

## **תעשיית האנרגיה הסולארית בישראל – תמונת מצב מעודכנת**

**ניתוח כלכלי ובחינה מחודשת של המדיניות הממשלתית**

**ירוס אריאב**

**ד"ר מאיר אמיר**

**מאי 2011**

---

## תקציר מנהלים

1. בינואר 2009 נכנסה ישראל לעידן האנרגיות המתחדשות ובעיקר לעידן האנרגיה הסולארית. במועד זה קיבלה ממשלת ישראל החלטה, החלטת ממשלה מס' 4450, שלפיה עד לשנת 2020 ייוצר 10% מהחשמל בישראל באמצעות אנרגיות מתחדשות.
2. בכך הצטרפה ישראל, באיחור מסוים, למדינות רבות בעולם, מדינות ה-OECD ומדינות האיחוד האירופי למשל, אשר מעודדות הקמת תעשיית אנרגיה מתחדשת בתחומן, תוך השקעת משאבים משמעותית והקמת מערכת רגולטיבית ציבורית המסדירה את פעילותה.
3. שני עקרונות מפתח עומדים ביסוד הקמת תשתית לאנרגיה מתחדשת: הרצון לפתח מקורות אנרגיה נקיה שאינה פולטת מזהמים ואינה פולטת פחמן והצורך לפתח מקורות אנרגיה מתחדשים, לא פוסיליים, שיגבירו את העצמאות האנרגטית של המדינות השונות. העקרונות הללו תקפים כמובן גם לגבי ישראל, אולי יותר מאשר במדינות רבות אחרות.
4. ההסדרה והעידוד של ייצור האנרגיה הסולארית בכלל והתעשייה הפוטוולטאית בפרט, חייבים להוות נדבך מרכזי בעמידה ביעדי החלטת הממשלה, וזאת לאור היתרון היחסי של ישראל, זמינות הטכנולוגיה והתאמתה לפרופיל הביקוש של החשמל שבאה לידי ביטוי בניתוח הכלכלי שבבסיס עבודה זאת.
5. בעשור האחרון חלה ירידה של 85% בעלות המודול הסולארי הבסיסי. תהליך ירידת מחיר המודול ואיתו מחיר ההתקנה כולה עדיין לא מוצה, אולם אין לצפות לירידת מחיר כה דרמטית גם בעתיד.
6. כושר הייצור הפוטוולטאי בעולם בשבע השנים האחרונות גדל בלמעלה מפי 20 והוא צפוי להמשיך ולעלות בקצב גידול שנתי של 20% שמניע תעשייה פוטוולטאית גלובלית אדירה שהיקפה עומד השנה על 86 מליארד דולר. הגידול הדרמטי בתעשייה מבטא גידול אדיר בביקוש לחשמל פוטוולטאי, כאשר גרמניה הייתה החלוצה בתחום ואחריה נכנסו מדינות כמו ספרד, איטליה, יפן, צרפת, בריטניה, הודו, סין, קנדה ורבות אחרות. ניתוח מפורט של הגידול בביקוש העולמי מצוי בגוף העבודה. יש לציין כי במדינות אלה תנאי הקרינה נחותים בהשוואה לישראל וכמו כן יש להן מגוון של אנרגיות נקיות (הידרו, תרמו וכוי) שאין בישראל. מפתיע שדווקא ישראל, שלה יתרון יחסי מובהק בתחום האנרגיה הסולארית ואשר רשמה בעבר פיתוחים טכנולוגיים פורצי דרך בתחום, מפגרת אחרי העולם המפותח בייצור אנרגיה סולארית.
7. בשלב הראשון של המהלך לפיתוח מקורות אנרגיה מתחדשים הוחלט לפתח כושר הספק חשמלי של MW 1750 באמצעות הקמת שדות סולאריים. עד עתה הוקצו MW 170

לשדות קטנים, בעיקר על גגות ו MW 300 לשדות סולאריים בינוניים, על הגגות והקרקע. הקצאת המכסות לוותה בקביעת מחירי רכישה לחשמל שיוצר, התחייבויות רכישה לתקופה של 20 שנה במחיר קבוע.

8. בעקבות שתי הסדרות ראשונות אלו, ובציפייה להסדרת השדות הגדולים, קמה בארץ תעשייה סולארית רחבה ומרשימה. הוקמו עשרות חברות חדשות, גויס הון בהיקף של מאות מיליוני דולרים, שולבו משקיעים אסטרטגיים מחו"ל בחלק מהחברות החדשות שהוקמו והענף בכללו נערך להקמת התעשייה החדשה.

9. בעבודה, ערכנו בדיקה כלכלית על העלות הנמנעת למשק מייצור קילווט שעה סולארי. עלות זאת מתחלקת לעלות הכלכלית ולהשפעה החיצונית השלילית (שאותה כימתנו) של פליטת המזהמים והפחמן כתוצאה מייצור קווי"ש פוסילי. לא הבאנו בחשבון כמותי, מטעמי שמרנות, את ההשפעות החיצונית החיוביות הנוספות כתוצאה מייצור ופיתוח אנרגיה פוטוולטאית, אך הן מוצגות בנפרד ברמה האיכותית.

10. בבדיקה הכלכלית שערכנו הבאנו בחשבון את העובדה שפרופיל הייצור של אנרגיה סולארית, ובפרט פוטוולטאית, תואם במידה רבה את פרופיל הביקוש הכללי לחשמל בכך ששעות הקרינה החזקה מרוכזות כאשר הביקוש לחשמל בשיא. הדיון בעלות של ייצור קווי"ש מאנרגיה סולארית צריך להתרכז בדיון בעלות ההספקה של חשמל בשעות ביקוש השיא, כאשר כל פוטנציאל הייצור מתממש, כולל תחנות הכוח השונות הפועלות על גז, אשר נועדו בעיקר לתגבור המערכת בשעות השיא, שעות שבהן יש חפיפה גדולה עם השעות שבהן פועלות המערכות הסולאריות. הדבר נכון בעיקר בימי החול של הקיץ, בחודשים יוני – ספטמבר בין השעות 0900-1800. בשעות שיא הביקוש משתמשת חברת החשמל גם בסולר יקר. עובדה זאת נכונה גם כאשר עולה השימוש בגז לייצור החשמל, וזאת כתוצאה מחוזי אספקת הגז ועיקרון ה swing או take or pay שבעטיים לא כדאי, משיקולים מסחריים, לחייב אספקת גז העונה על שיא הביקוש ועדיף בשוליים להשתמש בדלקים יקרים. קיומה של תעשייה סולארית יחסוך שימוש במרביתם של הדלקים היקרים הללו. בחברת החשמל קיים מודל אופטימיזציה שהיה מצביע על השינוי בצריכת הסולר, עם ובלי ייצור סולארי. בהעדר נגישות למערכת זאת ערכנו חישוב מקורב משלנו, בעזרת מר יגאל פורת, מנהל אגף מחקר ופיתוח בחברת החשמל בעבר.

11. תוצאות חישובנו, שמפורטות בגוף העבודה, מראות שאם תשולב המערכת הפוטוולטאית המייצרת חשמל בשעות שיא הביקוש (כ-62% מייצור החשמל הסולארי נעשה בשעות הפסגה של חברת החשמל) אזי העלות הנמנעת הישירה בייצור חשמל מאנרגיה סולארית תנוע בין 56 אג' ו 59 אג' (תלוי בהיקף הייצור הפוטוולטאי המותקן ובמחיר הגז). אם נוסיף לכך את העלות החיצונית השלילית של פליטת מזהמים ופחמן כתוצאה מייצור קווי"ש פוסילי בסך 18 א"ג, נקבל עלות נמנעת כוללת למשק מייצור קווי"ש סולארי ברמה של כ-75 אגורות לקווי"ש. זאת עלות נמנעת שמתחילה להיות קרובה לעלות הקווי"ש

הסולארי (GRID PARITY) אם נשווה זאת לתעריף של 96 אג' לקווי"ש שהוסדר לשדות סולריים מעל 60 MW. מחישוב זה עולה כי הסובסידיה הגלומה במחיר הניתן לייצור חשמל פוטוולטאי נמוכה בהרבה (מנקודת ראות המשק) ממה שמקובל להניח ומהתבטאויות שנשמעו בנושא.

12. ישראל התחייבה בפורומים שונים ועל ידי מדינאיה הבכירים ביותר לתרום למאמץ העולמי להקטנת פליטת גזי חממה. על רקע כניסת ישראל למועדון המדינות המפותחות ה-OECD, תיאלץ המדינה לקחת על עצמה מחויבויות נוספות וחריפות יותר. במצב עניינים זה המדיניות הממשלתית צריכה להאיץ את המעבר לאנרגיה חלופית, ובראש וראשונה לאנרגיה זמינה ביותר מבחינה טכנולוגית, קלה ומהירה ליישום, כלומר אנרגיה פוטוולטאית. חברת הייעוץ מקינזי, שערכה סקר מקיף בנושא עבור ממשלת ישראל שמטרתו היתה לבחון חלופות להקטנת פליטת פחמן, שאף הוגש לוועידת האקלים בקנזון בדצמבר 2010, בחרה בחלופה עתירת אנרגיה סולארית, לפיה יש להתקין 6000 MW סולארי, מרחק רב מהיעד של 1750 MW שבו אנו עוסקים ובוודאי גבוה בהרבה מאותם 500 MW שנויים במחלוקת בהסדרה הנוכחית.

13. מעבר לתחשיב הכלכלי ולתועלת הסביבתית המכומתת, פירטנו בעבודה מרכיבים נוספים שיש להביאם בחשבון כאשר דנים על מדיניות לפיתוח תעשייה פוטוולטאית:

א. שיפור בביטחון האנרגטי כתוצאה מגיוון מקורות האנרגיה וביזור אתרי הייצור.

ב. קיבוע מחיר האנרגיה לטווח הארוך.

ג. תרומה לתעסוקה בפריפריה (בעיקר בשלב ההקמה).

ד. פוטנציאל לייצוא ידע ויזמות לחו"ל.

ה. פוטנציאל לפיתוח ישראל כמעצמה סולארית שתמצה את יתרונותיה היחסיים באמצעות מחקר בסיסי, מחקר ופיתוח יישומי ומתקני הדגמה. כפי שהוכח בפיתוח תעשיית ההיטק הישראלית, רק סביבה רגולטורית נוחה, מערכת כוללת ידידותית שתזרים ביקושים מקומיים ומדיניות עקבית יוכלו לאפשר זאת.

ו. עידוד פעילות כלכלית והגדלת הכנסה בפריפריה הדרומית, בערבה ובנגב.

ז. פיתוח תעשייה סולארית בקרב הקהילה הבדואית – תרומה להסדרת ההתיישבות הבדואית.

ח. גידול בהספק ייצור החשמל בישראל ומענה לצרכי הביקוש הגוברים שלא בדרך של תכנית חרום יקרה ובזמן הקמה מהיר יחסית.

ט. היבט חינוכי ותדמיתי – ישראל כמובילה בתחום של פיתוח בר קיימא ותרומה לשימור כדור הארץ.

14. מחיר החשמל בישראל נמוך ביחס לכמעט כל מדינות העולם המפותח, וזאת למרות מספר גורמים שאמורים לייקר את החשמל בישראל: היותינו אי אנרגטי, העדר חשמל הידרואלקטרי ואי היעילות המובנית כתוצאה ממונופול חברת החשמל. הסיבה לכך שלמרות גורמים אלה מחיר החשמל בישראל זול במיוחד היא עקב סיבסוד סמוי שקיים במחיר החשמל שמתבטא בתשואה הנמוכה להון של חברת החשמל ובאי הכללת השפעות חיצוניות שליליות בתעריף. סבסוד סמוי זה מביא להקצאת מקורות לא יעילה במשק כיון שמחיר החשמל נמוך מעלותו החברתית מנקודת ראות המשק. מחיר החשמל אף ירד בשנתיים האחרונות ב-14% עקב המעבר לגז טבעי. עבודה זאת מראה כי החשמל הסולארי קרוב בעלותו לחשמל הפוסילי, בהנתן הנחות המודל וההשפעות הסביבתית. אך גם אם יש צורך בהעלאה מסויימת במחיר החשמל בעקבות ייצור חשמל סולארי, השפעה זאת היא חיובית מנקודת ראות המשק, בגלל הסבסוד הסמוי הקיים היום וצמצום ההשפעות הסביבתיות השליליות עקב החיסכון בחשמל. ייקור החשמל הוא גם צעד פרוגרסיבי בגלל המתאם הגבוה בין הכנסה וצריכת חשמל במשקי הבית.

15. ביחסי הממשלה עם הסקטור העיסקי בכלל, ובהסדרה רגולטורית על אחת כמה וכמה, ישנה חשיבות רבה לעקביות במדיניות. הדבר נכון במיוחד במקרה שלפנינו, כאשר מדובר על השקעות עתירות הון ועתירות אשראי חיצוני. עידוד תעשייה זאת מותנה בקיומה של מדיניות ממשלתית ברורה, עקבית, רציפה ומובנת. יש כמובן לממשלה זכות לשנות מדיניות בכל נושא, אך שינוי זה צריך להיות מושכל ומנומק והוא יכול להתרחש רק כאשר נוצרות נסיבות המצדיקות את השינוי. לא ברור במקרה של המדיניות כלפי האנרגיה הסולארית מה הן הנסיבות שהשתנו, ואם קיימים שינויי נסיבות הם דווקא בכיוון של האצת תהליך המעבר לאנרגיה סולארית: האצת התהליך בעולם, הוזלת ההתקנה, ההצטרפות ל-OECD, בחינה מחדש של פיתוח האנרגיה הגרעינית בכל העולם, קשיים באספקת הגז ממצרים והגברת הדרישות והמודעות הסביבתית.

16. לאור בדיקת הנושא בארץ, סקירת המתרחש בעולם והבדיקה הכלכלית שערכנו הגענו למספר המלצות מדיניות:

א. לישראל קיים יתרון יחסי משמעותי בתחום האנרגיה הסולארית. ישנה הצדקה כלכלית מלאה להמשך המדיניות של פיתוח התעשייה הסולארית בישראל, כפי שנקבעה כבר בהחלטת ממשלה משנת 2009.

ב. יש לשחרר מיידית את ה-500 MW של השדות הסולארים הגדולים ויש גם מקום לבחון הגדלת מכסות של השדות הבינוניים. היתרון הגדול בהגדלת מכסות השדות

הבינוניים הוא בעובדה שכבר בוצעו השקעות ניכרות לקראת פיתוח שדות אלו וניתן לייצר מאות מגוואטים נוספים בשדות אלו במהלך שנתיים עד שלוש שנים.

ג. יש לבחון התאמת מחירים לאור הוזלת מחירי ההתקנה שנרשמה מאז הוסדרו מחירי הרכישה של חשמל לשדות הבינוניים. לדעתנו בעת הגדלת מכסות השדות הבינוניים יש להקצות את כל המכסות הנוספות לייצור בשדות קרקעיים בנגב ובערבה, כפי שנקבע כבר בהחלטת הממשלה המקורית משנת 2009 .

ד. יש לשחרר את מגבלת ריתוק 20% הון עצמי לפרוייקטים פוטוולטאים ולאפשר למערכת הבנקאית לקבוע כללים בנושא, ללא תכתיב ממשלתי.

ה. התעשייה הסולארית בישראל היא עדיין "תעשיית ינוקא", וזאת היא זקוקה לעידוד ממשלתי וליצירת אקלים רגולטורי תומך ואוהד.

ו. יש לעודד הקמת פרויקטי מחקר ופיתוח בתחום הסולארי במוסדות המחקר האקדמיים ובחברות תעשייתיות, חברות סטארט אפ וחברות בוגרות.

ז. כל עיכוב בקבלת החלטות וסטייה ממתווה מדינות ברור שהותווה לטווח הארוך יביאו לפגיעה בתעשייה חדשה שזה מקרוב קמה ועושה את צעדיה הראשונים. על הממשלה לאמץ מדיניות ארוכת טווח, עקבית, שקופה וברורה ולאפשר למנגנון השוק התחרותי ליישם ולהקים את התעשייה הסולארית בישראל.

17. נדגיש כי עבודה זאת נעשתה לבקשת ערבה פאוור בע"מ, אך התנאי לביצוע העבודה היה קבלת חירות מוחלטת בכתובת הדו"ח, בהסקת המסקנות ובניסוח ההמלצות. לפיכך מבטאת עבודה זאת את עמדתנו המקצועית בלבד.

## תוכן העניינים

8	פרק א – מבוא
12	פרק ב- האנרגיה הסולארית בעולם – תמונת מצב מעודכנת
18	פרק ג - המתקנים הסולאריים בייצור חשמל – ניתוח כלכלי
22	פרק ד - היבטים סביבתיים/כלכליים של סוגיית האנרגיה הסולארית
28	פרק ה - תועלות חיצוניות נוספות בייצור חשמל מאנרגיה סולארית
33	פרק ו – התעשייה הסולארית וסוגיית מחירי החשמל בישראל
36	פרק ז – סיכום והמלצות

## פרק א - מבוא

מסמך זה הינו עבודה כלכלית שנועדה לבחון את התועלת למשק מפיתוחה של התעשייה הסולארית בישראל, פיתוח שהוא כולו פרי יוזמה ממשלתית שעליה נרחיב את הדיבור.

במונח תועלת למשק הכוונה היא לתועלת כלכלית למשק הלאומי, כולל כמובן תועלות חיצוניות נוספות מעבר לשאלת מחיר העלות הישיר בפועל של האנרגיה הסולארית. התועלת למשק אינה תמיד חופפת את התועלת של חברה פרטית, או של תעשייה פרטית שלמה, ולכן חשוב לנו להדגיש כבר בפתח הדברים כי מסמך זה יעסוק בתועלת למשק של התעשייה הסולארית.

נדגיש בראשית הדברים כי פיתוח תעשייה סולארית באמצעות מדיניות ממשלתית אקטיבית איננו ייחודית למשק הישראלי. המחוייבות העולמית להפחתת גזי החממה ופיתוח מקורות אנרגיה מתחדשים כפי שהנושא בא לידי ביטוי בחתימה על אמנות בינלאומיות שונות, להן שותפה גם ישראל, חייבה את המדינות השותפות לקביעת יעדי פיתוח מאתגרים ולנקיטה במדיניות נחושה לעידוד והכוונה של מעבר למקורות אנרגיה חליפיים באמצעות הקצאת משאבים ציבוריים לא מבוטלים לקידום הנושא. העולם המפותח לקח על עצמו את חלק הארי במעבר לאנרגיות מתחדשות, ולכן כניסת ישראל לארגון מדינות ה OECD מחדדת את הצורך של ישראל "ליישר קו" עם מדינות העולם המפותח ביישום מדיניות המעודדת מעבר לאנרגיות מתחדשות. מיקומה הגיאוגרפי של ישראל והאקלים השורר בה יוצרים לישראל יתרון יחסי דווקא בתחום של המעבר לאנרגיה הסולארית. אין זה מקרה שחלק נכבד מפריצות הדרך הטכנולוגיות בעבר בתחום האנרגיה הסולארית מקורן בהמצאות ישראליות.

למדיניות העידוד הנקוטה במדינות שונות כלפי אנרגיות מתחדשות יש גם היגיון בתחום של הפחתת התלות האסטרטגית בגורמי חוץ והבטחת בטחון אנרגטי מקומי, וגם בתחומים אלה ההיגיון שקיים בעולם המפותח תקף ביתר שאת לגבי ישראל.

הבסיס להקמת התעשייה הסולארית בישראל, שגילה דומה אינו עולה על שלוש שנים, הוא בהחלטת ממשלת ישראל מינואר 2009, החלטה מס' 4450, שקבעה יעד לאומי לפיו עד שנת 2020 תיוצר 10% מהאנרגיה החשמלית בישראל באמצעות אנרגיות מתחדשות, אשר התעשייה הסולאריות היא המרכיב העיקרי בהן.

בשנת 2009 יוצרו בארץ כ 53 מיליארד קו"ש ועל פי קצב גידול שנתי בצריכת חשמל של 3.5% ייוצרו בארץ כ 77 מיליארד קו"ש בשנת 2020. על מנת לעמוד ביעד של ייצור 10% מהחשמל מאנרגיה מתחדשת יש להתקין כ - 4300 מגוואט של אנרגיה מתחדשת<sup>1</sup>. במידה ויושג היעד המוצהר של ירידה בצריכת החשמל לנפש של 20% עד למועד זה, יהיה צורך להתקין כ - 3450 מגוואט של אנרגיה מתחדשת.

תכנית המשרד לתשתיות לאומיות (תש"ל) היא בשלב זה לייעד 1750 מגוואט לייצור באמצעות אנרגיה סולארית. עד היום נתנו מכסות ונקבעו תעריפי רכישה (FIT) מחייבים לשדות קטנים



עד 50 קילוואט, בעיקר על גגות, בהיקף של 170 מגוואט ונקבעו מכסות ותעריפים לשדות בינוניים, עד 12 מגוואט, בהיקף של 300 מגוואט. הסדרת השדות הגדולים, שגודלם מעל 12 מגוואט, היא הנושא העומד כיום על הפרק. מדובר בהסדרה של 500 מגוואט שכבר נקבעו לה תעריפי רכישה.<sup>2</sup>

לקראת השלמת הסדרת השדות הגדולים הועלו הסתייגויות מצד משרד האוצר לגבי הכדאיות הכלכלית של תוכנית האנרגיה המתחדשת הלאומית ולפיכך הנושא אמור להידון באחת מישיבות הממשלה הקרובות, בתחילת חודש מאי.

המסמך להלן נועד להתמודד כאמור עם סוגיית הכדאיות הכלכלית של האנרגיה המתחדשת ובעיקר בסוגיית האנרגיה הסולארית שמהווה כיום את עיקר בניינו של התחום הזה.

מאז החלטת הממשלה בראשית שנת 2009 קמה בארץ תעשייה סולארית דינמית מאד. 170 המגוואט שהוקצו לגגות ינוצלו במהלך החודשים הקרובים ועל 300 המגוואטים של השדות הבינוניים, על הגגות ועל הקרקע, מתחרות חברות רבות שטווח הביקוש שלהן מגיע לכ 1200 מגוואט, כ 800 מגוואט מהיקף זה יוכל להתממש בשנתיים הקרובות אם תוגדל מכסת השדות הבינוניים.

בנוסף, נערכות החברות לביצוע לקראת השלמת הסדרת המכסות של השדות הגדולים.

מדובר בחברות חדשות שקמו מתוקף החלטת הממשלה משנת 2009, חברות שחלקן גייסו משקיעי חוץ אסטרטגיים כשותפים, נערכו לקבלת אשראי בנקאי ואחר בהיקף של מאות מיליוני דולרים, ואף למעלה מכך, והתארגנו היטב לקראת האתגר הטכנולוגי, התמודדות עם הרגולציה, הערכות לרכישת קרקעות מסיבית והתמודדות עם כל ההליכים התכנוניים והסטטוטוריים הנדרשים להוצאת התכניות הללו אל הפועל.

נראה לנו כי חברות אלו נדרשות ותובעות כי מדיניות הממשלה בנושא תהייה ברורה, עקבית, רציפה ומובנת.

זו דרישה שנראית לנו הגונה ולגיטימית.

השקעות באנרגיה הן השקעות לטווח ארוך, עתירות הון ועתירות אשראי חיצוני. על מנת לעודד השקעות הון עצמי, Equity, לעודד השקעות חוץ, לעודד גיוס חוב מהארץ ומחו"ל, יש לקבוע כללים ברורים ולשמור אותם על פני זמן. השוק אינו אוהב עצירות פתע ושנויי מדיניות תכופים. אמנם, זכותה של הממשלה לשנות מדיניות בכל נושא. אך שנוי זה צריך להיות מושכל, שקוף ומנומק והוא יכול להתרחש רק כאשר נוצרו נסיבות שמצדיקות שנוי כיוון ומדיניות.

<sup>1</sup> על פי מקדם ניצול של 25% המקובל בתעשייה הסולארית

<sup>2</sup> מחיר קווי"ש לשדה קטן הוא 1.5 ₪ מחיר לשדה בינוני הוא 1.45 ₪ שירד תוך שנתיים ל 1.25 ₪ ומחיר לשדה גדול הוא 1.08 ₪ או 0.96 ₪ לשדה גדול מ 60 מגוואט

לא ברור לנו, כבר בשלב זה של הדיון, אילו שינויים קרו בשוק האנרגיה המתחדשת מאז התקבלה החלטת הממשלה בראשית שנת 2009 אשר מצדיקים השעייה ביישום החלטות הממשלה.

בפרק הבא של העבודה, פרק ב, נעסוק בניתוח ההתפתחות של התעשייה הסולארית בעולם בעשור האחרון והצפי לשנים הקרובות. התעשייה הסולארית היא תעשייה גלובלית, רכיבי השדה הסולארי מיוצרים ומורכבים בכל העולם ומחיריהם ידועים. ידועה גם מדיניות העידוד שנוקטות הממשלות השונות בבואן לעודד את התעשייה הסולארית המקומית, מדיניות די דומה, אגב, בכל המדינות שעוסקות בכך. אנו חושבים כי פרק זה יתן פרספקטיבה טובה לעיסוק בנושא בארץ, שכן, הרציונל העומד מאחורי הפרויקט הסולארי חד הוא והניסיון שנרכש בעולם הוא רלבנטי לדיון בנושא כאן.

בנוסף, כל מדינות העולם קשורות באמנות בינלאומיות שיש להן השלכה על פליטת גזי חממה ובעקיפין על פיתוח אנרגיה נקיה.

בפרק ג נעסוק בסוגייה כלכלית מרכזית: חישוב העלות הנחסכת למשק החשמל הלאומי בייצור קווי"ש מאנרגיה סולארית. פרק ג הוכן ע"פ בקשתנו על ידי יגאל פורת, לשעבר מנהל אגף מחקר ופיתוח בחברת החשמל ובעל ניסיון רב בנושא. יגאל פורת שימש גם כיועץ למשרד לתשתיות לאומיות, לרשות לשירותים ציבוריים חשמל ולמשרד להגנת הסביבה. כיום הוא יועץ לחברת סאנפאוור ישראל, אחת החברות הסולאריות הגדולות הפועלות בתחום התעשייה הסולארית הפוטוולטאית.

בפרק ד נעסוק בצדדים הסביבתיים של סוגיית האנרגיה הסולארית ובמשמעותם הכלכלית. האנרגיה הסולארית היא אנרגיה נקיה, אין היא פולטת מזהמים הפוגעים בבריאות הציבור ואין היא פולטת גזי חממה, GHG, בעיקר פחמן, אשר השפעתו על התחממות כדור הארץ ידועה וישראל מחוייבת להקטין את פליטתו, כפי שנפרט בפרק זה.

בפרק ה נמנה וננתח את היתרונות הנוספים שבפיתוח התעשייה הסולארית בישראל: ביטחון אנרגטי, קיבוע מחירי אנרגיה לטווח הארוך, פיתוח אזורי הנגב והערבה, יצירת תעסוקה, יצירת הכנסות נוספות בסקטור הכפרי, פיתוח ידע על בסיס מו"פ ישראלי ייעודי בתחום הסולארי, יזמות בחו"ל בתחום הסולארי של חברות ישראליות על בסיס הידע שנוצר ופותח בארץ, סוגיית הקמת חוות סולאריות על אדמות הבדואים בדרום ויתרונות נוספים.

בפרק ו נדון בסוגיית מחירי החשמל הראויים, המחירים אשר אמורים לעלות כתוצאה מיישום הפרויקט הסולארי, ונבחן האם עליית מחירי החשמל מהווה בעיה מבחינת המשק או שהיא מובילה להקצאת מקורות יעילה.

בפרק ז נסכם את עבודתנו ונצרך המלצות קונקרטיות, פועל יוצא של מסקנות הניתוח הכלכלי. לצורך הכנת המסמך למדנו ביסודיות את התחום, עברנו על מסמכים רבים מהארץ ומהעולם ונפגשנו עם גורמים שונים הן מהממשלה והן מהתעשייה.

עבודה זאת נעשתה לבקשתה של חברת ערבה פאוור בע"מ אך התנאי להכנתה מבחינתנו היה קבלת חירות מוחלטת בהסקת המסקנות ובכתיבת הדוח.  
לפיכך, אנו מדגישים כי עבודה זאת משקפת את עמדתם של החתומים מטה בלבד.

## פרק ב- האנרגיה הסולארית בעולם – תמונת מצב מעודכנת

ניתן לייצר אנרגיה חשמלית מקרינת השמש בטכנולוגיות תרמו סולאריות CSP ובטכנולוגיות פוטו וולטאיות PV. הדיון להלן יתמקד בטכנולוגיות הפוטו וולטאיות שמהוות את הבסיס להקמת התעשייה הסולארית בישראל.

עלות הקמת מערכת פוטו וולטאית מורכבת ממספר סעיפי השקעה: עלות הפאנל הסולארי, המודול, עלות ממיר הזרם, Inverter, עלות הרכיבים האחרים, כבלים וקונסטרוציית המתכת, עלות העבודה הכרוכה בהקמה ועלויות כלליות אחרות בעת ההקמה והפיתוח: פיקוח, תכנון, תשלומי חיבור לרשת, יועצים וכו'. מרכיב העלות הבסיסית הוא מרכיב המודול, המהווה כ- 40% מסך עלות ההקמה, הממיר מהווה כ- 12%, עבודה כ- 8%, עלויות הרכיבים, הקונסטרוציית והכבלים מהווים 20% וזהו גם שיעור ההוצאות הכלליות.

עלות המודול משפיעה על עלות שאר המרכיבים של המערכת BOS והיא המשתנה המשפיע על עלות התקנה של מערכת פוטו וולטאית הנמדדת בעלות לוואט W, קילוואט KW, מגהוואט MW או גיגהוואט GW, כולן כפולות של אלף אחת לאחר השניה.

עד לראשית שנות ה-2000 הייתה עלות המודול למעלה מ-10 דולר לוואט ובמחיר זה לא הייתה האנרגיה הסולארית בת תחרות לאנרגיה חשמלית המופקת משריפת דלקים, אנרגיה פוסילית.

החל מאמצע שנות ה-2000 עם התחלת ייצור מודולים פוטו וולטאים בכמות מסחרית/תעשייתית החל תהליך ירידת מחיר של המודול הסולארי. בעשור האחרון נרשמה ירידה של 85% במחיר העלות של המודול הבסיסי ומחירו כיום עומד על כ- 1.5 דולר לוואט. מחיר התקנה הכולל את כל רכיבי ההוצאה עומד כיום על כ- 3.5 דולר לוואט מותקן.

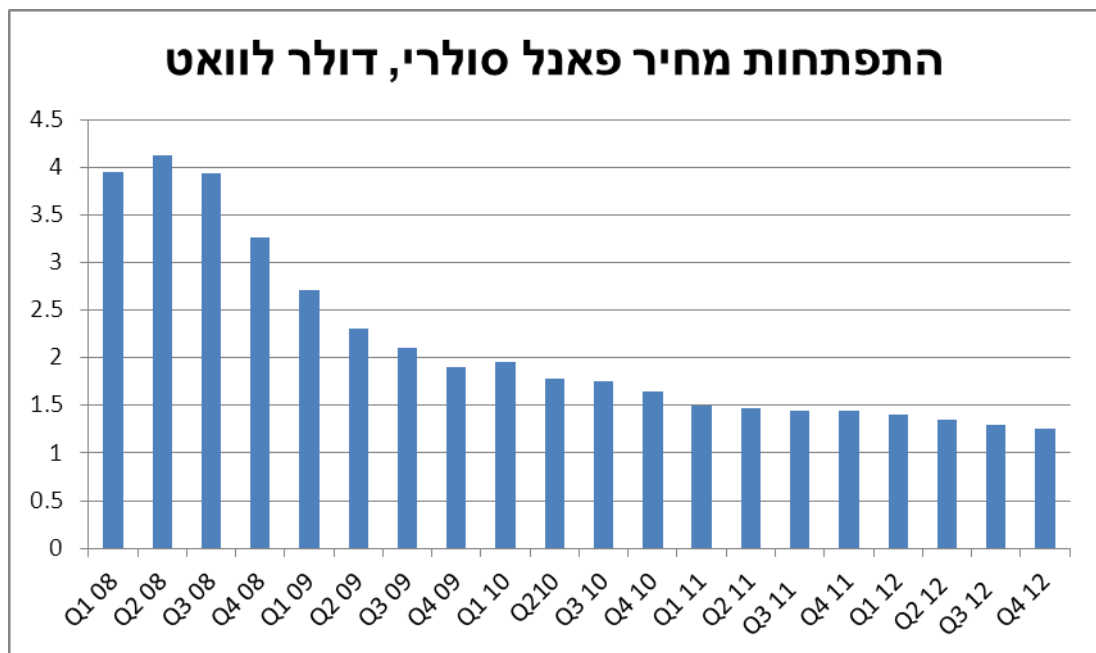
עלות הייצור של קווי"ש, על בסיס מחיר עלות מותקנת זו נע כיום בין 25-35 סנט, מותנה בעלות ההון, עלויות טרם הקמה, מחיר הקרקע ומספר שעות פעולה אפקטיביות אקוויוולנטיות בשנה, אשר בישראל מוערך בכ- 1800 שעות. ישראל היא אחת המדינות המתאימות בעולם לייצור חשמל מאנרגיה סולארית, אך למרבה הפליאה, חלוצת הפיתוח והיישום של האנרגיה הסולארית בעולם הייתה, ועדיין נשארה, גרמניה, שבה ממוצע שעות האור בשנה המתאימות לייצור חשמל סולארי עומד על 1100 בלבד.

תהליך ירידת מחיר המודול, ואיתו מחיר ההתקנה כולה, עדיין לא מוצה וצפויה ירידת מחירים נוספת בשנים הקרובות, אם כי לא כה דרמטית כמו בעשר השנים האחרונות.

עיקר המידע שיוצג להלן מקורו בבתי השקעות המסקרים עבור לקוחותיהם את חברות האנרגיה הסולארית הנסחרות בבורסה ובתוקף כך אוספות מידע רב על הענף ועל ההתפתחויות בו, כולל תחזיות לטווח הקצר והבינוני. (למשל ברקלייס, ג'פריס, האחים לזר שהמידע להלן מבוסס על מחקרים שלהן משנת 2010 ו-2011)

תוואי מחירי יחידה למודול פוטו וולטאי בשנים האחרונות ובשנים הקרובות מוצג להלן:

מתווה ירידת מחירי מודול סולארי	
מחיר בדולרים	רבעון בשנה
3.95	Q1 08
4.12	Q2 08
3.94	Q3 08
3.26	Q4 08
2.71	Q1 09
2.3	Q2 09
2.1	Q3 09
1.9	Q4 09
1.95	Q1 10
1.78	Q2 10
1.75	Q3 10
1.65	Q4 10
1.5	Q1 11
1.47	Q2 11
1.45	Q3 11
1.45	Q4 11
1.4	Q1 12
1.35	Q2 12
1.3	Q3 12
1.25	Q4 12
מקור: ברקליס 2010	



ירידת העלות מוסברת בעיקר עקב גידול בהיצע, גידול שעונה על הגידול בביקוש להקמת שדות סולאריים, בעקבות כניסה הדרגתית של מדינות לעידן האנרגיה הסולארית ואימוץ מדיניות המבוססת על קביעת מכסות התקנה של שדות במונחי מגוואט, קביעת מחיר רכישת קווי"ש ע"י ספק החשמל המקומי ורגולציה ממשלתית משלימה. היתרונות לגודל בייצור, השיפורים הטכנולוגיים והמחקר והפיתוח שתפס תאוצה, בעיקר לכיוון העלאת נצילות התאים

הסולאריים, כל אלו הביאו להקמת תעשייה גלובלית המתפתחת בצורה עקבית ונמרצת על פני זמן במקומות שונים בעולם.

הטבלה להלן מתארת את התפתחות כושר הייצור של התעשייה הסולארית, (צד ההיצע) בשבע השנים האחרונות. כושר הייצור גדל בלמעלה מפי 20, 2057%, ובאופן בלתי נמנע הוא הולך ומתרכז בסין.

התפתחות כושר ייצור סולארי בשנה. MW		
2011	2004	
3,783	120	אירופה
3,505	510	יפן
3,860	33	ארה"ב
11,400	30	סין
2,000	500	אחרים
24,548	1,193	סה"כ

התחזיות המעודכנות חוזות כי בשנת 2015 יעלה היקף הייצור העולמי על 50,000 מגוואט, משמע המשך גידול הענף בקצב שנתי של 20%. בתקופה של 10 שנים גדל כושר הייצור העולמי פי 50 !

אם נניח, כפי שהראנו, כי כיום עלות התקנת מגוואט עומדת על 3.5 מיליון דולר, הרי היקף התעשייה הפוטו וולטאית בעולם עומד השנה על כ- 86 מיליארד דולר. אין הרבה תעשיות שצמחו בשיעורים אלו בתקופה האחרונה, תוך ירידת מחירים דרמטית של 85% כאשר הכיוון והתחזיות מורות על המשך תהליך הגידול בעשור הקרוב, גידול כמותי דו ספרתי תוך המשך ירידת מחירים. התפתחות הביקוש לאנרגיה פוטו וולטאית במספר מדינות מפתח מופיעה בטבלה להלן:

תחזית ייצור חשמל באמצעות PV (מגוואט מותקן והתקנות חדשות)				
אומדן התקנות חדשות			מותקן	
2012	2011	2010	2009	מדינה/שנה
4,000	5,500	6,700	9,779	גרמניה
3,500	2,500	1,300	1,619	ארה"ב
2,200	3,500	2,500	1,073	איטליה
1,500	1,000	475		סין
1,400	1,100	700	2,377	יפן
500	600	500	278	צרפת
500	400	75		בריטניה
500	450	165		קנדה
1,100	300	35		הודו
360	350	220		בלגיה
250	250	200	455	דרום קוריאה
200	150	100	3,138	ספרד
4,720	2,265	1,900		אחרות
20,730	18,365	14,870	18,719	סה"כ בעולם

מקור: Solar energy handbook:Barcleys capital sep 2010

היקף ההתקנה העולמי הצפוי בשנת 2011 מהווה כ- 100% מההספק המותקן המצטבר העולמי בשנת 2009. בעקבות גרמניה, שהייתה כאמור החלוצה בתחום, נכנסו ספרד, יפן ואיטליה ובשנה האחרונה הצטרפו באופן עקבי ומתוך תכנית פיתוח של הטווח הארוך מדינות נוספות כמו דרום קוריאה, קנדה, צרפת, בלגיה, בריטניה, סין, הודו וגם צ'כיה שמתכננת התקנת MW 500 בתוך שנתיים. הצפי הוא שבעקבות ירידות המחירים יכנסו מדינות נוספות לתחום. מעניין לסקור את התפתחות התעשייה הסולארית בגרמניה, חלוצת התחום:

התפתחות התעשייה הסולארית בגרמניה. מגוואט מותקן, ייצור בפועל ומחיר מובטח לקו"ש								
שנה	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
מגוואט מותקן	900	1715	2675	4003	5979	9779	16779	22273
כמות שנתית מיוצרת (מיליארדי קו"ש)	0.67	1.28	2	3.46	5.18	8.46	14.52	19.28
מחיר מובטח לקו"ש FIT ביורו סנט	51	48.4	46	43	42.5	39.3	32.5	27
מקור:	Jefferies: clean enrgy primer Feb 2011 p21							

בגרמניה התקבלה החלטה להגיע לייצור של 25% מהחשמל מאנרגיות מתחדשות, מעבר למה שנדרש ע"פ החלטת האיחוד האירופי, ולכן, למרות שבסוף השנה היא תעבור את ה-20 GW המותקן, היא ממשיכה את תכנית הפיתוח הרב שנתית, תוך הורדת מחירי הרכישה של החשמל והעלאת מחירי החשמל לצרכנים למימון רכישת החשמל הסולארי. צעדים אלו הביאו להתפתחות תעשיית ייצור סולארית רחבה בגרמניה שפונה לפעילות עסקית בשאר העולם, בין היתר גם בישראל. מחיר הרכישה כיום בגרמניה של קו"ש סולארי הוא 27 יורו סנט, לאחר ירידה של 47% במהלך השנים, קרוב למחיר הנוהג כיום בישראל לשדות בינוניים. ירידת המחירים המתמשכת שאפיינה את הענף, ירידה רציפה מידי רבעון ברבעון, תפסה את המערכת הרגולטיבית ברוב המדינות כשהיא אינה ערוכה לתקן את מחירי הרכישה, FIT, באותו קצב. כך נוצר מצב של רווחי יתר Windfall Profits שבו ההשקעה במערכות PV מאפשרת רווח מעל הסביר אשר נחלק בין כל מרכיבי קו הייצור הסולארי. נוצר דחף עצום, ביקוש רב, להתקנת מערכות על גגות ושדות, מה שהאנליסטים מכנים "הבהלה לזהב" מצב אנומלי שבסופו יתוקן. גם בישראל אנו עדים לתופעה זו, "הבהלה לגגות" ניתן לכנות אותה, כאשר כל בעל גג, פרטי או ציבורי, רוצה "לתפוס" מכסה במחיר אטרקטיבי ולהערכתנו יהיה צורך לתקן את מחירי הרכישה כלפי מטה, כדי למנוע רווח בלתי סביר שזולג בעיקר לבעלי הגגות והקרקעות, ללא צדק וללא צורך. אבל, ניתן לראות זאת כתהליכי התבגרות של תעשייה חדשה, שקשורה בטבורה למערכת הרגולציה הממשלתית, שתגיע בקרוב לבגרות. לסיום הדיון אנו רוצים להציג את מקומה של התעשייה הסולארית הפוטו וולטאית בהקשר של תעשיית האנרגיה המתחדשת בעולם.

ייצור בעולם של חשמל לא פוסילי. מיליוני MW		
2020	2009	
82	54	ביומסה
1219	980	הידרופאוור
126	21	פוטו וולטאי
575	195	אנרגיית רוח
21	11	גאותרמי
512	430	אנרגיה גרעינית
מקור: אתר האינטרנט של IEA אפריל 2011		

תעשיית החשמל מאנרגיה מתחדשת, לא כולל אנרגיה גרעינית, מהווה כ- 18.5% מסך ייצור החשמל בעולם ובתוכה מהווה האנרגיה הסולארית כ- 0.3% בלבד והיא צפויה לגדול עד ל-1.5%-2% מכלל כושר הייצור העולמי המותקן של חשמל עד סוף העשור. מכלל האנרגיות המתחדשות, האנרגיה ההידרואלקטרית והאנרגיה הגיאותרמית אינן רלבנטיות לישראל וגם אנרגיית הרוח והביומסה אינן נראות בעלות פוטנציאל רב.

האנרגיה הסולארית נראית לנו כסוג האנרגיה המתחדשת המתאימה לישראל, הן בגלל היתרונות היחסיים המובהקים בארץ שופעת שמש, בעלת שטחים פתוחים נרחבים, באזורים בעלי טופוגרפיה הולמת והן לאור אי הרלבנטיות של הטכנולוגיות האחרות.

### סיכום ביניים לממצאי פרק זה:

ישראל מצטרפת באיחור מסויים לתנופה הסולארית שהחלה כבר לפני כעשור ובמהירות התפשטה מגרמניה, לשאר ארצות אירופה, לארה"ב, לסין, ליפן ולהודו. בכל הארצות הללו, בניגוד לישראל, יש חלופות קיימות ומותקנות של אנרגיית רוח, אנרגיית הידרואלקטרית, אנרגיה אטומית ואחרות. למרות זאת אומצה בארצות אלו מדיניות פיתוח רחבה וארוכת טווח של אנרגיה סולארית המצטרפת ומשלימה את מגוון האנרגיות האחרות, הלא פוסיליות. תמוה הוא שבישראל של שנת 2011, אולי המדינה היחידה בעולם שבה ייצור החשמל מתבסס ב- 100% על שריפת דלקים, חדירת האנרגיה הסולארית היא כה מאוחרת ומהוססת. יתרונות שצומחים לראשונים בתחום, למשל פיתוח התעשייה, המו"פ וצבירת ידע לצורכי ייצוא, השקעה וייזום בכל העולם, קשה יהיה לצבור כעת לאחר שהתעשייה הופכת מתעשייה בשלבי החלוץ שלה לתעשייה מפותחת וממוסדת. כמו כן כדאי להזכיר כי בשנות ה-80 הייתה ישראל מדינת חלוץ בפיתוח התעשייה הסולארית, הן במחקר האקדמי והן בייצור התעשייתי. הפיתוחים הייחודיים של האקדמיה והחוקרים התעשייתיים בישראל (בחברות כמו חברת לוז) נקנו בסופו של דבר על ידי חברות זרות, למשל סימנס ו Bright Sources ופוטנציאל תעשייתי גדול עזב את הארץ. לא מיותר להזכיר, בהקשר זה, את דילול תקציבי המחקר שנועדו למחקר בסיסי במוסדות להשכלה גבוהה בישראל, גם עובדה זו פגעה במימוש הפוטנציאל הסולארי בישראל.



מאידך, הכניסה המאוחרת חסכה את עלויות הייטר בהשקעה, יתרון לא מבוטל של כל מי שנכנס בשלבים יותר מאוחרים לתחום, אך אין זה יתרון שנקנה כאמור בחינם.

ברור כי בשנת 2011 כבר לא ניתן להמשיך "ולשבת על הגדר" שכן המחירים כבר רשמו את עיקר הירידה ואם אמנם רוצים להגיע ליעדי ההתקנה של אנרגיה מתחדשת עד לשנת 2020, יש לאפשר ליזמות הענפה שקמה בתחום, בעיקר בשנתיים האחרונות, לממש את יכולתה בכל תחומי קשת הפעילות הכלכלית: תכנון, פיתוח, הרכבה, גיוס הון ומימוש פוטנציאל הייצור. לישראל אין כמעט חלופות אחרות לייצור אנרגיה מתחדשת מלבד החלופה הסולארית, היא יכולה לייצר אנרגיה סולארית במחירים נמוכים מרוב המדינות האחרות שכבר נכנסו לתחום, ומדובר בעשרות מדינות, ובכלל יתכן כי יסתבר שהיעד, שהיום נראה שאפתני, של 10% ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת יתברר כיעד נמוך מדי ועל כך נדון בהמשך.

ברור לנו כי את הייעד הראשוני של MW 1750 סולארי יש לממש כבר בתקופה הקרובה, תוך בחינת הצורך להעלות אותו אם יתברר שלא ניתן לעמוד ביעדים של הטכנולוגיות המתחדשות האחרות (מתוכננים MW 900 מאנרגית רוח ו MW200 מביומסה) ואם אמנם יסתבר כי נמשכת ירידת עלות של ההשקעה באנרגיה סולארית.

## פרק ג – שילוב המתקנים הסולאריים בייצור חשמל – ניתוח כלכלי וחישוב העלות

### הנמנעת מנקודת ראות המשק

פרק זה נכתב ע"י יגאל פורת

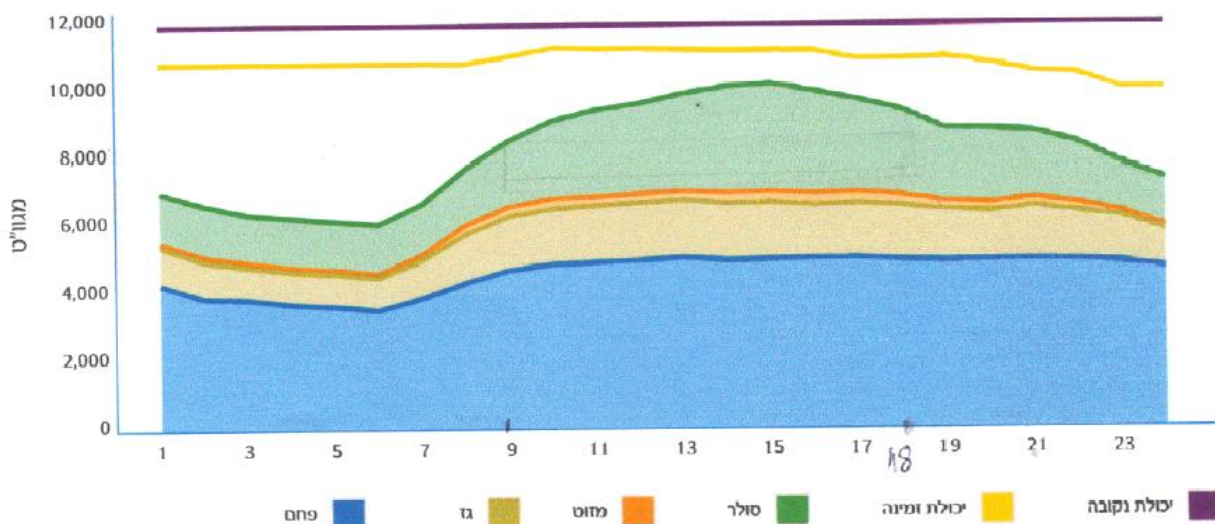
#### 1. רקע

- חח"י הציגה בעבר כי כתוצאה מאופטימיזציה לקביעת היקף רכישת הגז הטבעי עפ"י חוזים לטווח ארוך (תוך התחשבות באילוצים שונים כמו take or pay, swing ואחרים) ישנה כדאיות לייצר כ 3-4% מס"ה הייצור באמצעות מזוט וסולר. כיום מנהלת חח"י מו"מ עם חברת נובל להספקת גז ממאגר תמר ולא ברור מה יהיו התוצאות מהסכם זה לגבי היקף השימוש במזוט וסולר.
- תחנות כוח פוטוולטאיות עובדות במשך כ-1800 שעות אקוויולנטיות (שעות עבודה בהספק מלא) בשנה כאשר בחודשי הקיץ (יולי אוגוסט) ואף בחודשי הסתיו (יוני ספטמבר) ישנה קורלציה חזקה בין הקרינה המרבית לבין הביקושים הגבוהים במערכת החשמל המחייבים שריפת סולר ומזוט.

אחוז הייצור מסולר ומזוט בשנים 2007, 2008 ו-2009 היה 5.6% ו-3.2%, 5.9% ו-3.0% בהתאמה.

להלן מובא, לצורך המחשה בלבד, תרשים מתוך הדו"ח הסטטיסטי של חח"י לשנת 2009.

#### התפלגות הייצור היומי לפי העמסת יחידות הייצור ביום שיא הביקוש בקיץ, 2009



- הערכה מדויקת של העלות הנמנעת שבנדון מחייבת הרצה של מספר מודלים הנמצאים בשימוש אגף תפ"ט בחח"י.

אחד המודלים (EGEAS) מאפשר קביעת תוכנית פיתוח אופטימאלית לטווח ארוך ללא ועם ת"כ פוטוולטאיות בהספק נתון (תחנות הכוח הפוטוולטאיות מחליפות השקעות

באמצעי ייצור כמו ט"ג ומחזמ"ים). מודל אחר, (UCOD), מאפשר סימולציה שעתית של צריכת הדלקים השונים.

משני המודלים לעיל ניתן לקבוע את העלות הנמנעת עפ"י המרכיבים של השקעות באמצעי ייצור, דלקים והוצאות תפעול ותחזוקה.

## 2. הערכת העלות הנמנעת במרכיב הדלק

בפרק זה מובאת **הערכה** של העלות הנמנעת במרכיב הדלק בלבד וזאת על בסיס מספר נתונים והנחות כדלקמן:

- כבסיס להערכת העלות הנמנעת תשמש שנת 2020 עם ייצור ברוטו של כ- 72,000 GWh.
- הונח שרק אחוז אחד מן האנרגיה לעיל ייוצר ע"י סולר (720 GWh) וזאת בט"ג סילונית ותעשייתיות, במחזמ"ים מטיפוס E וט"ג מטיפוס F. אמצעי הייצור הללו (מלבד ט"ג סילונית) הם דו דלקיים (סולר וגז טבעי). לא יהיה שימוש במזוט המזהם יותר (למשל 0.5% גופרית בהשוואה ל-0.1% בסולר).
- הונח שהשימוש בסולר יהיה במשך כ-50 ימים (בחודשים יולי ואוגוסט וחלקית בחודשים יוני וספטמבר) ובממוצע בכל יום יהיו כ-10 שעות שימוש בסולר (09:00 – 18:00).
- הונח שההספק המותקן של ת"כ פוטוולטאיות יהיה 1000 מגווי"ט.
- הונח שרק במשך כ-400 שעות (מתוך ה-500) בשנה אפשר להחליף 1000 מגווי"ט של ט"ג ומחזמ"ים שיוסקו בסולר בייצור פוטוולטאי (כלומר רק כ-56% מן האנרגיה המיוצרת בסולר תוחלף!).
- מנתונים אשר התקבלו מן הרשות לשירותים ציבוריים – חשמל לגבי מחירי דלקים (כולל עדכון לגבי 01.01.2011 לפיו עלות טונה סולר היא 6408 ₪) עולה כדלקמן:
  - עלות משוקללת לייצור קווי"ט מסולר : 150 אגורות (שקלול של ט"ג סילונית בהספק של כ-100 מגווי"ט והפעלה במשך 100 שעות בשנה ותעשייתיות, מחזמ"ים E ו-ט"ג F בהספק של 1000 מגווי"ט והפעלה במשך 400 שעות בשנה).

- עלות משוקללת לייצור קוויט"ש מגז טבעי: 16 אגורות בהנחה של 4\$/MMBTU ו-24 אגורות בהנחה של 6\$/MMBTU (משוקלל לפי ט"ג תעשייתיות מחזמ"ים E ו-ט"ג F).

הערכת עלות הנמנעת מייצור קוויט"ש בת"כ פוטוולטאיות (מרכיב הדלק בלבד).

מן האמור לעיל העלות הנמנעת היא:

אגורות 45.8 =  $(400 \times 150 + 1400 \times 16) / 1800$  לפי 4\$/MMBTU

אגורות 52.0 =  $(400 \times 150 + 1400 \times 24) / 1800$  לפי 6\$/MMBTU

### 3. הערכת העלות הנמנעת במרכיב ההון (אגורות לקוויט"ש)

הונח שהעלות הנמנעת במרכיב ההון תחושב על בסיס הנחה על פיה תה"כ הפוטוולטאיות יחליפו מחז"ם וט"ג בעלות משוקללת של 750 דולר לקוויט מותקן. חשוב לציין שת"כ פוטוולטאיות, הממוקמות בנגב בו קיימת קרינת שמש במשך מרבית ימות השנה יפעלו (בהספק משתנה בהתאם לעוצמת הקרינה) במשך כ-3500 שעות בשנה אך לא בשעות הביקוש הגבוה בחורף בשעות הערב (משך שעות הביקוש הגבוה בחורף הינו קצר יחסית). לכן הונח שהזקיפה ליכולת (capacity credit) תהיה לפי מקדם של 0.8.

בהנחת אורך חיים של 30 שנה וריבית של 7% מתקבל מקדם החזר הון של 0.08.

מן האמור לעיל העלות הנמנעת לקוויט"ש במרכיב ההון בהנחת 1800 שעות אקוויוולנטיות ושער של 3.5 ₪ לדולר תהיה:

$$\text{אגורות } 9.3 = \frac{750 \times 3.5 \times 10^2 \times 0.08}{1800} \times 0.8$$

### 4. הערכת העלות הנמנעת במרכיב עלות התפעול ותחזוקה (אגורות לקוויט"ש)

הונח שתה"כ הפוטוולטאיות בהספק של 1000 מגווי"ט (1800 GWh) ייתרו את הפעלתן של ט"ג סילונויות, תעשייתיות ומחזמ"ים מטיפוס E, כ-1% מס"ה האנרגיה המיוצרת ע"י תה"כ הפוטוולטאיות יחליף את האנרגיה המיוצרת באמצעות ט"ג סילונויות (הונח שכ-200 מגווי"ט יפעלו במשך כ-100 שעות) ויתרת האנרגיה תחליף את זו המיוצרת ע"י ט"ג תעשייתיות ומחזמ"ים מטיפוס E. לפי הערכה ראשונית עלות התחזוקה המשוקללת הנמנעת היא כ-4 אגורות לקוויט"ש.

**5. ס"ה העלות הנמנעת (אגורות לקווט"ש)**

$$45.8 + 9.3 + 4.0 = 59.1$$

$$52.0 + 9.3 + 4.0 = 65.3$$

**6. סיכום**

1. ס"ה העלות הנמנעת בסעיף 5.0 לעיל בתוספת עלות נמנעת בגין אי פליטת מזהמים בסך 18 אגורות לקווט"ש (ראה פרק ד' להלן) וללא התחשבות בעלויות נמנעות אחרות מצביע על כך שהסובסידיה לת"כ פוטוולטאיות איננה גבוהה כפי שחושבים.
2. יש לבצע סימולציות (כולל שעתיות) בנתונים מעודכנים לצורך פיתוח מערכת ייצור החשמל לטווח ארוך ובהנחות שונות לגבי ס"ה ההספק המותקן בת"כ פוטוולטאיות (יש להניח שהעלות הנמנעת תקטן כתלות בהגדלת ההספק) ובמחירי סולר וגז טבעי מעודכנים (כולל הנחות לגבי התייקרותם הריאלית).

## פרק ד - היבטים סביבתיים/כלכליים של סוגיית האנרגיה הסולארית

לא ניתן להפריד בין ההחלטות על אימוץ ייצור חשמל באנרגיות מתחדשות נקיות לבין ההתחייבויות שנוטלות עליהן מדינות להקטין את פליטת גזי החממה, GHG, במסגרת הסדרים גלובליים ארוכי טווח. לאנרגיה הסולארית יתרונות רבים שאותם נסקור בפרק הבא, אך ברור שבהיבט הגלובלי, היתרון הגדול שלה הוא בהקטנת פליטת גזי חממה הנפלטים בעת ייצור חשמל מפחם ומגז.

ישראל כידוע הוגדרה בפרוטוקול קיוטו כמדינה מתפתחת, שלא חלה עליה התחייבות פורמלית להקטין את פליטת גזי החממה, כמו שאר המדינות המתפתחות. אולם ברור כי במוקדם או במאוחר, ישראל תצטרך ליישר קו עם המדינות המפותחות שהיא נמנית איתן וליטול על עצמה מחויבות פורמלית להקטנת פליטת גזי החממה. על פי דוח ה-OECD צפוי כי כבר ב-2012 צפויה השלמת פרוטוקול קיוטו לחייב את ישראל לאמץ יעדי הפחתה כמותיים של גזי חממה. (הדו"ח הכלכלי של ה-OECD מ-2009, ע"מ 44).

בוועידת האקלים שנערכה בקופנהגן בסוף שנת 2009 התחייב נשיא המדינה, שמעון פרס, שנכח בה, כי ישראל תנקוט במדיניות וצעדים ממשיים כדי להקטין את פליטת גזי החממה בשיעור של 20% עד שנת 2020 לעומת תסריט של עסקים כרגיל, BAU. ואמנם, בעקבות כך התקבלה החלטת ממשלה בנובמבר 2010 להקציב סך של 2.2 מיליארד ₪ עד לשנת 2020 כדי לאפשר למשרדי הממשלה השונים לנקוט בצעדים לעמידה ביעד שמדינת ישראל התחייבה לו. לצורך כך הוקמה וועדת מנכ"לים בראשות מנכ"ל משרד האוצר אשר אמורה ללוות את התהליך ולדווח לממשלה ולכנסת על הפעולות שהיא נוקטת.

ההתחייבות שנטלה על עצמה המדינה בעניין זה היא סימן לגישה רצינית לנושא ויישור קו עם הזרם המרכזי שמובל על ידי מדינות האיחוד האירופי ומדינות ה-OECD, אך בהקשר זה יש צורך להבהיר כי בשנת 2009 התקבלה החלטה במוסדות האיחוד האירופי להקטין את פליטת גזי החממה ב-20% לעומת **מצב הדברים בשנת 1990** (!). זו התחייבות מרחיקת לכת שתג המחיר שלה עולה לאין ערוך על היעד הישראלי הנוכחי של הקטנת 20% לעומת תסריט של עסקים כרגיל, והתקציב שייעדה ישראל להתמודד עם הבעיה יצוטרך לגדול משמעותית במידה ולקראת תום תחולת אמנת קיוטו בסוף שנת 2012 ישראל תידרש להגדיל את מחויבותה לצמצום פליטת גזי החממה מעבר ל-20% של עסקים כרגיל. לצורך כך יהיה צורך לגייס משאבים תקציביים נוספים ניכרים, שכן, חלק גדול מתכניות הצמצום של גזי החממה, אם כי לא כולן, מחייב הכוונת משאבים ממשלתיים לצורך סבסוד פעולות שאינן כדאיות במשטר של כלכלת שוק.

בעניין זה מעניין לבחון את תוכניות האיחוד האירופי להגדלת ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת כפי שהן מוצגות בטבלה להלן :

יעדי ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות		
באיחוד האירופי. באחוזים מסך הייצור		
מדינה	שיעור ב 2010	יעד ל 2020
מלטה	0	10
לוקסנבורג	0.9	11
בלגיה	2.2	13
קפריסין	2.9	13
הונגריה	4.3	13
צ'כיה	6.1	13
הולנד	2.4	14
סלובקיה	6.7	14
בריטניה	1.3	15
פולין	7.2	15
אירלנד	3.1	16
בולגריה	9.4	16
איטליה	5.2	17
גרמניה	5.8	18
יוון	6.9	18
ספרד	8.7	20
צרפת	10.3	23
דנמרק	17	30
אוסטריה	23.3	34
שבדיה	39.8	49
מקור: ברקליס 2010		

מעניין כי גם עבור מדינות שבהן כבר היום מיוצר חשמל באחוזים ניכרים מאנרגיות מתחדשות כמו אוסטריה, דנמרק, שבדיה, נקבע יעד הוספת 10% של ייצור מאנרגיה מתחדשת ומשמעות הדבר אלפי MW נוספים של אנרגיה סולארית בכל אחת ממדינות האיחוד.

לכך יש להוסיף את השפעת צרוף ישראל ל OECD באוגוסט 2010, שמקבעת אף היא את מעמדה של ישראל כמדינה מפותחת, מעמד שיש גם חובות בצידו.

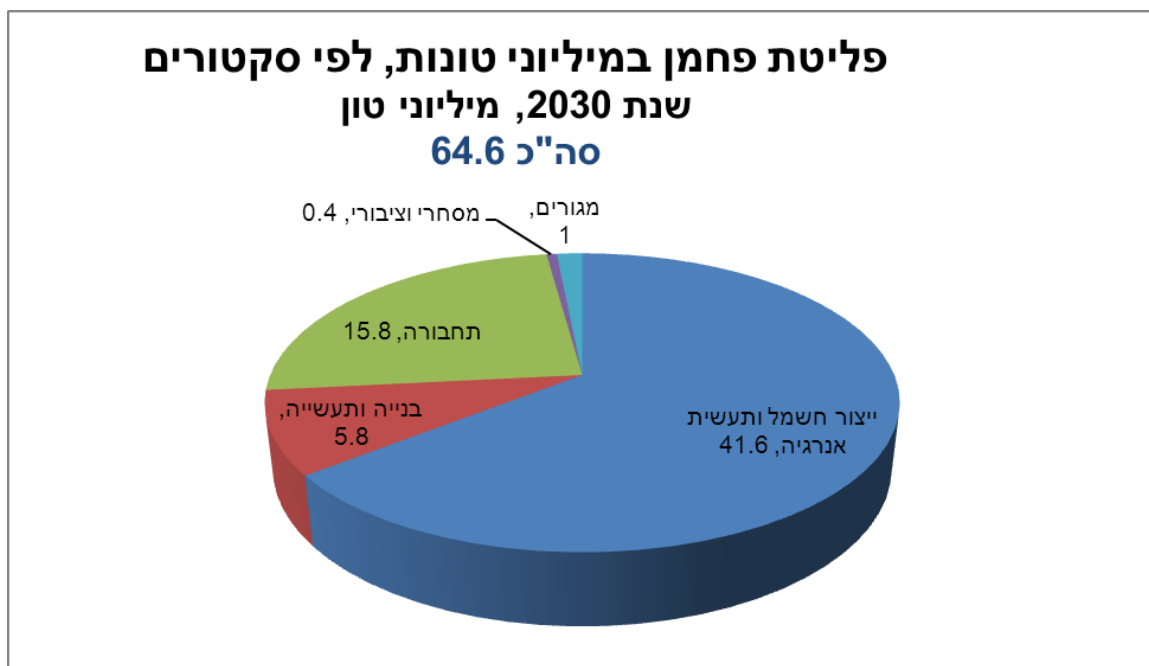
בשיחה עם מרק לובן, מחזיק תיק ה OECD באגף הבינלאומי במשרד האוצר, הוא הפנה אותנו למספר החלטות שהתקבלו ב OECD במהלך השנים 2009-2010 לקראת צרוף ישראל לארגון, אשר עניינן הצורך של ישראל להקטין את פליטת גזי החממה בסקטור החשמל ב 20% על ידי חיסכון באנרגיה ופיתוח מקורות אנרגיה נקיים, עם דגש על אנרגיה סולארית.

ישראל, על פי מסמכים שהעביר לנו, התחייבה להמשיך ולנקוט בכל הצעדים הנדרשים לחיסכון בחשמל ובייצור אנרגיה סולארית.

נראה לנו כי יש לראות את מדיניות האנרגיות המתחדשות על רקע ההתחייבויות שישראל כבר נטלה על עצמה ומן הסתם תידרש ליטול על עצמה מחויבויות נוספות.

אומדן התפלגות פליטת הפחמן<sup>3</sup> בישראל בשנת 2010 לפי סקטורים משקיים שונים, ע"פ דוח שהכין הכלכלן אבי חפץ עבור המשרד להגנת הסביבה בשנת 2009, מופיע להלן:

פליטת פחמן במיליוני טונות לפי סקטורים. 2010	
41.6	ייצור חשמל ותעשיית אנרגיה
5.8	בניה ותעשייה
15.8	תחבורה
0.4	מסחרי וציבורי
1	מגורים
64.6	סה"כ
94.2	תחזית ל 2020 (עסקים כרגיל)



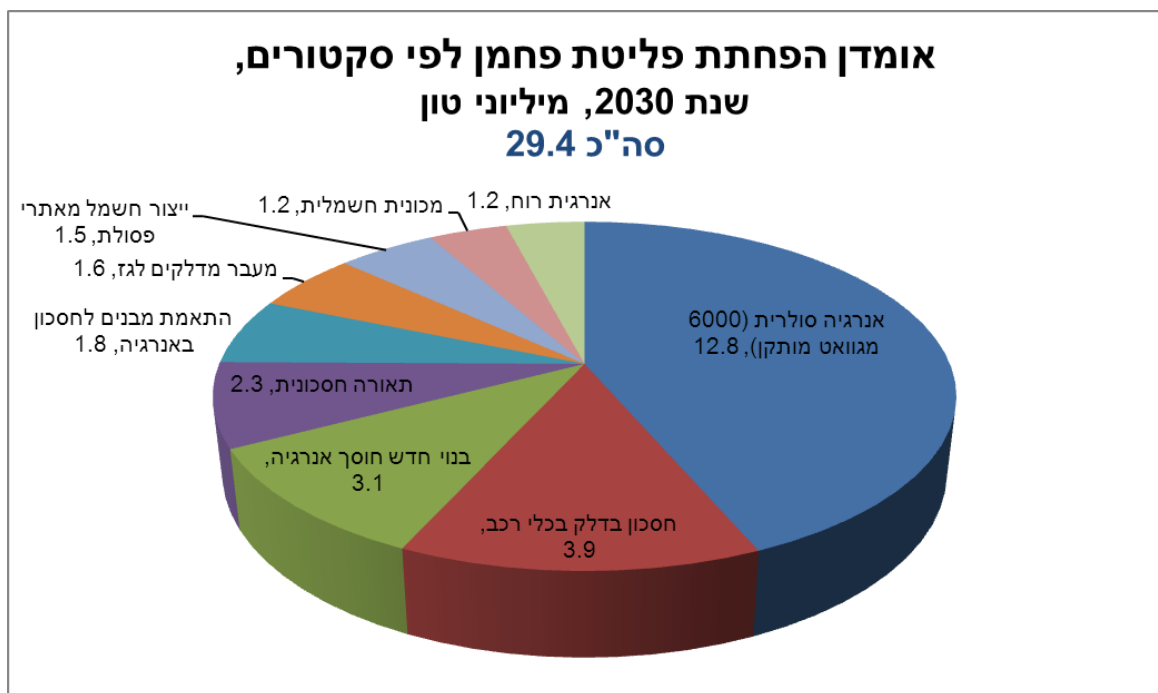
סקטור ייצור החשמל והאנרגיה מייצר כ 64% מהפחמן הנפלט לאטמוספירה ולפיכך ברור כי הפוטנציאל להקטנת פליטת גזי החממה נמצא בסקטור זה ועמידה ביעד הפליטה המופחת תוכל להתממש על ידי הקטנת צריכת החשמל, כלומר חיסכון אנרגטי, או על ידי ייצור חלק מהחשמל בתהליכים שאינם מחייבים שריפת דלקים, אנרגיה מתחדשת נקיה, בעיקר אנרגיה סולארית. חברת הייעוץ מקנזי, החברה המובילה בעולם בתחום כלכלת הסביבה ושאלת התחממות כדור הארץ עקב פליטת גזי החממה, אשר ביצעה בשנים האחרונות סקרים כלכליים לבחינת צעדים להקטנת פליטת גזי חממה ב – 20 מדינות, כולל ארה"ב, ערכה סקר מקיף בישראל בנושא זה בשנת 2009 ע"פ הזמנת המשרד להגנת הסביבה. הסקר לווה על ידי נציגים ממשרדי ממשלה שונים וכן על ידי וועדה מקצועית שכללה את טובי המומחים בישראל בתחום. תמצית הסקר, שבו עשתה חברת מקנזי שימוש במודלים שפיתחה לחישוב עלויות הקטנת פליטה בסקטורים השונים, הוגשה במסמך רשמי של ממשלת ישראל בוועידת האקלים האחרונה בדצמבר 2010 שהתקיימה בקנקון.

<sup>3</sup> הפחמן הוא גז החממה העיקרי אבל בנוסף נמדדת פליטת גזים נוספים כמו מתן, תחמוצות גפרית וחנקן אשר מוסיפות כ 10 מיליון טון נוספים אקווילנטים של פחמן בשנה



לעניינו, מכל המסמך רחב היריעה הזה, גזרנו את הטבלה להלן אשר מצביעה על המקורות העיקריים להקטנת פליטת גזי החממה בישראל עד שנת 2030 ע"פ הניתוח הכלכלי של חברת מקנזי. היעד הוא להקטין עד שנת 2030 את פליטת גזי החממה ב 20% כפי שהתחייבה ישראל בוועידה הקודמת בקופנהגן בדצמבר 2009 יעד נמוך כאמור, בהשוואה לדרישות ממדינות מפותחות ובהשוואה למדיניות הנקטת באיחוד האירופי.

אומדן הפחתת פליטת פחמן לפי סקטורים.	
מיליוני טון. שנת 2030	
12.8	אנרגיה סולארית (6000 מגוואט מותקן)
3.9	חיסכון בדלק בכלי רכב
3.1	בנוי חדש חוסך אנרגיה
2.3	תאורה חסכונית
1.8	התאמת מבנים לחיסכון באנרגיה
1.6	מעבר מדלקים לגז
1.5	ייצור חשמל מאתרי פסולת
1.2	מכונות חשמליות
1.2	אנרגיית רוח
29.4	סה"כ



על פי הערכת חברת מקנזי, כדי לעמוד ביעד הקטנת הפליטה של 20% עד שנת 2030 יש צורך להקטין את פליטת הפחמן ב 29.4 מיליון טון. החלופה הזאת נבחרה על ידי חברת מקנזי מתוך מספר חלופות שנבדקו כדי לעמוד ביעד הכמותי הזה. הקטנת פליטת פחמן, כך ע"פ מקנזי, אינה יעד קל להשגה בישראל. לעומת אירופה, צפוי המשך גידול אוכלוסייה של 1.8% לשנה, שהוא כשלעצמו מתרגם מיידית לגידול בפליטת פחמן. בישראל צפוי בעתיד המשך הגידול ברמת החיים, בין הייתר גידול ברמת המינוע אשר יהווה גורם נוסף בהגדלת פליטת הפחמן. ובישראל אין כמעט תעשייה כבדה טיפוסית, פולטת פחמן, אשר יכולה להוות יעד לתהליכי התייעלות אנרגטית לחיסכון בפליטת פחמן.

מכל הסיבות הללו נבחרה החלופה העתירה באנרגיה סולארית, כ MW 6000, מרחק רב מהיעדים הצנועים של MW 1750 שבהם אנו עוסקים. היתרון באימוץ התוכנית עתירת האנרגיה הסולארית הוא שהיא ניתנת לביצוע בוודאות ונמצאת בשליטה מלאה של הממשלה. כל שצריך לעשות הוא לקצוב מכסה ולקבוע מחיר, והשוק כבר יספק את ההצע. בכל סעיפי הקטנת הפחמן האחרים יש אלמנט של אי וודאות, צורך להסתמך על תמריצי שוק, שלא תמיד פועלים נכונה וגם אי וודאות טכנולוגית.

כדאי לזכור את המספר הזה, של MW 6000 סולארי, כאשר עורכים דיון בהשעיית הסדרת 500 MW של השדות הסולאריים הגדולים.

על בסיס מסמך שהוגש לוועדת השרים לענייני אנרגיות מתחדשות בחודש שעבר על ידי המשרד להגנת הסביבה, שהתבסס על מספר עבודות שנערכו בשנת 2008 לחישוב העלות למשק של ייצור קווי"ש פוסילי, הכנו את התחשיב כדלקמן. התחשיב מכמת את עלות המזהמים הפוגעים בבריאות הציבור, תחמוצות גפרית, וחנקן ופליטת חלקיקי פיח בעת ייצור קווי"ש פוסילי, ואת עלות פליטת הפחמן לקווי"ש על בסיס חישוב העלות השלילית של פליטת טון פחמן, מעודכן לתחזית לשנת 2013 שניתנה החודש על ידי בנק ברקליס, וכך הגענו לחישוב העלות החיצונית הנוספת לפליטת קווי"ש פוסילי, עלות שלא נכללת במחיר הקווי"ש הנוכחי של חברת חשמל, עלות שבכל חישוב כלכלי יש להטמיע בעת חישוב העלות הכוללת למשק של ייצור קווי"ש פוסילי.

עלות פליטת מזמהים ופחמן לקו"ש הנחסכת בייצור קו"ש מאנרגיה סולארית			
המזהם	היקף פליטה בגרם לקו"ש	מחיר לטון בדולרים	עלות פליטה באג' לקו"ש
CO2	549.3	34.7	6.86
SO2	1.7	7063	4.32
Nox	1.8	4068	2.64
PM	0.06	10026	0.22
סה"כ לקו"ש			14.04
סה"כ עלות לשנת 2020			18.0

בחישוב היקף הפליטה, כפי שהוא נמדד בגרמים לקווי"ש, ביצענו חישוב ממוצע של צריכת סולר וגז, שמוחלף ע"י קווי"ש סולארי, כפי שעשינו בפרק הקודם. מחיר הפחמן שנלקח הוא המחיר שנקבע החודש על ידי בנק ברקליס, תחזית לשנת 2013 ושאר המחירים והכמויות לטון של המזהמים השונים נלקחו ממסמך המשרד להגנת הסביבה.

כן קיבלנו את טענת כלכלני המשרד להגנת הסביבה כי את העלות הנוספת לקווי"ש, אשר ע"פ חישובנו עומדת על כ- 14 אג', יש להעלות ריאלית ב 2.5% לשנה, עקב ציפייה להחמרת תקנות הבריאות, הגדלת מכסות צמצום פליטת הפחמן וכל זאת בקצב גידול צפוי של התוצר לנפש בעשור הקרוב בישראל. חישוב העלויות החיצוניות לשנת 2020 שערכו כלכלני המשרד להגנת הסביבה (מסמך מה 28 למרץ 2011) הנשען על הנחות מעט שונות, הגיע לעלות של 18.4 אג' לקווי"ש

מכל אלה עולה כי העלות הנמנעת למשק מייצור קווי"ש סולארי עומדת על 75 אג', 57 אג' בחיסכון בהוצאות הייצור השולי, כפי שפורט בפרק הקודם ו 18 אג' לקווי"ש כפי שפורט בטבלה לעיל.

מחיר זה אינו כה רחוק מ GRID PARITY אם נשווה אותו לתעריף של 96 אג' לקווי"ש שהוסדר לשדות סולאריים מעל 60 MW . תעריף שאולי הינו גבוה מהנדרש בכדי להבטיח את פיתוחם של שדות אלו.

## פרק ה - תועלות חיצוניות נוספות בייצור חשמל מאנרגיה סולארית

עד כה הצגנו בפרוט את החיסכון שחישבנו בייצור קווי"ש סולארי בסך 75 אג' ואת תרומת התעשייה הסולארית לצמצום פליטת הפחמן וגזי החממה האחרים שישראל מחוייבת בהם. בפרק זה נסקור בקצרה יתרונות נוספים, איכותיים, שניתן לתרגם אותם למונחים כמותיים, אך מתודולוגית אנו מעדיפים לקיים בעניינם דיון איכותי בלבד.

### 1. ביטחון אנרגטי

ישראל של היום היא המדינה היחידה אולי בעולם שכל ייצור החשמל שלה הוא ממקורות דלקיים, פחם המיובא באניות וגז המוזרם בצנרת גז משדות הגז שנתגלו בשנים האחרונות בים. ע"פ תכנית האב של חברת החשמל, בעתיד 50% מהייצור יהיה מפחם, על בסיס התחנות הפחמיות לאורך החוף ו 50% מהייצור יהיה מגז, על בסיס תחנות הכוח המחוז"מיות והאחרות שנבנו ועוד תיבנה באתרים שונים בארץ. עלות הייצור בפחם נמוכה יותר מעלות הייצור בגז, בהנחה שמחיר הגז עולה על 4 דולר ל MBTU ואכן צפוי שמחיר הגז העומד בפני ישראל יהיה גבוה ממחיר זה כבר בטווח הקרוב. מאידך, הפחמן מזהם יותר ופולט יותר מכפליים פחמן פר קווי"ש שנוצר לעומת הגז. יש להניח כי בעתיד, לאור העובדה שהגז שנמצא הוא בחלקו בבעלות חברות ישראליות, שעבורן מכירתו לשימוש בארץ הוא החלופה הטובה ביותר, יהיה לחץ להגדיל את מרכיב הגז בייצור חשמל מעבר ל 50% ועמדה זו מקבלת גם תמיכה מארגונים סביבתיים לאור יתרונות הגז כמשאב אנרגיה נקי יחסית לפחם.

עם זאת, ברור כי השענות על גז שמגיע בצינור אחד או שניים, שיכולים להפגע כתוצאה מרעידת אדמה או מעשה חבלה מכוון, יש לה מחיר שיש לקחת אותו בחשבון, כאשר מחשבים תסריטים קיצוניים, שאין להתעלם מהם בעת עריכת תכניות ארוכות טווח. עד היום גם לא הוחל בתכנון מערך אגירה של גז נוזלי, בקרבת מתקני הייצור, כגבוי לכשל בהזרמת הגז מהמרבצים הימיים. על רקע דברים אלו יש לציין את יתרון האנרגיה הסולארית, שתייצר נאמנה את כמות החשמל המתוכננת, כל עוד תזרח השמש, שאינה תלויה בשום אופן בגורם חוץ כל שהוא, היא מבוזרת בין עשרות ומאות יצרנים, בכל הארץ והיא מהווה ביטחון אבסולוטי ליצירת חשמל בכל תנאי. ביזור מקורות האנרגיה וביזור באתרי הייצור, העדפה לייצור מקומי שאינו מותנה בגורמים חיצוניים, עוינים או ידידותיים, היא עיקרון שכל מדינה חייבת לתת עליו את הדעת, בעת גיבוש מדיניות האנרגיה שלה וכך נוהגות כל מדינות העולם.

במונחים כלכליים כוונתנו היא שמדינות מוכנות לשלם יותר, להעלות את מחיר החשמל, כדי לייצר ביטחון אנרגטי נוסף, ראה למשל פיתוח התעשייה הסולארית בגרמניה בעשור האחרון. קשה לתרגם יתרון זה למונחים של אג' לקווי"ש, אבל מדובר כאן בתוספת ערך משמעותית, לדעתנו. סדרי גודל להערכה כמותית של תועלות אלה ניתן לקבל על ידי השקעה בחלופות שייתנו פתרונות חלקיים לבעיות של ביטחון אנרגטי, כמו למשל השקעה בצינור הולכה נוסף ו/או הגדלה משמעותית של מלאי חרום אסטרטגי של גז בסמוך לאתרי הייצור.

כאן גם המקום להזכיר כי בניגוד לגרמניה ושאר מדינות האיחוד האירופי, מערכת החשמל של ישראל אינה מחוברת למערכת ההולכה והייצור של המדינות השכנות ואין לה כל גבוי בינלאומי. עובדה זו מחזקת את הצורך בהשקעה בייצור אנרגיה סולארית מקומית.

בעת השלמת כתיבת עבודה זו, בשבוע האחרון של חודש אפריל, ארעה חבלה בצינור הגז המוליך את הגז ממצרים ונעצרה לגמרי הספקת הגז המצרי. מקרה זה, השני השנה, ממחיש את הצורך בהשקעות לתגבור הביטחון האנרגטי של ישראל, כבר לא מדובר בתסריטים קיצוניים, מדובר בעובדות החיים. לתקלה זו יש גם השלכה על חישוב העלות הנחסכת בייצור קווי"ש סולארי. יתכן והיה מקום בחישובינו בפרק ג להגדיל את מספר השעות בשנה שבהן הקווי"ש הסולארי מחליף קווי"ש פוסילי שמיוצר מסולר ומזוט. בחודש וחצי הקרובים ישרפו אל נכון אלפי טונות של מזוט וסולר יקרים ומזהמים. אלו בבוא היום, יוכלו להיות מוחלפים בחשמל ממקורות סולאריים. מאד יתכן שאומדן העלות הנחסכת שבו נקבנו בפרק ג, 57 אג' לקווי"ש, (שגורר עלות נמנעת למשק של 75 אג' לקווי"ש) הוא למעשה אומדן חסר.

## **2 קיבוע מחיר אנרגיה של הטווח הארוך**

כאשר מוקם שדה סולארי וניתנת התחייבות רכישה לקווי"ש לתקופה של 20 שנה, הגורם הרוכש, מדינת ישראל בעצם, מבטיח לעצמו קיבוע ריאלי של המחיר לכל תקופת ההסכם, שכן, המחיר צמוד למדד המחירים הכללי ואינו עולה ריאלית. כל התחזיות לטווח ארוך למחירי גז ופחם מצביעות על עליה ריאלית של המחיר. שמירת מחיר ריאלי והגנה מהתייקרויות, עקב עליית מחיר חבית נפט, שתשליך על מחירי הגז והפחם, נותנת יתרון נוסף לפיתוח התעשייה הסולארית.

## **3 . תעסוקה**

בכל מגוואט מותקן מושקעים 40 שנות אדם לערך, מהם 10 בתהליך ההקמה. דעתנו היא כי לא ניתן להתבסס על הקמת תעשיית מודולים בארץ ולכן התקנת MW 1000 תתרום באופן חד פעמי 10,000 מקומות עבודה בשנה. בשנות התפעול נדרשת משרה אחת לכל מגוואט מותקן, משמע כ 1000 משרות של קבע לאורך השנים. אין מדובר במספרים גדולים, אבל העובדה שמדובר בייצירת מקומות עבודה קבועים בפריפריה, בעיקר בנגב ובערבה, צריכה להילקח בחשבון.

## **4 . יצוא ידע ויזמות בחו"ל**

חלק מהחברות הפועלות בתחום, למשל חברת ערבה, כבר הקימו חברות אחיות שבוחנות הקמת פרויקטים סולאריים בחו"ל, על בסיס הידע שנצבר כאן וישנם כבר מספר חוות סולאריות שבהקמתן ותפעולן שותפות חברות ישראליות. גם כאן מדובר בהחלט בתרומה נוספת.

## **5 . מו"פ סולארי כחול לבן – ישראל כמעצמה סולארית**

כבר ציינו כי חלק מההמצאות שאיפשרו את פיתוח התעשייה הסולארית בעולם נוצרו בעבר הדי רחוק באקדמיה ובתעשייה הישראלית, מדובר בחברת לוז אשר אולי הקדימה את זמנה והיידע

שלה נמכר לחברות זרות, אך ישנם עוד חידושים פורצי דרך בתחום הסולארי שמקורם בישראל. היום נעשים מאמצים לחדש את פיתוח המחקר הבסיסי והתעשייתי בתחום הסולארי. הוקם מרכז לאומי לאנרגיות מתחדשות בשיתוף בין הממשלה, האקדמיה והסקטור הפרטי, בהיקף כספי של 120 מיליון ₪ שנועד לתמרוץ השקעה בחברות הזנק בתחום האנרגיה המתחדשת. ישנה גם תביעה להזרים משאבים ניכרים למוסדות המחקר האקדמיים השונים כדי לעודד מחקרים בתחום הסולארי. אנו חושבים שזו תביעה בעלת הגיון כלכלי רב והקטנת תקציבי המחקר הבסיסי, לא רק בתחום המחקר באנרגיות מתחדשות, הייתה צעד כלכלי לא נכון. יש עדיין פוטנציאל רב לפיתוח מו"פ סולארי שיהווה בסיס לפעילות כלכלית נרחבת בעתיד ולכן מצאנו לנכון לציין עובדה זאת כדי לתת משקל לסינרגיה בין התעשייה הסולארית המתפתחת לבין מוסדות המחקר בישראל.

#### **6. עידוד פעילות בפריפריה הדרומית, בערבה ובנגב**

העברת ייצור של 10% מהחשמל בארץ לנגב ולערבה היא צעד כלכלי התואם את תפיסת העולם של כל ממשלות ישראל, לפיזור אוכלוסייה ולהעדפת הפריפריה. מדובר ביצירת מקומות תעסוקה חדשים, שלמעשה מביאים לגידול אוכלוסייה ומדובר בייצירת מקור הכנסה של קבע לכל ישוב ספר שבאדמותיו מוקמת חווה סולארית. ישוב חקלאי המייעד 300 דונם אדמה חקלאית, שאינה מנוצלת כיום, לחווה סולארית, יכול להבטיח לעצמו, בהנחה של דמי חכירה שנתיים של 5000 ₪ לדונם, הכנסה קבועה של 1.5 מיליון ש"ח לשנה, הכנסה של קבע מדמי שכירות, סכום לא מבוטל בכלל. זו בעצם חלוקה מחדש של ההכנסות במדינה, לטובת אזורי הערבה והנגב.

#### **7. פיתוח תעשייה סולארית בקרב הקהילה הבדואית – תרומה להסדרת ההתיישבות הבדואית.**

מדובר ביוזמה שכבר מתממשת בחברת ערבה, להקמת חוות סולאריות על אדמות הבדואים בדרום. אין שום סיבה שלא להרחיב את היוזמה ולצרף חברות נוספות. בעיות הפזורה הבדואית והסדר הקרקעות שלה מוכרת כמובן. האפשרות לשדרג את הסדר הקרקעות שצריך להיחתם בין המדינה לקהילה הבדואית ע"י המרת קרקעות לא מוסדרות בקרקעות מוסדרות, רשומות בטאבו, שניתן סטטוטורית להקים עליהן חוות סולאריות ואף נקבעו מכסות ייצור ספציפיות עבורן להתקנת כושר ייצור סולארי, היא רעיון מקורי ויצירתי, לו רק יאומץ בהיקף גדול על ידי המדינה.

ניתן לדמיין, 20 אלף דונם מוסדרים עם תוכניות מאושרות ביעוד סולארי, עם מכסות ורשיונות מרשות החשמל לייצור כ-1000 MW בחוות סולאריות שהקרקע שלהן הוחכרה על ידי הבדואים לחברות הסולאריות היזמיות, או אפילו על מיזמים משותפים ולא רק שכירויות.

בדמי חכירה שנתיים של 2500 ₪ לדונם סולארי ניתן לייצר הכנסה שנתית של 50 מיליון ₪, הכנסה משמעותית ביותר שתהייה ציון דרך ביחס המדינה לקהילה הבדואית, מנוף לשנוי

חברתי וכלכלי שמזמן היה צריך לצאת לפועל. בנוסף, ניתן גם לקדם תעסוקה בחוות הסולאריות של בני הקהילה הבדואית. אי אפשר להמעיט בחשיבותה של היוזמה הזאת.

## **8 . גידול בהספק ייצור החשמל בישראל**

ההספק המותקן כיום בישראל הוא כ-12000 MW והוא, ע"פ טענת חברת חשמל, כולל רזרבה קטנה של כ-5% לעומת אומדני שיא הביקוש למול ההספק הזמין בתקופות אלו. משק חשמל במדינה מפותחת צריך לכלול רזרבה של 20%, כך נטען. המחיר המשקי של אי אספקת קווי"ש בשעת שיא, עקב העדר רזרבת כושר ייצור מתאימה, הוא כ-24 דולר לקווי"ש, כפי שחושב במחקר שנערך בחברת החשמל בעבר.

מדינה מודרנית נמדדת בין השאר בשכיחות הפסקות חשמל יזומות אצלה עקב כשל בייצור. הנזק המשקי והפגיעה בשגרת החיים וברוחות האוכלוסיה במקרה של הפסקות חשמל כבדים מנשוא.

הגידול השנתי של צריכת החשמל מחייב פיתוח תחנות חשמל בהיקף של כ-350 MW בשנה. בפועל, עקב התמשכות תהליך קבלת החלטות, קשיים במערך הרגולציה, התנגדות מטעם ארגוני סביבה וקשיים בירוקרטיים נוספים, תהליך הקמת תחנת כוח חדשה נמשך ונמתח על פני לפחות 10 שנים, ראה למשל תחנת הכוח של דוראד באתר קצ"א ותחנת הכוח דליה באתר צפית, שתי תחנות של למעלה מ-800 MW כל אחת, שתכנון החל לפני למעלה משבע שנים ולא צפויות לפעול לפני שנת 2014.

בניגוד לתחנות הכוח הפוסיליות, תחנות הכוח הסולאריות ניתנות להקמה בתקופת זמן קצרה, אין הם מעוררות ויכוח עם ארגונים סביבתיים אשר תומכים בעיקרון באנרגיה נקיה מתחדשת, ולכן ניתן להגדיל את כושר ייצור החשמל ב-1000 MW בתוך תקופה של שלוש שנים ובכך לתרום את הרזרבות הדרושות לניהול תקין של משק החשמל.

כל שנדרש הוא לקבל החלטה, לשחרר מכסה, לתת רשיון ייצור והשוק, באמצעות החברות הסולאריות הקיימות, ייתן את תוספת הייצור הנדרשת.

תכנית מתאר ארצית תמ"א 10 ד 10 שמסדירה את הקמתן של תחנות כוח סולאריות מאפשרת הליכי תכנון ובנוי מהירים לתחנות כוח חדשות וכאן טמון יתרון משקי נוסף חשוב לתעשייה הסולארית.

ראוי בהקשר זה לציין כי הקמת תחנות כוח סולאריות תואמת את מדיניות הממשלה משנים רבות לעודד ביזור הייצור והכנסת יזמים פרטיים בהיקף של 20% מנפח הייצור המותקן.

## **9 . ההיבט החינוכי – פיתוח בר קימא**

ישראל היא כאמור המדינה היחידה בעולם שמתבססת בייצור חשמל רק על שריפת דלקים פוסילים. יש חשיבות רבה לחנך את הדור הצעיר על עקרונות של פיתוח בר קימא, שמירה על

כדור הארץ לדורות הבאים וחשיבה סביבתית כוללת. לשם כך, כדי להוכיח מחויבות לאומית לנושא, לא ניתן להסתפק בהתקנות בהיקף נמוך, כפי שמתוכננות עד עתה, אלא יש להראות גיוס משאבים לאומי כדי להגיע לשיעורי ייצור סולארי משמעותיים, כפי שנעשה למשל באיחוד האירופי. פיתוח זה גם ישפר את דימוייה של ישראל כמדינה שעומדת בהתחייבויותיה הסביבתיות ותורמת למניעת ההתחממות הגלובלית.



## פרק ו – התעשייה הסולארית וסוגיית מחיר החשמל בישראל

ללא קשר לסוגיית האנרגיות המתחדשות, יש להעלות את מחיר החשמל בישראל, עקב העלות החיצונית שמקורה בפליטת מזהמים ופליטת פחמן. עלות זאת חושבה לאחרונה (ומוסכמת על כל משרדי הממשלה) כעומדת על 12.5 אג' לקו"ש ולכן היא צריכה להיכלל בבסיס מחיר החשמל בישראל. תוספת העלות שתוטל על הצרכנים תייצר פדיון נוסף, שלא אמור להישאר אצל חברת חשמל אלא להיות מושקע בהפחתת פליטת המזהמים ובהקטנת פליטת הפחמן בעת ייצור החשמל.

מכאן שההשקעה באנרגיה סולארית, ומדובר בהשקעה מסיבית בהתקנת אלפי מגוואט, כפי שהמליצה חברת מקנזי לאחרונה, כאשר המימון להשקעה זו מקורו בפדיון העודף כתוצאה מהעלאת מחירי החשמל, היא צעד כלכלי הגיוני, ללא קשר לדיון שקיימנו בסוגיית העלות הנחסכת בייצור קו"ש סולארי, בפרק השלישי של עבודתנו

הדיון הטכני/כלכלי שהבאנו בפרק השלישי והרביעי רק מגבה ומתמרץ את הצורך להמשיך ולהשקיע באנרגיה סולארית, שכן, הוא מצביע על כך שהחיסכון המשקי הכולל והאפקטיבי, כולל מניעת פליטת מזהמים ופחמן, עומד על 75 אג', די קרוב למחיר העלות של הסדרת שדות סולארים גדולים.

ע"פ התחשיב המעודכן שהציגה רשות החשמל בפברואר 2011, התקנת MW 2850 מאנרגיות מתחדשות עד שנת 2020, מהן MW 1750 סולאריים, תביא להגדלת עלות כוללת בייצור חשמל של 6 אג' לקו"ש, שווה ערך להעלאת מחיר נדרשת של 15%. על כך יש לומר כי בכל מקרה יש צורך כאמור להעלות את מחיר החשמל ב 30% כדי להפנים את העלויות החיצוניות שכרוכות בייצורו (אשר להערכה עומד על 12.5 אג' לקו"ש) ולכן העלאת מחיר החשמל ב 15% היא צעד כלכלי מתבקש. כאן המקום להזכיר כי בתחשיב מחיר החשמל הנוכחי לא נלקחה בחשבון תשואה ריאלית הולמת על ההון העצמי של חברת חשמל. גם מסיבה זו יש צורך להעלות את מחיר החשמל ומכאן שהעלאה של 15% עדיין נמוכה מהיעד הכלכלי הסביר. כל עוד לא משלמים הצרכנים את מחיר החשמל הריאלי, מתקיים עיוות בהקצאת מקורות בשלב הצריכה, וסבסוד עסקים ותעשיות עתירי אנרגיה.

בשנת 2010 חלה ירידת מחירים ריאלית במקטע הייצור החשמל של 14% עקב ירידה בעלות סל הדלקים בשיעור של 24% עם הכניסה של הגז המקומי לייצור חשמל בישראל. (ראה מצגת מנחם קמיש מאפריל 2010)

העלאת מחיר החשמל ב 15% הצפויה עד שנת 2020, כתוצאה ובמקביל לכניסת התעשייה הסולארית לפעולה, ע"פ גרסת ותחשיב רשות החשמל, מחזירה בפועל את מחיר החשמל הריאלי, לרמתו בשנת 2009, וגם בשנת 2009 לא שיקף מחיר זה את העלות הריאלית של ייצורו מנקודת ראות המשק.

בניגוד לעמדת רשות החשמל, עמדתנו היא כי החשמל הסולארי קרוב בעלות הייצור שלו לעלות החשמל הפוסילי, אם מקבלים את הנחות העבודה שהצגנו במסמך זה, ולכן אין לקבל את הטענה שהפרויקט הסולארי מביא להעלאת מחיר החשמל ב 15% .

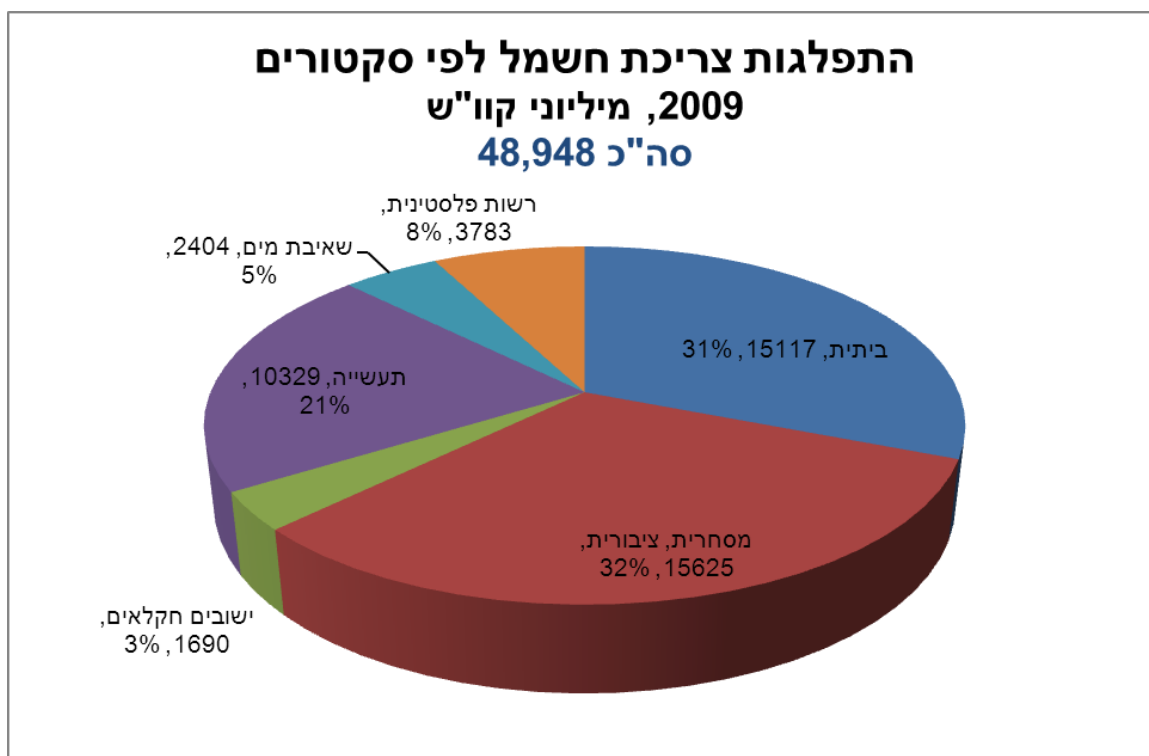
אבל אף אם נקבל את הטענה שהפרויקט הסולארי אכן מביא להעלאת מחיר החשמל במשק של 15%, נשאלה השאלה, האם העלאה זו היא צעד שלילי מבחינת המשק.

אנו טוענים שלא.

העלאת מחיר החשמל ב 15%, צעד מתבקש עקב העלות הלא ריאלית שלו כיום, שאינה כוללת את המחיר האקולוגי והבריאותי הכרוך בייצורו, תביא לירידה בביקוש לחשמל. ירידה בביקוש לחשמל היא יעד מקובל בכל הארצות המתפתחות, כדי להקטין את פליטת גזי החממה. בטבלה להלן, שנגזרה מהדו"ח הסטטיסטי של חברת חשמל לשנת 2009 אנו מציגים את התפלגות צריכת החשמל בשנה זו לפי סקטורי צריכה שונים :

**התפלגות צריכת חשמל לפי סקטורים. 2009**

הסקטור הצרכני	מיליוני קו"ש	באחוזים
ביתית	15,117	31%
מסחרית, ציבורית	15,625	32%
ישובים חקלאים	1,690	3%
תעשייה	10,329	21%
שאיבת מים	2,404	5%
רשות פלסטינית	3,783	8%
סה"כ	48,948	100%



קרוב ל 40% מהצריכה של החשמל היא צריכה ביתית, בישראל וברשות הפלסטינית. העלאת מחיר החשמל לצרכנים הביתיים היא שווה ערך להטלת מס עקיף פרוגרסיבי על משקי הבית,

שכן, התפלגות צריכת החשמל בין העשירונים היא עוד פחות שיוויונית מהתפלגות ההכנסות בין העשירונים, כך שבפועל עיקר תוספת העלות תוטל על העשירונים העליונים.

צריכה שנתית של חשמל בקו"ש		
עשירון	צריכה שנתית	אחוז מצריכת העשירון העליון
1	1,564	8%
2	2,974	15%
3	3,897	20%
4	4,776	24%
5	5,697	29%
6	6,728	34%
7	7,962	40%
8	9,567	49%
9	12,003	61%
10	19,687	100%
ממוצע	7,486	

תוספת עלות שנתית כתוצאה מהעלאה של מחיר החשמל ב 15% למשק בית בעשירון התחתון מסתכמת ב - 100 ₪ לשנה לעומת 1200 ₪ בשנה לעשירון העליון. במונחים של צריכה לנפש הפער הוא עוד יותר גדול היות ומספר הנפשות בממוצע במשק בית בעשירון העליון הוא 2.4 לעומת 5.7 בעשירון התחתון.

את העלות הנוספת של הסקטור המסחרי והציבורי ניתן להעביר לצרכן בלא פגיעה משקית וכך הדברים בתעשייה המייצרת לשוק המקומי. איננו רואים בעיה משקית בהעלאת מחיר החשמל לתעשייה, שכן עיקר צריכת החשמל נועדה לייצור תעשייתי מקומי, למשל מלט וזיקוק דלקים ואילו התעשייה הפטרוכימית והכימית תיהנה מירידת מחירי הגז עם המרת דלקים יקרים בגז זול.

על פי ההשוואה המופיעה בדוח הסטטיסטי האחרון של חברת חשמל, בשנת 2007 היה מחיר החשמל בישראל הנמוך ביותר מכל הארצות המופיעות בדוח, למעט ארה"ב, בערך מחצית מהמחיר במדינות אירופיות רבות כמו איטליה, הולנד, בריטניה ואחרות. מאז כאמור חלה בארץ ירידת מחירים ריאלית של 14%.

נראה לנו כי הפרויקט הסולארי משיג שני יעדים במקביל: הוא מעלה את מחיר החשמל, צעד מתבקש שיביא להקטנת ייצור והקטנת פליטת פחמן ומזהמים, עקב הירידה הצפויה בביקוש, ובמקביל הוא מביא לראשונה לייצור חשמל נקי מאנרגיה מ תחדשת.

זאת בצרוף כל היתרונות הרבים הנוספים שמנינו בפרק ה.

## פרק ז - סיכום והמלצות

נראה לנו, מעל לכל ספק, כי הצעד שנקטה הממשלה בהחלטה מס 4450 מינואר 2009 לעודד מעבר לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת, בעיקר אנרגיה סולארית, היה צעד חיובי ונכון, אולי אפילו מאוחר מעט.

ההתפתחויות מאז בכל התחומים רק מחזקות את חשיבותו של הצעד הזה.

מחירי העלות ירדו, כך שהמחיר המשקי לפיתוח הסולארי ירד.

ישראל נטלה על עצמה מחויבות להקטנת פליטת פחמן ומזהמים, הפרויקט הסולארי הוא כלי אפקטיבי למימוש וודאי של התחייבות זאת.

מחירי האנרגיה עלו מאז, וגם הביטחון האנרגטי עורער מעט, עקב ההתפתחויות במצרים.

הפרויקט הסולארי תורם לפיתרון לבעיות אלו.

מציאת מרבצי הגז הימיים, שהביאה להורדת מחירי החשמל ולהורדת מחיר הדלקים בייצור התעשייתי, מאפשרת להעלות את מחיר החשמל בלי לפגוע ברמת החיים של התושבים ובלי לפגוע במעמד התחרותי שלהתעשייה הישראלית. מדובר בהשבת מחיר לקדמותו, צעד נדרש בכל מקרה.

התנופה היזמית, תגובת השוק להחלטת הממשלה על פיתוח השוק הסולארי, מוכיחה כי מדובר בפרויקט כלכלי בר מימוש בתקופה הקרובה, הנשען כולו על הון יזמי ואשראי מסחרי, ללא צורך במעורבות ממשלה, מלבד קביעת מכסות ומחירים.

### יש לדעתנו מקום לשחרר את 500 MW של השדות הגדולים מיידית.

יש לבחון את הגדלת המכסות לשדות בינוניים ב 300 MW נוספים. מדובר בכושר ייצור קיים מוכת, ובהשקעה שחלקה כבר בוצע למעשה, בהתארגנות תכנונית וקרקעית שחבל שתד לטמיון. הגדלת המכסות של השדות הבינוניים, לטעמנו, צריכה להיות בטווח הקצר, והיא צריכה להיות מכוונת לערבה ולנגב בלבד, שכן החלטת הממשלה 4450 דיברה מפורשות על מתן העדפה לאזורים אלו, העדפה שעד עתה לא באה לידי בטוי.

באותה הזדמנות יש מקום לבחון התאמת מחירים, כלפי מטה, לאור ירידת המחירים שנרשמה מאז הוסדרו מחירי הרכישה של חשמל בשדות הבינוניים. גם התכתיב לרתק הון עצמי לפרויקט הסולארי, לכל אורך חייו, בשיעור של 20% מההשקעה, כדאי שיבדק ואולי עדיף לאפשר למערכת הבנקאית לעסוק בנושא, ללא תכתיבים ממשלתיים.

בטווח היותר ארוך, נאמר בעוד שלוש שנים, יש לבחון את המצב ולראות, לאור ההתפתחויות במימוש פוטנציאל אנרגיית הרוח והביומסה, לאור המחירים שישררו בתעשייה הסולארית במועד זה ולאור מדיניות האקלים והמחויבויות הבינלאומיות בכלל, אם יש מקום להוספת מכסות סולאריות.

צריך גם לציין כי התעשייה הסולארית שכבר קמה בישראל מאז ראשית שנת 2009 היא עדיין בגדר "תעשיית ינוקא" שזקוקה לתמיכה ממשלתית, לפחות בשנים הראשונות של קיומה. התמיכה הממשלתית במקרה זה, לטעמנו, צריכה לבוא לידי ביטוי ביישום מדיניות עקבית לאורך כל הדרך, פתיחת צווארי בקבוק, שכבר נוצרו, בעיקר בתחום הקצאות ומחירי הקרקע, ויצירת וודאות למשקיעים, תנאי הכרחי לפיתוח יזמות בריאה, מצד יזמים מקומיים ומצד יזמי חוץ ומוסדות אשראי מקומיים וזרים.

שנוי מדיניות וזגזוג בקבלת החלטות רק יפגעו בתהליך כלכלי מבטיח שזה עתה יצא לדרך. ההסטוריה הכלכלית הקצרה של ישראל הוכיחה כי תמיכה ממשלתית בשלבים המוקדמים של פיתוח ענפי משק מאפשרת פיתוח כלכלי בר קיימא ופיתוח ענפי יצוא מרכזיים. כך היה בפיתוח החקלאות, התעשייה הבטחונית, תעשיית ההי טק, הקמת קרנות הון סיכון, וכך צפוי להיות בפיתוח התעשייה הסולארית.

התמיכה בתעשייה צריכה להיות מלווה בתמיכה במחקר ופיתוח, הן בשלב המחקר הבסיסי במוסדות המחקר האקדמיים והן בשלב המחקר היישומי בחברות הזנק ובחברות מבוססות. ישראל יכולה להיות מעצמה בתחום הסולארי, למעשה חלק גדול מהפיתוחים הסולאריים מקורם בישראל ויש סכוי סביר שהתמיכה הנוספת במחקר ופיתוח תביא לפריחה מחודשת של התחום הזה.

התנאים האקלימיים, הגאוגרפיים והטופוגרפיים בישראל, כושר הייזום, הפוטנציאל המחקרי וההשגים שכבר הושגו בתחום זה, כל אלה מצביעים כי יש להמשיך וללכת באותה דרך, ובייתר שאת.