ירידה מתמדת בשנים האחרונות. חלק ניכר מירידת העלות נובע ממחיר הפאנלים הסולאריים שירד בשנים 2010-2018 בהיקף של 90% (Taylor, Ralon, Anuta, & Al-Zoghoul, 2020) אך לא די בכך. למגמת הירידה מספר גורמים נוספים כגון מעורבות ממשלתית המתבטאת בהשקעה בפיתוחים טכנולוגיים וסבסוד ייצור באמצעות תעריפים מיוחדים. גם גורמי השוק כגון חדשנות טכנולוגית, התרחבות היקף הייצור והתחרותיות הגדלה תורמים לירידה זו.

ניתן להציג את הנושא של עלות מערכת סולארית על פי עלות לכל 1Kwp או לכל 1 קוט"ש מיוצר או על פי עלות כללית למערכת בגודל הרצוי ללקוח הספציפי. ברוב המקרים, העלות הבסיסית לכל קוט"ש או הספק מותקן תהיה נמוכה יותר ככל שהיקף המערכת יהיה גדול יותר.

פאנלים סולאריים מיוצרים כיום במספר מדינות. מחירי הפאנלים הנמכרים משתנים בהתאם לאיכות חומרי הגלם המרכיבים את הפאנל. כפועל יוצא, אלו משפיעים על תפוקת החשמל המיוצרת והבלאי השנתי. מחיר לכל קילוואט או למערכת כולה כולל את עלות הפאנלים עצמם, עלות ממיר המתח והזרם בהתאם להספק המערכת, עלות התקנת הפאנלים ומרכיבי המערכת וטיפול של החברה הסולארית במערכת.

לצורך הסימולציה לבחינת הכדאיות הכלכלית למשקי הבית בישראל מהתקנת מערכות פאנלים סולאריים על גגות בתיהם, ביצענו תחשיב לעלויות ההתקנה המבוסס על ממוצע עלויות כפי שהתקבלו בהצעות מחיר ממספר חברות במשק הישראלי. אנו בחרנו להתמקד בהספקים מותקנים של 10KWp ו-20KWp שכן אלו משקפים שטחי גגות מקובלים בישראל.

טבלה 2: עלות ממוצעת להתקנת מערכת סולארית לפי הספק מותקן (KWp) וגודל הגג (מ"ר)

הספק מותקן (KWp)	גודל גג (מ"ר)	עלות ממוצעת	הספק מותקן (KWp)	גודל גג (מ"ר)	עלות ממוצעת
10	80	51,868 ₪	57	453	187,337 ₪
15	120	70,482 ₪	68	540	217,340 ₪
20	160	87,153 ₪	80	640	263,901 ₪
30	240	110,970 ₪	100	800	321,496 ₪
40	320	139,987 ₪	135	1,080	405,110 ₪
50	400	165,167 ₪	200	1,600	547,941 ₪

5.4 עלויות תפעול שוטפות ופחת

בנוסף לעלויות ההתקנה הראשוניות, יש לקחת בחשבון את עלויות התפעול השוטפות למערכת. עלויות שוטפות אלו מורכבות בעיקר מתחזוקה שוטפת, ניקיון הפאנלים הסולאריים וביטוח. ייתכן ואחת למספר שנים ייזקפו עלויות חד פעמיות כגון החלפת ממיר מתח חשמל, אך בחרנו שלהתעלם מעלות זו שכן זוהי הוצאה שאינה וודאית.

עלות הביטוח השנתית משתנה בהתאם לגודל המערכת המותקנת, כאשר עלות הביטוח נעה בשיעור של 0.3% ל- 0.8% מעלות ההתקנה המקורית. לצורך הסימולציה בחרנו להשתמש בשיעור ממוצע של 0.55%.

עלות התחזוקה השוטפת כוללת בין היתר את בדיקת תקינות המערכת, וניקיון הפאנלים הסולאריים לצורך מקסום תפוקת הייצור. בממוצע, עלות התחזוקה השוטפת היא בשיעור של 1.6% מעלות ההתקנה המקורית.

שיעור הפחת המקובל בשוק למערכות פאנלים סולאריים נע סביב 0.5%. שיעור זה מבטא את הירידה ביעילות המערכת בהפקת אנרגיה מאור השמש, כך שהתפוקה המרבית פוחתת במחצית האחוז בכל שנה.

5.5 הכנסות

כיום, ישנן שתי חלופות למשקי בית המעוניינים בהתקנת מערכת פאנלים סולאריים על גגות בתיים. הראשונה, מודל עסקי של Revenue Share. חברות חיצוניות בתחום האנרגיה חוכרות את שטח הגג. התחייבות זו כוללת הן את התקנת המערכת והן את תפעולה השוטף, ללא עלות. מנגד, קיים מנגנון חלוקת רווחים בין בעל השטח לחברה המתקינה. השנייה, השקעה פרטית מצד בעלי הגג, כאשר הוא נושא בכל הרווחים ובכל העלויות. לצורך הסימולציה לבחינת הכדאיות הכלכלית למשקי הבית מהתקנת מערכות פאנלים סולאריים על גגות בתיים בחרנו להתמקד בחלופה השנייה.

הכנסות (שנה ראשונה) = תפוקה בקוט"ש כפול תעריף חברת חשמל.

5.6 הטבות מיסוי ורגולטוריות

בהתאם להוראות חוק לעידוד השקעה באנרגיות מתחדשות/הטבות מס בשל הפקת חשמל מאנרגיה מתחדשת), תשע"ז-2016, בית פרטי או בניין מגורים (בעל גג של עד 200 מ"ר) פטור מדיווח ותשלום מס הכנסה ומע"מ עד לתקרת הכנסה שנתית מתפוקת חשמל של 24,800 שקלים. כל סכום מעבר לתקרה זו יחויב על פי שיעור מס של 10%. על פי הוראות החוק, לא יראו הכנסה זו כהכנסה מעסק או משלח יד.

5.7 מימון

ישנן מספר אפשרויות מימון כיום לצורך התקנת מערכת פאנלים סולאריים. מספר בנקים ונותני אשראי חיצוניים בישראל מספקים כיום הלוואות ייעודיות, עד מימון מלא להתקנה. היצע אפשרויות המימון הרבות מותירות לנוטל ההלוואה יתרת תשואה להשקעה זו. טווח הריבית המוצעת בגין הלוואות מסוג זה נע בין פריים (1.91% נכון לחודש מאי 2022) פלוס 0.9% ועד פריים פלוס 1.2%. לצורך הסימולציה נלקחה ריבית ממוצעת בשיעור פריים פלוס 1.05%.

בניסיון להתמודד עם האינפלציה העולה בארץ בחודשים האחרונים, העלה בנק ישראל את הריבית הבסיסית במשק בחודש אפריל 2022, לראשונה מאז שנת 2018. עלייה זו הייתה עלייה ראשונית, לשיעור של 0.35%. כתוצאה מכך עלתה ריבית הפריים לשיעור של 1.85%. בחודש מאי 2022 העלה בשנית בנק ישראל את הריבית הבסיסית ב-0.4% נוספים, לשיעור של 0.75%. בכך תעלה בהדרגה ריבית הפריים לשיעור של 2.25%. זו הפעם הראשונה זה אחד-עשר שנים שמעלה בנק ישראל את הריבית פעמיים ברציפות. לאור מצב האינפלציה, ישנן תחזיות הצופות כי שיעור הריבית הבסיסית במשק תעלה בהדרגה לשיעור של 1.5%, בעוד מספר בנקים ובתי השקעות צופים עלייה לשיעור של 2%. לצורך כך בנינו ניתוח רגישות לערך הנוכחי הנקי של פרויקט השקעה בפאנלים סולאריים בהספק מותקן של 10KWp, המושפע מעלות ההשקעה הראשונית ושיעור הריבית במשק. ניתן לראות כי גם בתרחיש הגרוע, בו תעלה הריבית ל-4%, יוותר ערך נוכחי נקי חיובי.

טבלה 3: ניתוח תרחיש של שינוי בריבית המשק

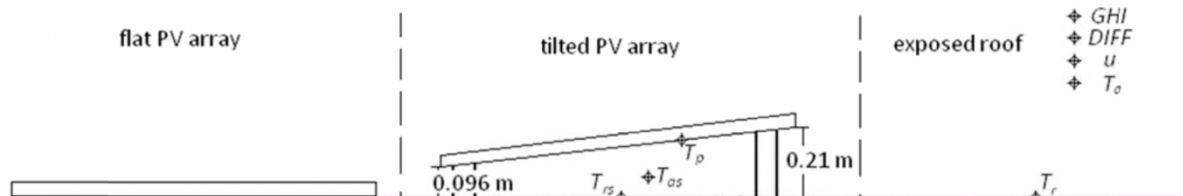
Interest Rate							NPV	
4.0%	3.5%	2.96%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	10KWp	
63,903	69,465	75,992	82,020	89,110	96,817	105,208	נח	64,124
61,403	66,965	73,492	79,520	86,610	94,317	102,708	נח	(40,000)
58,903	64,465	70,992	77,020	84,110	91,817	100,208	נח	(42,500)
56,403	61,965	68,492	74,520	81,610	89,317	97,708	נח	(45,000)
53,903	59,465	65,992	72,020	79,110	86,817	95,208	נח	(47,500)
52,035	57,597	64,124	70,152	77,242	84,949	93,340	נח	(50,000)
48,903	54,465	60,992	67,020	74,110	81,817	90,208	נח	(51,868)
46,403	51,965	58,492	64,520	71,610	79,317	87,708	נח	(55,000)
43,903	49,465	55,992	62,020	69,110	76,817	85,208	נח	(57,500)
							נח	(60,000)

5.8 אפקט ההצללה

כאשר שוקלים שימוש באנרגיה פוטו-וולטאית, לרוב נותנים את הדעת לצמצום צריכת החשמל מרשת הייצור, אך חשוב לזכור כי הצללת הגג על ידי הפאנלים הסולאריים המותקנים יכולה לצמצם את צריכת החשמל אף יותר. גגות הבתים חשופים ונמצאים לעיתים בזווית מתאימה לכך שמרבית האנרגיה בקרינת השמש נספגת בבית. התחממות הגגות בימי הקיץ תורמת להתחממות פנים הבית מה שמוביל לגידול בצריכת החשמל.

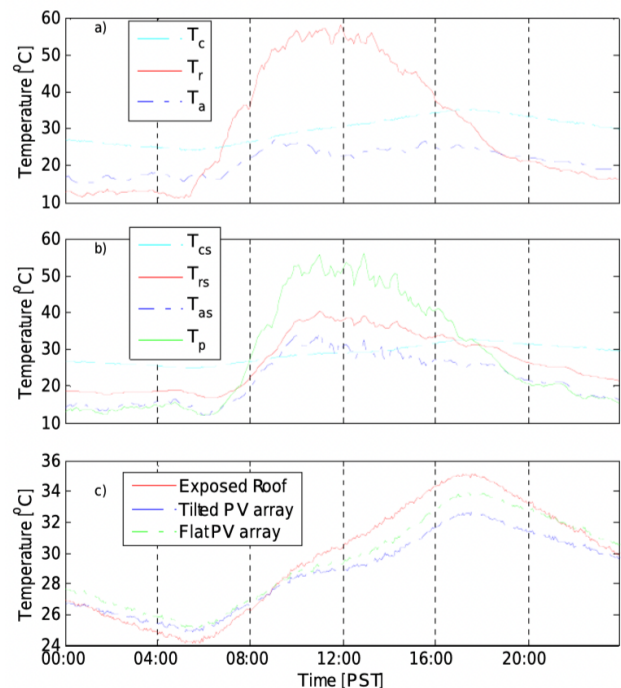
ממצאי מחקר שנעשה בפריז, צרפת (Masson, Bonhomme, Salagnac, Briottet, & Lemonsu, 2014) העלו כי התקנת מערכת פאנלים סולאריים על גג מבנה מקטינה באמצעות הצללה את הצורך במיזוג אויר בחודשי הקיץ בכ-12%. יש להביא בחשבון את האפקט ההפוך – בחורף הגג מתחמם פחות עקב הצללת הפאנלים, ולכן נמצא כי הצורך במיזוג עלה בכ-3% בחודשי החורף.

במחקר נוסף שנערך בקליפורניה, ערכו השוואת טמפרטורות בין שלוש פוזיציות בהן הותקנו פאנלים סולאריים. הראשון, גג חשוף ללא מתקנים פוטו-וולטאים מותקנים (exposed). השני, גג עליו מותקנת מערכת בה הפאנלים הסולאריים מותקנים בזווית הטיה ביחס לגג (tilted). השלישי, גג עליו מותקנת מערכת בה הפאנלים הסולאריים מותקנים באופן שטוח, ללא זווית הטיה ביחס לגג (flat).



החוקרים ניתרו לאורך שעות היום טמפרטורות במיקומים שונים כגון פני שטח הגג, אויר חיצוני, תקרת פנים המבנה ושטח המרווח בין גג המבנה לגג הפאנל הסולארי. בגרף העליון ניתן לראות את התפלגות הטמפרטורות בגג חשוף, ללא מערכת פאנלים סולאריים. בגרף האמצעי ניתן לראות את התפלגות הטמפרטורות בגג בו מותקנים פאנלים סולאריים בזווית הטיה ביחס לגג. בגרף התחתון ניתן לראות את טמפרטורת תקרת פנים המבנה, לפי סוגי הגגות השונים, כאשר תחת גג המקורה בפאנלים סולאריים בזווית הטיה, נמצא כי טמפרטורת פנים המבנה הייתה הנמוכה ביותר, בפער של 2.5 מעלות צלזיוס, ביחס לגג חשוף בשעה חמש בערב.

(Dominguez, Kleissl, & Luvall, 2011)



איור 2: גרף פילוח טמפרטורות מקור: Dominguez, Kleissl, & Luvall, 2011

5.9 ממצאים

לאחר בחינת ככל העלויות והנתונים, ביצענו ניתוח מסוג Cost – Benefit לצורך בחינת השאלה "האם כדאי מבחינה כלכלית למשק בישראל להשקיע בהקמת מערכת הפקת אנרגיה סולארית?" בנספח 1 ניתן לראות את תוצאות הסימולציה שביצענו. מצאנו כי לאורך כל שנות אפיק ההשקעה, יכול ליהנות הפרט מתשואה נאה ביחס להשקעתו, כאשר השקעה בפרויקט של 10KWp הספק מותקן, תניב תשואה נומינלית בשנה הראשונה בשיעור של 13.6% ועד לתשואה בשיעור של 5.7% בשנה האחרונה, וזאת בהינתן עלות השקעה ראשונית בסך 51,868 ש"ח. שיעור התשואה השנתית הממוצעת מפרויקט זה היא 8.9%, ושיעור התשואה הפנימי הגלום בפרויקט (IRR) עומד על שיעור של 9.13%.

6. השלכת הממצאים על אוכלוסיית ישראל

לאחר הפקת הממצאים שעלו בבחינת השאלה הכלכלית עבור משק בית בודד, נרצה ליישם את ממצאים אלו עבור כלל משקי הבית בישראל. פעולה זו תאפשר לנו לבחון את השאלה בדבר ההשפעה של תהליך שכזה על כלכלת ישראל.

6.1 שטחי גגות וחזית פוטנציאליים בישראל

במחקר שבוצע עבור המשרד להגנת הסביבה (פרואקטור, ואחרים, 2020) נמצא כי הפוטנציאל להתקנת מערכות סולאריות על גבי מבנים ושטחים בנויים בישראל, מסוגל לייצר 46% מצריכת החשמל בישראל כיום, וזאת ללא ניצול של שטחים פתוחים.

טבלה 4: פילוח פוטנציאל ייצור חשמל לפי סוג השימוש

סוג השימוש/שטח	GW	TWh
גגות מבנים	6	11
חזיתות מבנים	2	1
מאגרי מים	2	4
איזורי תעשייה	2	3
חניות	1	2
כבישים	2	3
שטחים מבונים נוספים	3	5
סה"כ	18	29

סך הפוטנציאל להפקת אנרגיה סולארית עמד בשנת 2020 על כ-18 ג'יגה וואט, כאשר ניצול גגות מבנים בלבד מהווה כ-שליש מהפוטנציאל הגלום. על בסיס תחזית גידול השטח המבונה לשנת 2030, ניתן יהיה לייצר כ-43% מהביקוש הצפוי לחשמל.

קטגוריה	מספר מבנים	שטח גג כולל (דונם)	שטח גג פוטנציאלי (משוקלל)	שטח גג פוטנציאלי (MW)	תפוקה פוטנציאלית (MW)
מבני מגורים פרטיים	36,904	4,529	55%	2,491	249
שאר מבני מגורים	969,440	226,692	20%	45,338	4,534
סה"כ מבני מגורים	1,006,344	231,221	21%	47,829	4,783

טבלה 5: פילוח שטחי גגות פוטנציאליים לפי סוג מבנה

6.2 חסכון בעלויות הולכה ואיבוד חשמל

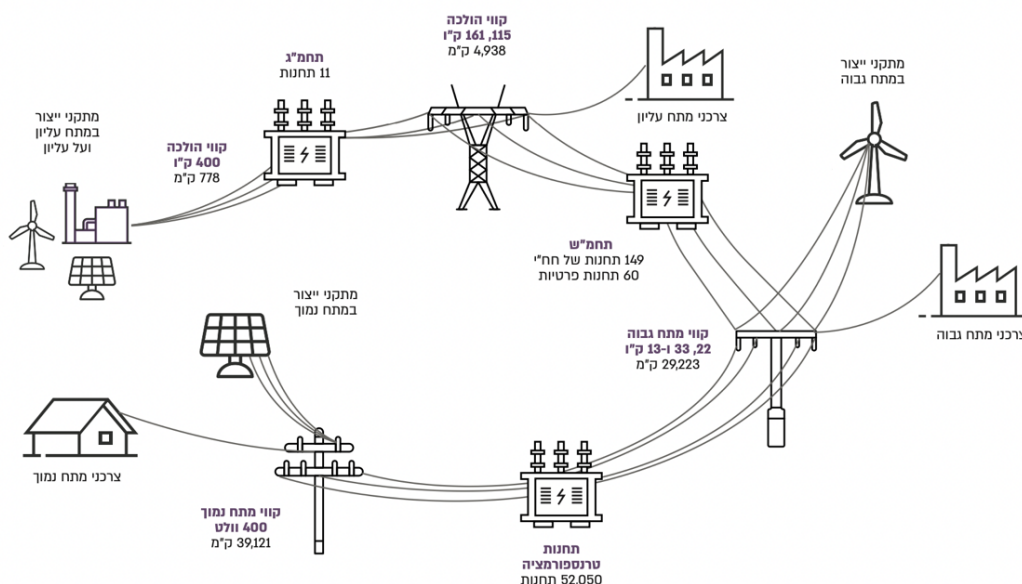
כאשר מקימים שדה סולארי בשטח המרוחק מרשת החשמל, יש צורך בסלילת קווי חשמל חדשים על מנת לחברו לרשת החשמל. בנוסף, כלל וכמות האנרגיה המיוצרות גדלה, נוצרות עלויות השנאה, כגון שדרוג תחנות משנה של חברת החשמל, מיתוג והוספת שנאים. שלא כמו מתקני שדה, במתקנים על פני גגות מבנים אין צורך בסלילת קווי חשמל ייעודיים לשם חיבור המתקנים. ההימנעות מהקמת תשתית ייעודית עבור חיבור מתקני שדות מהווה למעשה את התועלת המתקבלת ממתקני הגגות.

פרט לחיסכון על הקמת התשתית, ייתכן גם חיסכון בשדרוג יכולת העברת החשמל בקווי ההולכה. לאורך השנים, על חברת החשמל לשדרג את הקווים עקב התיישנותם או מכיוון שצריכת החשמל עולה. כאשר אנו מייצרים חשמל במוקדי הצריכה, אנו מורידים מהעומס על קווי ההולכה.

בעת מעבר החשמל בקווי ההולכה והחלוקה, מתחנות הייצור לצרכנים, יש איבוד של אחוז מסוים מן החשמל. שיעור איבוד החשמל בישראל נכון לשנת 2020 עמד על כ-8.3% מסך הייצור המשקי (דו"ח מצב משק החשמל, 2020). אם ניקח את תעריף ייצור החשמל האחרון למתקנים סולאריים שנקבע על 18.91 אג' לקוט"ש, נראה כי שווי האיבוד הממוצע עומד על 1.57 אג' לקוט"ש. כלומר, אם נייצר חשמל במקום הצריכה, ונצרוך את רובו בקרבת מקום, נחסוך כ-1.57 אג' לקוט"ש מיוצר על איבוד החשמל הפוטנציאלי. צמצום של 4% באיבוד החשמל המיוצר יוביל לחסכון שנתי במשק החשמל בסך 45 מיליון שקלים (לפי 72.8TWh מיוצר בשנת 2020).

מקור: דו"ח מצב משק החשמל 2020

איור 3: מבנה רשת החשמל בישראל.



6.3 חסכון בדלקים וחיסכון בהון

כיום מחירי ייצור אנרגיות מתחדשות בטכנולוגיה סולרית פוטו-וולטאית כבר זולים יותר מהפקת אנרגיה ממקורות פוסיליים, גם ללא שקלול עלויות חיצוניות. ועדת קנדל שהוקמה תחת החלטת משרד ראש הממשלה (הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות, 2013) בחנה את התועלת המתקבלת למשק החשמל מחיסכון בדלקים ומחסכון בהקמת מתקנים קונבנציונליים בשל הוספת הפסק ייצור חשמל סולארי. בטבלה מטה ניתן לראות את מסקנות בחינת הוועדה.

טבלה 6 : סיכום התועלות המחושבות במשק החשמל לתוספת של אנרגיה סולרית בהיקפים משתנים

תרחישי ייחוס מרכזיים	ערך ממוצע נחסך למשק החשמל ל-20 שנים (הקמה ב-2013)	פרמיה בגין חסכון ברכיב קבוע	סה"כ ערך נחסך למשק החשמל לקוטי"ש מיוצר
תוספת 200MW סולארי	27.8 אג' לקוטי"ש	7.4 אג' לקוטי"ש	35.2 אג' לקוטי"ש
תוספת 400MW סולארי	25.7 אג' לקוטי"ש	5.8 אג' לקוטי"ש	31.5 אג' לקוטי"ש
תוספת 800MW סולארי	21.5 אג' לקוטי"ש	5.1 אג' לקוטי"ש	26.6 אג' לקוטי"ש
תוספת 1200MW סולארי	19.4 אג' לקוטי"ש	3.4 אג' לקוטי"ש	22.8 אג' לקוטי"ש

בהמשך לסעיף 6.1, פוטנציאל שטח גגות המבנים בישראל נכון לשנת 2020, מהווה פוטנציאל לתוספת בסך 6 ג'יגה וואט (GW) להספק המשקי. אילו נשליך את מסקנות הועדה על התוספת הפוטנציאלית לשנת 2020, החיסכון הכלכלי של תוספת 1200MW הינו כ-400 מיליון שקלים בשנה. אם רק ננצל כמחצית מן הפוטנציאל הטמון (3GW) נוכל לחסוך במשק החשמל מעל מיליארד שקלים בשנה.

6.4 תועלת מצמצום פליטת גזי חממה וזיהום אוויר

פליטות של מזהמי אוויר הן סכנה פוטנציאלית לאדם, לחי, לצומח ולסביבה. חלק מהמזהמים מגיעים ממקורות טבעיים, אך רובם הם תוצאה של פעילות האדם – ייצור אנרגיה, תחבורה, תעשייה וחקלאות. בתהליך השרפה של דלקים מאובנים, המשמשים לייצור אנרגיה, נפלטים מזהמי אוויר הנוצרים כתוצאה מתהליך בעירה או עקב תוספות בדלקים כגון גופרית ועופרת. מרבית הפליטות הן ממקורות נייחים כגון ארובות, מתקנים מסחריים ומתקנים תעשייתיים, וחלקן ממקורות ניידים כגון כלי רכב, רכבות, תעופה וספנות. (בקר, גרוסמן, ברק, & חרובי, 2020) ככל והביקוש העולמי לאנרגיה עולה, כך מתגבר אפקט פליטת המזהמים לאוויר. הדעה הרווחת כיום במדע היא שיש לצמצם את אפקט החממה וזאת על ידי הפחתה של פליטות גזים מזהמים לחלל האטמוספירה. נכון לשנת 2020, 67% אחוזים מתמהיל הדלקים המשמש לייצור אנרגיה הינו גז, 26% שימוש בפחם ו-7% אנרגיות מתחדשות (דו"ח מצב משק החשמל, 2020).

עלות חיצונית מבטאת בערך כספי את ההשפעות החיצוניות השליליות על האדם והסביבה. במחקר ישראלי שעסק בכימות עלות פליטות המזהמים, (המשרד להגנת הסביבה, 2021) נמצא כי העלות החיצונית של פליטות מזהמים לאוויר מכלל מקורות הזיהום בישראל בשנת 2018 עמדה על 31 מיליארד שקלים, כאשר 11.3 מיליארד שקלים מסך הסכום מקורו בפליטת גזי חממה (רמה גלובאלית) ו-19.8 מיליארד שקלים מקורם בפליטת מזהמים המשפיעים על איכות האוויר ברמה מקומית. בדו"ח ועדת קנדל (הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות, 2013) נמצא כי עלות התועלות החיצוניות מהקמת מתקן אנרגיה מתחדשת יחסוך למשק 7.75 אג' לכל קוטי"ש בשל הפחתת הפליטות. עמידה ביעד של 40% יצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשנת 2030, לעומת 7% כיום צפוי לחסוך למשק כ-4.5 מיליארד שקלים בשנה בעלויות חיצוניות, כאשר מתוכם, 3 מיליארד שקלים בעלויות חיצוניות של פליטת גזי חממה. כמו כן, מעבר ל-25% רכבים חשמליים בשנת 2030 (לעומת 1% כיום) יחסוך למשק 970 מיליון שקלים, מתוכם כ-630 מיליון שקלים בעלויות חיצוניות של פליטת גזי חממה.

6.5 ערך הקרקע והשטחים הפתוחים

הקמת שדות סולאריים תופסת שטחים רבים. אמנם מרבית המכרזים להקמת שדות סולאריים בישראל הם בשטחים מדבריים, אך יש לתת את הדעת, נוכח ההתפתחות והתרחבות של מדינת ישראל, לחשיבות השטחים הפתוחים. מאחר וכמות השטחים בישראל מצומצמת, יש לבצע תכנון והקצאת שטחים תוך כדי ראייה צופנת פני עתיד, שכן ייתכן ובעתיד חלק מן השטחים המוקצים להקמת שדות סולאריים יידרשו לצורך פיתוח תשתיות ובנייה. במחקר שבוצע במכון ירושלים למחקרי מדיניות (קליינר, חלף, פרידמן, בקר, & לביא, 2017) ניסו לכמת את הערך ששטחים מספקים לנו. שטחים פתוחים, המהווים מוצר ציבורי, מספקים ערך לאדם שכן הוא יכול לשמש בעתיד לשירותים מסוימים או כנוף. החוקרים בנו פונקציית מעבר המשקללת את תוצאות 665 מחקרים שבוצעו בעולם, ובעזרת ביצוע אמידה אקונומטרית העריכו את ערך השטח הפתוח בסכום של 33,410 שקלים לדונם לשנה, על פני 23 שנים. כחלופה לעלות זו, וצמצום השטחים הפתוחים, יש לזכור כי קיימת חלופה שחוסכת את השימוש בקרקעות ושטחים פתוחים – שימוש בגגות מבנים.

7. מדיניות לקידום ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות והפחתת פליטות

משבר האקלים הוא הסיכון הגלובלי המשמעותי ביותר העומד כיום בפני האנושות. קידום השימוש באנרגיות מתחדשות נעשה כחלק ממאמץ בינלאומי להפחתת פליטות של גזי חממה וכחלק מאמנות והסכמים בינלאומיים. מרבית המדינות המפותחות הציבו יעדים לשילוב אנרגיות מתחדשות כחלק מן המאמץ להפחית את השימוש בדלקים פוסיליים בעת ייצור האנרגיה (IRENA, 2019). לצורך קידום היעדים שנקבעו, בחנו מספר כלים מדיניים שישמשו במדינות שונות בעולם, אותם נרצה להשליך על משק האנרגיה הישראלי.

מדינת ישראל הצטרפה לתהליכים הבין-לאומיים לקידום אנרגיות מתחדשות, וזאת כחלק מהתחייבותה לצמצום פליטת גזי חממה, וכחלק מניסיון ליצירת עצמאות ובטחון אנרגטי. ברקע אקטואלי, נוכח המלחמה בין רוסיה לאוקראינה, משמעות המושג "ביטחון אנרגטי" מקבל חשיבות יתרה, כאשר מדינות רבות ובהן ישראל הגיעו למסקנה כי הביטחון הלאומי שלהן תלוי במידה רבה בתפקוד רציף של המערכות השונות אשר משרתות אותן. בין המערכות יש למערכת החשמל מקום מרכזי ביותר. לאנרגיה מתחדשת יש תפקיד חשוב ביצירת ביטחון אנרגטי, שכן היא מאפשרת פיזור של מקורות הייצור והפחתת התלות במדינות זרות, בתשתיות ובדלקים פוסיליים המצריכים אגירה ושינוע. (גרוסמן & עברון, 2016).

החל משנת 2008, פורסמו שבע תוכניות והחלטות ממשלה שונות להתייעלות אנרגטית, כאשר חלק מן היעדים וההחלטות נזנחו (נספח 7). הממשלה הטילה על משרד האנרגיה לגבש ולהביא לאישור הממשלה מסמך מדיניות הכולל תכנית אסטרטגית למימוש היעדים שנקבעו. עד היום לא פורסם מסמך שכזה או תכנית עבודה מפורטת. כמו כן, נכון לשנת 2020 לא עמדה ישראל ביעד של 10% ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת (נספח 6).

בדו"ח מבקר המדינה (דוח שנתי 71 - התייעלות אנרגטית, 2020) צוין כי התקבלו החלטות רבות בעקבות אי-עמידה ביעדי החלטות קודמות, ובשל הצורך להגדיר יעדים ריאליים ומחודשים. בנוסף, נקבע כי ריבוי התוכניות, שלעיתים אינן מתואמות ביניהן, פגע באיכות התכנון והפיתוח, מה שלא אפשר ביצוע וטיפול מיטבי. על אף המשאבים שהושקעו בהתייעלות האנרגטית, נקבע כי עדיין לא הושגה התייעלות משמעותית. ב-26 מדינות חברות OECD נקבעו יעדים לצמצום פליטות מזהמות. ב-14 מן המדינות הוגדרו היעדים בחוק. ב-4 מדינות הגדרת היעדים נמצאים בתהליך להצעת חוק וב-8 מדינות היעד הוגדר במסמכי מדיניות רשמיים. הצבת יעדים מוגדרים בחוק או במסמך מדיניות יובילו את ממשלת ישראל צעד אחד קרוב יותר לצורך עמידה ביעדים המדיניים שהציבה.

כלי מדיניות נוסף אותו ניתן ליישם בישראל הוא "תקציב ירוק". תקציב ירוק הוא יוזמה המשלבת נקודת מבט סביבתית-אקלימית בעת קבלת החלטות תקציביות. היוזמה נוצרה בוועדת פריז בשנת 2017. כלי זה מסווג הוצאות תקציביות לפי נושאים סביבתיים, ולא לפי משרדי ממשלה. למשל, הוצאה ציבורית להגנת הסביבה תרשם בסעיף תקציבי בודד, גם אם ההוצאה פזורה על פני כמה משרדי ממשלה. עיקר מטרת כלי זה היא לבדד את הוצאות הממשלה על הגנת הסביבה ולפלח אותה לפי נושאים.

כמו כן, אגרות חוב ירוקות הן כלי נוסף הניתן ליישום. מכשיר חוב זה מונפק על ידי מדינות וחברות לצורך מימון פרויקטים בעלי השפעה חיובית על הסביבה, כגון הפחתת פליטות ולטיפול בהתחממות הגלובלית ונזקיה. מספר ממשלות בעולם, חלקן בריטניה, צרפת, גרמניה ואיטליה, כבר הנפיקו מכשירים שכאלו, בעוד נוספות הכריזו על הצעות בנושא. נכון לשנת 2021, גויסו למעלה מ-100 מיליארד דולר באמצעות אגרות חוב ירוקות. זהו מכשיר נלווה היכול לשמש ככלי עזר למדיניות ה-"תקציב הירוק".

גם מיסוי פליטות פחמן יכול להוות מקור יעיל לצמצום נזקי ההתחממות הגלובלית ולהכנסות המדינה. נכון לשנת 2021, 60% ממדינות ה-OECD הטילו מיסוי פחמן. מנגנון זה מיועד בעיקרו להתמודד עם כשל השוק הנוצר מהשפעות חיצוניות, בכך שהם מביאים לידי הפנמה של העלויות החיצוניות מפליטות ושקלולן במחירי השוק, ומהוות תמריץ לצמצום התופעה. אמנם בישראל נהוג מס הבלו, אך לא קיים מס פחמן ייעודי או מערכת של סחר במכסות זיהום (נספח 9). במהלך אוגוסט 2021 החליטה ממשלת ישראל ליצור מנגנון לתמחור פחמן, אך החלטה זו טרם הגיעה לאישור הממשלה. כמו כן, נכון לשנת 2021, העלות החיצונית של פליטת פחמן בישראל היא 167 שקלים לטון. (זוסמן, ואחרים, 2021)

דרך פעולה נוספת היא שיתוף פעולה אנרגטי אזורי. דרך זו אינה נושא מדובר חדש, ובעבר היו יוזמות ואף פיילוט שנערך בשנת 2020 לפיו תמכור ירדן לישראל 25 מגה-וואט חשמל המיוצר מאנרגיה סולארית. הסדר שכזה יכול להועיל עם ירדן, לה עודפי ייצור חשמל בשעות הצהריים, ובתמורה תקבל ישראל מקור נוסף לביטחון האנרגטי שלה. הסדר נוסף יאפשר לירדן לספק עודפי ייצור לרשות הפלסטינית, ובכך להפחית את התלות האנרגטית של הרשות בישראל (גל, סנדלר, חאלאסה, & אבו חאמד, 2021).

יש מקום לתת חיזוק חיובי למדינת ישראל על הישגיה בתחום האנרגיה. בשנים האחרונות, ישראל קידמה הקמה של מתקני אנרגיה מתחדשת רבים (בעיקר מתקנים פוטו-וולטאים). שינוי חיובי זה התרחש גם הודות להקלות ברגולציה הישראלית, הוזלות מחירים, שיפור מתמיד ביעילות פאנלים סולאריים, כניסה של חברות רבות בתחום והפניית מימון לתחום. ישראל נמצאת במקום השני בעולם בשיעור של יצור אנרגיה סולארית מתוך סך צריכת החשמל במדינה, לאחר הונדורס. לדירוג במקום השני יש הסבר שכן רוב מדינות ה-OECD ממוקמות באזורי אקלים עם יותר משאבי מים ורוח ופחות קרינת שמש ישירה, ולכן אינן מסתמכות בעיקרן על אנרגיה זו. לשם פשטות פאנל סולארי בישראל זוכה לכ-130% יותר קרינת שמש שנתית לעומת פאנל זהה במדינה בה האקלים ממוזג.

8. סיכום

נחוצים שינויים רבים כדי לאפשר ולטפח את הטכנולוגיה של האנרגיה הסולארית, המהווה שחקן מפתח בצמצום נזקי ההתחממות הגלובלית והשפעותיה. כבר כיום ניתן לחוש את השפעות המשבר בישראל בעולם, כאשר אלו באים לידי ביטוי בעליית טמפרטורות, שינויים במחזורי הגשמים, עלייה בגובה פני הים ומופעי מזג אוויר קיצוניים יותר. עם העלייה ברמת החיים והגידול באוכלוסייה חלה עלייה בצריכת האנרגיה, כאשר מרביתה מופקת כיום מדלקים פוסיליים, המזהמים את האוויר וגורמים לתחלואה בחי ובצומח, וכן לפליטת גזי חממה התורמים להתגברות תופעות שינויי האקלים.

במסגרת הסכמים בין-לאומיים, מדינת ישראל התחייבה להשתתף במאמץ העולמי להשגת המטרה של אמנת המסגרת של האו"ם בנושא שינוי האקלים. מחויבותה של ישראל התבטאה, בין היתר, בהצבת יעדים להתייעלות אנרגטית. תכנונו וניהולו של משק חשמל שיאפשר אספקה אמינה של חשמל במחיר סביר ושפיעתו באיכות הסביבה תהיה מזערית הם אינטרס אסטרטגי חיוני למדינת ישראל. מטרות אלה הן בנות-השגה אם משק החשמל ינוהל בכלים שיצמצמו את צריכת החשמל, באמצעות התייעלות אנרגטית, ויעודדו ייצור חשמל "נקי" ממקורות אנרגיה מתחדשים.

כדי לעמוד ביעדים שקבעה הממשלה לשנת 2030, על גורמים בממשלה לפעול יחדיו בהקדם לשם הסרת חסמים המעכבים את ההתייעלות האנרגטית במשק. כמו כן, יש לצפות את ביקוש המשק לאנרגיה, ולבצע הערכות לשם התמודדות עם אתגרים עתידיים בתחום. כפי שעלה בממצאי הסימולציה, משקי הבית מהווים תפקיד מפתח לעמידה ביעדים. מתן עדיפות להפקת אנרגיה מתחדשת במגזר הפרטי, הכולל מתן הקלות ותמריצים, יעזרו באופן משמעותי להשגת היעדים במעבר לאנרגיה מתחדשת. בנוסף, עד שנת 2040 צפויה הכפלה במספר יחידות הדיוור במדינה, ועל כן קיימת הזדמנות להטמעת תקני הבנייה הירוקה במסגרת הקמת המבנים החדשים ובכך לצמצם את פגיעת טביעת הרגל האקולוגית של ישראל במאבק לצמצום ההתחממות הגלובלית.

9. ביבליוגרפיה ומקורות

- Dominguez, A., Kleissl, J., & Luvall, J. C. (2011). *Effects of Solar Photovoltaic Panels on Roof Heat Transfer*. University of California, San Diego, Department of Mechanical and Aerospace Engineering University of California, San Diego, Department of Mechanical and Aerospace Engineering.
- IRENA. (2019). *Climate Change and Renewable Energy*. International Renewable Energy Agency (IRENA).
- Masson, V., Bonhomme, M., Salagnac, J.-L., Briottet, X., & Lemonsu, A. (2014). Solar panels reduce both global warming and urban heat island. *Frontiers in Environmental Science*, 1-10.
- Singh, N., Nyuur, R., & Richmond, B. (2019). Renewable Energy Development as a Driver of Economic Growth: Evidence from Multivariate Panel Data Analysis. *Sustainability*, 1-18.
- Taylor, M., Ralon, P., Anuta, H., & Al-Zoghoul, S. (2020). *RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2019*. International Renewable Energy Agency (IRENA).
- בקר, נ', גרוסמן, מ', ברק, י', & חרובי, נ'. (2020). *הספר הירוק*. המשרד להגנת הסביבה.
- גאלו, ל', & פורת, י'. (2017). *התפתחות משק החשמל בישראל - לקראת משק בר קיימא*. בנק ישראל - חטיבת המחקר.
- גאלו, ל', מרגונינסקי, י', & פורת, י'. (2015). השימוש באנרגיות מתחדשות בישראל. *ההתפתחויות הכלכליות בחודשים האחרונים 140*, עמ' 65-60.
- גוטגליק, א', נחמיה, ל', מקונן, ש', & ארן, מ'. (2020). *דו"ח מצב משק החשמל*. רשות החשמל.
- גל, נ', סנדלר, א', חאלאסה, ס', & אבו חאמד, ט'. (2021). אנרגיה מתחדשת - שיתוף פעולה אזורי בבקעת הירדן: להפוך את טרילמת האנרגיה להזדמנות. *סביבה, אקלים ובטחון לאומי: חזית חדשה לישראל*, 167-182.
- גרוסמן, ג', & עברון, י'. (2016). *ביטחון באספקת אנרגיה בישראל*. הטכניון.
- (2020). *דוח שנתי 71א - התייעלות אנרגטית*. משרד מבקר המדינה.
- (2013). *הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות*. משרד ראש הממשלה.
- המשרד להגנת הסביבה. (2021). *עלויות חיצונית של הפליטות לאוויר מכלל המקורות בישראל*. אשכול תעשיות ורישוי עסקים.
- זוסמן, נ', פלנטיק, ר', דוידוביץ', א', לסטר, י', זלצברג, א', עשת, א', . . . שואף-קולביץ, ה'. (2021). *תמחור פחמן בישראל*. המשרד להגנת הסביבה.
- פרואקטור, ג', גינות, י', תמיר, ע', קמרה, ר', שכטר, א', דולב, ש', & קידר, ב'. (2020). *הערכת פוטנציאל הייצור הסולארי במרחב הבנוי בישראל*. המשרד להגנת הסביבה.
- פרידמן, ג'. (2021). *אנרגיה מתחדשת - המפתח לחוסן לאומי באנרגיה*. *סביבה, אקלים ובטחון לאומי: חזית חדשה לישראל*, 199-211.
- קליינר, א', חלף, ב', פרידמן, ג', בקר, נ', & לביא, ד'. (2017). *התועלת הנוספת ממתקנים סולאריים על גגות*. מכון ירושלים למחקרי מדיניות.
- שחק, מ'. (2021). *אנרגיה מתחדשת בישראל - רקע וסוגיות לדיון*. מרכז המחקר והמידע כנסת ישראל.

10. נספחים

נספח 1 : סיכום ממצאי ניתוח עלות- תועלת כדאיות כלכלית

מערכת בהספק מותקן 20KW	מערכת בהספק מותקן 10KW	
מתאים לגג של 160 מ"ר (גודל בניין בניכוי דודי חשמל)	מתאים לגג של 80 מ"ר (גודל בניין בניכוי דודי חשמל)	
₪ 87,153	₪ 51,868	עלות הקמת המתקן
20	10	כמות קילו וואט שמוותקן
₪ 1,700	₪ 1,700	יכולת ייצור שנתי ל 1 קילו וואט בממוצע עבור כל כיווני השמש
₪ 34,000	₪ 17,000	סך תפוקה של קוט"ש בשנה
₪ 479	₪ 285	עלות ביטוח שנתי
₪ 1,394	₪ 830	עלויות תחזוקה שוטפת
₪ 0.46	₪ 0.48	תעריף לקוט"ש לאחר הולכה ואיבוד חשמל
0.5%	0.5%	פחת בייצור חשמל שנתי
₪ 15,725	₪ 8,160	הכנסות בשנה ראשונה
₪ 1,874	₪ 1,115	עלויות בשנה ראשונה
₪ 13,851	₪ 7,045	רווח נטו - שנה ראשונה
₪ 13,943	₪ 7,235	הכנסות בשנה 25 (נומינלי)
₪ 1,874	₪ 1,115	עלויות בשנה 25 (נומינלי)
₪ 12,069	₪ 6,120	רווח נטו - שנה 25 (נומינלי)
6.7	7.89	החזר השקעה לאחר X שנים
₪ 236,420	₪ 112,470	רווח נומינלי לא מהוון בסוף התקופה
271%	217%	תשואה באחוזים בסוף התקופה
₪ 141,187	₪ 64,124	רווח מהוון (בניכוי פחת ועלויות)

נספח 2 : חישוב ROI ו- Annualized ROI עבור הספק מותקן 10KWp (ערכים נומינליים)

$$\begin{aligned}
 &\text{Annualized ROI} \\
 &= \left[\left(1 + \frac{\text{net fv} - \text{iv}}{\text{iv}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100 \\
 &= \left[\left(1 + \frac{164338 - 51868}{51868} \right)^{\frac{1}{25}} - 1 \right] \times 100 \\
 &= \left[(1 + 2.1684)^{\frac{1}{25}} - 1 \right] \times 100 \\
 &= [(3.1684)^{0.04} - 1] \times 100 \\
 &= (1.0472 - 1) \times 100 \\
 &= 0.04721 \times 100 \\
 &\text{Annualized ROI} = 4.721\%
 \end{aligned}$$

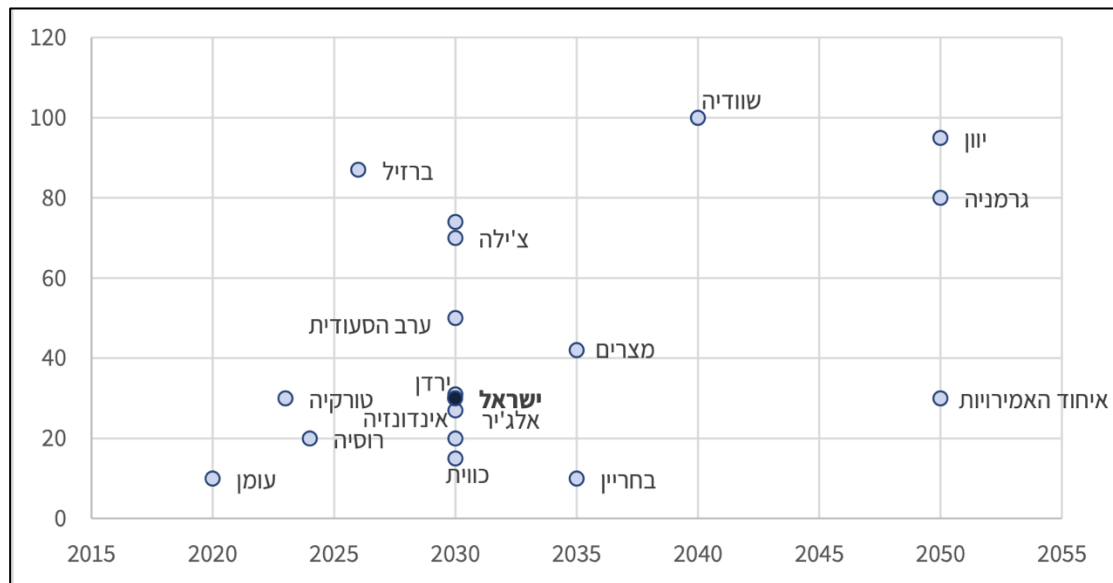
$$\begin{aligned}
 \text{ROI} &= \frac{\text{net fv} - \text{iv}}{\text{iv}} \times 100 \\
 &= \frac{(164338 - 51868)}{51868} \times 100 \\
 &= \frac{112470}{51868} \times 100 \\
 &= 2.1684 \times 100 \\
 \text{ROI} &= 216.84\%
 \end{aligned}$$

נספח 3 : תזרים תקבולים מאפיקי ההשקעות שונות.

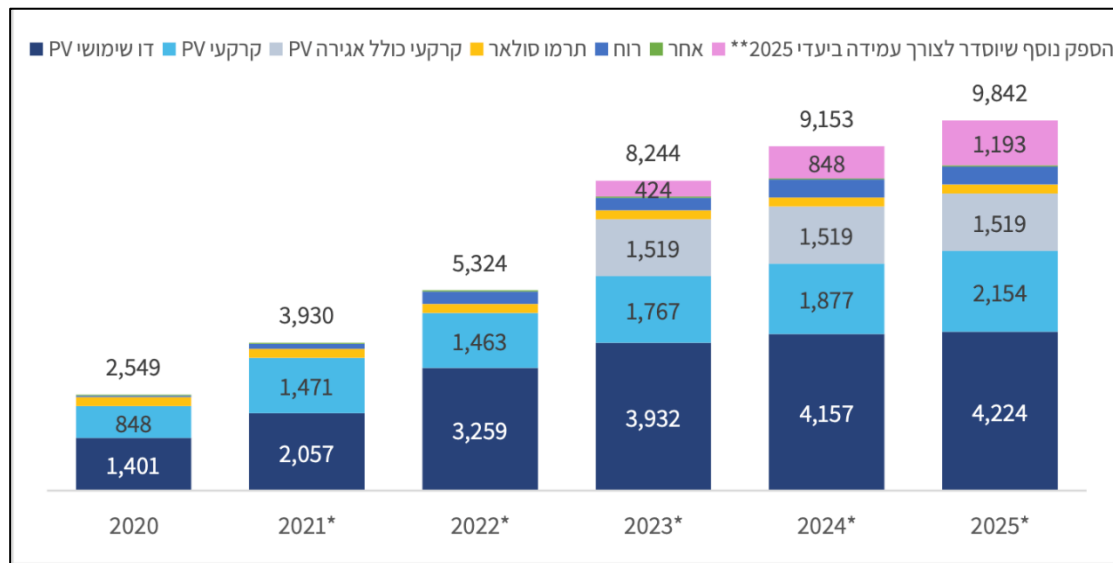
הספק מותקן 10KWp								
שנה	תפוקה	הכנסה	תפעול	ביטוח	רווח נומינלי	תשואה נומינלי	רווח מהון	תשואה מהון
0		-51,868			-51,868		-51,868	
1	17,000	8,160	-830	-285	7,045	13.6%	6,842	13.2%
2	16,915	8,119	-830	-285	7,004	13.5%	6,607	12.7%
3	16,830	8,079	-830	-285	6,963	13.4%	6,380	12.3%
4	16,746	8,038	-830	-285	6,923	13.3%	6,161	11.9%
5	16,663	7,998	-830	-285	6,883	13.3%	5,949	11.5%
6	16,579	7,958	-830	-285	6,843	13.2%	5,744	11.1%
7	16,496	7,918	-830	-285	6,803	13.1%	5,547	10.7%
8	16,414	7,879	-830	-285	6,763	13.0%	5,356	10.3%
9	16,332	7,839	-830	-285	6,724	13.0%	5,172	10.0%
10	16,250	7,800	-830	-285	6,685	12.9%	4,994	9.6%
11	16,169	7,761	-830	-285	6,646	12.8%	4,822	9.3%
12	16,088	7,722	-830	-285	6,607	12.7%	4,656	9.0%
13	16,008	7,684	-830	-285	6,568	12.7%	4,495	8.7%
14	15,928	7,645	-830	-285	6,530	12.6%	4,341	8.4%
15	15,848	7,607	-830	-285	6,492	12.5%	4,191	8.1%
16	15,769	7,569	-830	-285	6,454	12.4%	4,047	7.8%
17	15,690	7,531	-830	-285	6,416	12.4%	3,907	7.5%
18	15,611	7,493	-830	-285	6,378	12.3%	3,773	7.3%
19	15,533	7,456	-830	-285	6,341	12.2%	3,643	7.0%
20	15,456	7,419	-830	-285	6,304	12.2%	3,517	6.8%
21	15,378	7,382	-830	-285	6,266	12.1%	3,396	6.5%
22	15,301	7,345	-830	-285	6,230	12.0%	3,279	6.3%
23	15,225	7,308	-830	-285	6,193	11.9%	3,166	6.1%
24	15,149	7,271	-830	-285	6,156	11.9%	3,057	5.9%
25	15,073	7,235	-830	-285	6,120	11.8%	2,951	5.7%
סה"כ		192,217	-20,747	-7,132	164,338	316.8%	115,992	223.6%
IRR	נומינלי	12.36%			תשואה ממוצעת	נומינלי		
IRR	מהוון	9.13%			תשואה ממוצעת	מהוון		

הספק מותקן 20KWp								
שנה	תפוקה תעריף 1	תפוקה תעריף 2	הכנסה	תפעול	ביטוח	רווח נומינלי	תשואה נומינלי	רווח מהון
0			-87,153			-87,153		
1	25,500	8,500	15,725	-1,394	-479	13,851	15.9%	13,453
2	25,373	8,458	15,646	-1,394	-479	13,773	15.8%	12,992
3	25,246	8,415	15,568	-1,394	-479	13,694	15.7%	12,547
4	25,119	8,373	15,490	-1,394	-479	13,617	15.6%	12,117
5	24,994	8,331	15,413	-1,394	-479	13,539	15.5%	11,702
6	24,869	8,290	15,336	-1,394	-479	13,462	15.4%	11,301
7	24,744	8,248	15,259	-1,394	-479	13,385	15.4%	10,913
8	24,621	8,207	15,183	-1,394	-479	13,309	15.3%	10,539
9	24,498	8,166	15,107	-1,394	-479	13,233	15.2%	10,178
10	24,375	8,125	15,031	-1,394	-479	13,158	15.1%	9,829
11	24,253	8,084	14,956	-1,394	-479	13,082	15.0%	9,491
12	24,132	8,044	14,881	-1,394	-479	13,008	14.9%	9,166
13	24,011	8,004	14,807	-1,394	-479	12,933	14.8%	8,851
14	23,891	7,964	14,733	-1,394	-479	12,859	14.8%	8,548
15	23,772	7,924	14,659	-1,394	-479	12,786	14.7%	8,254
16	23,653	7,884	14,586	-1,394	-479	12,712	14.6%	7,971
17	23,535	7,845	14,513	-1,394	-479	12,639	14.5%	7,698
18	23,417	7,806	14,441	-1,394	-479	12,567	14.4%	7,433
19	23,300	7,767	14,368	-1,394	-479	12,495	14.3%	7,178
20	23,183	7,728	14,296	-1,394	-479	12,423	14.3%	6,932
21	23,068	7,689	14,225	-1,394	-479	12,351	14.2%	6,694
22	22,952	7,651	14,154	-1,394	-479	12,280	14.1%	6,464
23	22,837	7,612	14,083	-1,394	-479	12,209	14.0%	6,242
24	22,723	7,574	14,013	-1,394	-479	12,139	13.9%	6,027
25	22,610	7,537	13,943	-1,394	-479	12,069	13.8%	5,820
סה"כ			370,417	-34,861	-11,984	323,573	371.3%	228,340
IRR	נומינלי	14.90%			תשואה ממוצעת	נומינלי	14.9%	
IRR	מהוון	11.59%			תשואה ממוצעת	מהוון	10.5%	

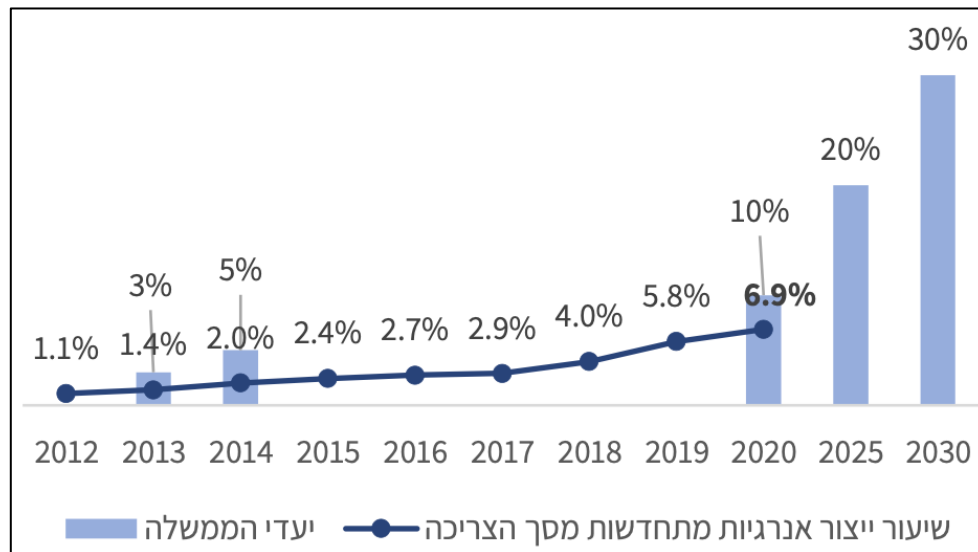
נספח 4 : יעדי ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, לפי שנת יעד, 2020 מקור : מרכז המחקר והמידע כנסת ישראל.



נספח 5 : תחזית חיבור מתקני אנרגיה מתחדשת 2020-2025



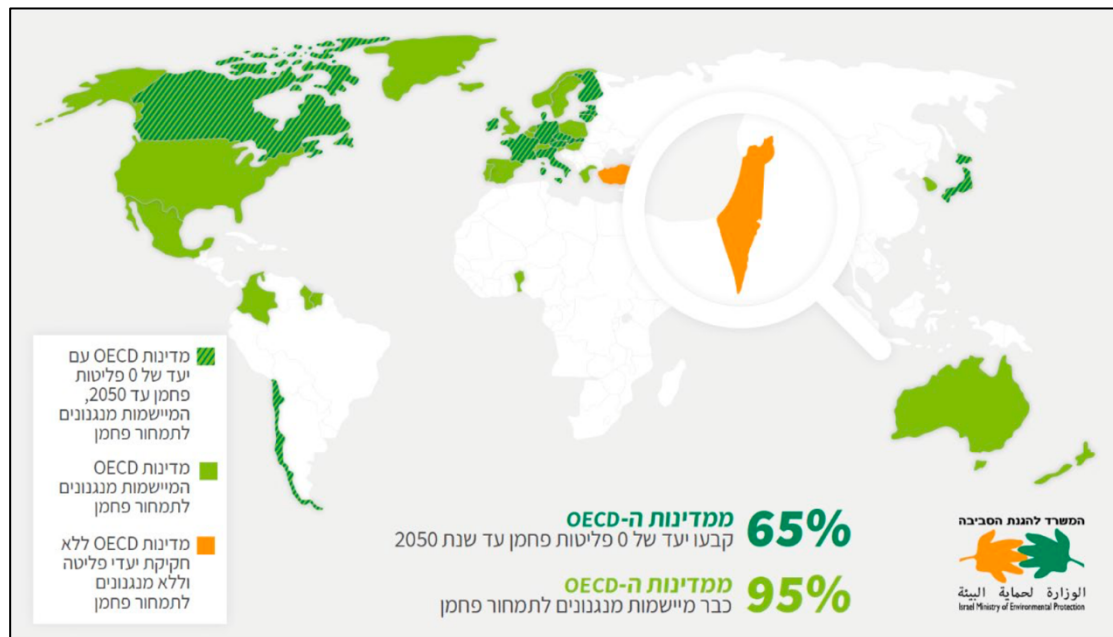
נספח 6 : שיעור ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות מסך הצריכה, ביחס ליעדי הממשלה 2012 - 2020



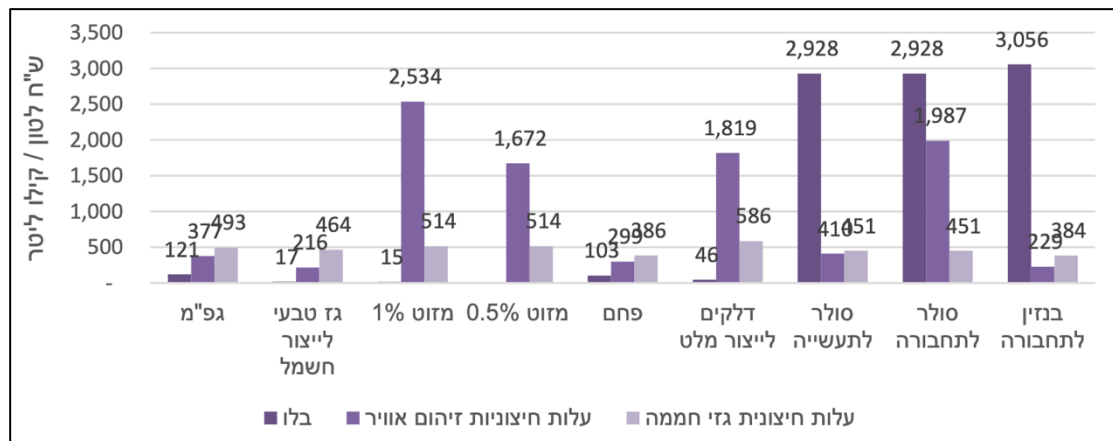
נספח 7 : אבני הדרך המרכזיות בפעילות הממשלתית בתחום התייעלות אנרגטית

• חוק מקורות אנרגיה, התש"ן	1989
• החלטת ממשלה 4095: צעדים להתייעלות אנרגטית- צמצום בצריכת החשמל	2008
• התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית והתוכנית להפחתת גזי חממה לשנים 2010-2020 (ועידת האקלים בקופנהגן)	2010
• החלטת ממשלה 542: הפחתת פליטות גזי חממה וייעול צריכת האנרגיה במשק (ועידת האקלים בפריז)	2015
• החלטת ממשלה 1403: תוכנית לאומית ליישום היעדים להפחתת פליטות גזי חממה ולהתייעלות אנרגטית	2016
• החלטת ממשלה 3269: אישור התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית לשנים 2016-2030	2017
• התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית לשנים 2020-2030	2020
• החלטת ממשלה 541: אישור עדכון לתוכנית הלאומית להתייעלות באנרגיה והפחתת פליטות גזי חממה	2021

נספח 8 : סיווג מדינות ה-OECD לפי תוכניות להפחתת פליטות והחלה של תמחור פחמן.



נספח 9 : השוואה של גובה הבלו לעומת גובה העלויות החיצוניות מזיהום אוויר ומפליטות גזי חממה



נספח 10 : מבנה פאנל סולארי. מקור: Solar Energy Industries Association

