

מחקר חלוץ ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון וניהול שטחים פתוחים במרחב שקמה

שאלת חקר

פריסת מתקנים לייצור אנרגיה חשמלית מאור השמש
(פוטו-וולטאית) והשפעתם על שירותי המערכת האקולוגית



כתיבה: דן (קוצי) וייל,
הילה שגיא ויואב שגיא
צוות הפרויקט: אורי רמון,
גדי רוזנטל וחיים חרמוני
עריכה: חיה ארז

ינואר 2016 - מכון דש"א

הרכב צוות הביצוע

- יואב שגיא, מנהל מכון דש"א
- דן (קוצי) וייל, מוביל שאלת החקר: פריסת מתקנים סולאריים (הדו"ח הנוכחי)
- אורי רמון, מוביל שאלת החקר: ממשקים חקלאיים (דו"ח נוסף של הפרויקט-ראו [קישור](#))
- הילה שגיא, רכזת הפרויקט, כתיבה, עריכה והובלת הסקרים
- חיים חרמוני, מנהלת פארק שקמה, מרכז הוועדה החקלאית, מ.א. שער הנגב, ליווה את הפרויקט מטעם מנהלת שקמה
- חברת כיוון: גדי רוזנטל, ליווי כלכלי של הפרויקט
- איריס האן (חלק מצוות המחקר בשלב הראשון של הפרויקט)
- עו"ד חיה ארז, עריכה וכתובה
- דר' אמיר פרלברג, הערכת המגוון הביולוגי
- רחל עברון, סקר "היחס לסביבה במרחב שקמה", ותוכנית חינוכית להטמעת גישת שמ"א בקרב הציבור
- דיקלה זיידמן וגל כגן, GIS והדמיות, מכון דש"א

תודות

עורכי המחקר מודים לשורה ארוכה של אנשים, הרשומים להלן, אשר אפשרו את ביצוע המחקר תרמו זמן, מידע וידע, וסייעו ברעיונות, בחשיבה ובניתוח הממצאים.

אלון שוסטר וחברי מנהלת פארק שקמה

אדריכלים ומהנדסים: אברהם אידלשטיין – אדריכל, א-ב מתכננים, בן-ציון כרמל – הנדסה בע"מ, אדריכלי נוף: חצב יפה וטלי וקסלר.

יחידה סביבתית אזורית הנגב המערבי: שחר יסינובסקי. יעוץ סביבתי של מנהלת פרויקט אשלים: עו"ד תומר גוטהלף. שמאות: אור לוי – סגן השמאי הממשלתי.

איגוד חברות לאנרגיה ירוקה: איתן פרנס ואמנון פנץ. הפורום הישראלי לאנרגיה: שחר דולב.

מרכזי משק במרחב שקמה: אמנון זרקא – מרכז משק קיבוץ ארז, סיימון גוטריי – מרכז משק ברור חיל. מדריך גד"ש: עוזי נפתליהו. חקלאי גד"ש רוחמה: רן פרדמן.

חברת גיא-טבע: דניאל זמלר, ודויד מנינגר.

התייעצות לגבי הערכת ויסות סחף קרקע ומים: אלון ירון ופרופ' יונתן לרון. התייעצות לגבי הערכת מאזן גזי חממה ולכידת פחמן: יוני וייץ, דר' ז'וזה גרינצוויג ופרופ' דן יקיר.

החברה להגנת הטבע: דרור בוימל.

חברה כלכלית לפיתוח חוף אשקלון בע"מ: זאב מייך.

רשות החשמל: חוני קבלו.

לשכת התכנון-מחוז דרום: אסתי טרקטינסקי, אילה גזית, איריס ברקוביץ.

מנהל התכנון: רן דרסלר.

משרד החקלאות – מטה: אורי צוק-בר, דר' אורית גינזבורג, אלון מאור, דר' אפרת הדס, בני יעקובי, דר' גדעון טופרוב, דוד ירוסלביץ', דני לסקה, נטע פינשטיין, ענת לוינגרט-אייזיציין, דר' צפיר גרינהוט, דר' רותי פרום, רמי זיידנברג, רענן אמויאל, שי דותן.

משרד החקלאות – התחנה לחקר הסחף: דר' אלי ארגמן, דר' גיל אשל, דר' רועי אגוזי ואפרים פיזיק. **המארג:** קרן קלס ודר' אלון לוטן.

מומחים נוספים מהאקדמיה ומכון וולקני: פרופ' אבי פרבולוצקי, ד"ר אפרת אייזנברג, דר' גיל קוניאק, פרופ' רודולף דה-גרוט, פרופ' דן יקר, פרופ' דניאל אורנשטיין, פרופ' משה קול, פרופ' שחל עבו, דר' נעה אבני-אבריאל, פרופ' ערן פיטלסון, דר' שלומית תמרי, רועי זיידנברג, פרופ' תמר דיין ופרופ' יוסף שטיינברג.

רשות ניקוז, נחלים ושימור קרקע בשור שקמה: דר' נחמיה שחף, עמיר ססלר, עופר שאולקר, מיטל רז ולירן יאנקוביץ'.

המשרד להגנת הסביבה: מנחם זלוצקי, נועה שטיינר, תמר רביב, עודד נצר, דר' סיניה נתניהו ואייל יפה.

ניתוח סטטיסטי לסקרים: יונתן יעקבי

רט"ג: רחל עברון, יתיר שמיר, איל מיטרני, יריב מליחי, קובי סופר, מירה אבנרי, דותן רותם.

מתכנני תכנית האב למרחב שקמה: דני גור ואדר' אילן אייזן.

צילומים: אסף טורציון, אורי רמון, יואב שגיא, מיטל רז, דן (קוצי) וייל, חיים חרמוני והילה שגיא.

תודה לכולם, במידה ונפלו טעויות במסמך הן באחריות הכותבים בלבד.

המחקר התקיים בסיוע הקרן לשמירה על שטחים פתוחים ברשות מקרקעי ישראל,		
קרן ברכה והמשרד להגנת הסביבה		
		

פרטי הדו"ח לציטוט: וייל, ד., שגיא, ה., שגיא, י., רמון, א., רוזנטל, ג. וחרמוני, ח. 2016. השפעת חלופות פריסה שונות של מתקנים לייצור אנרגיה חשמלית מאור השמש (פוטו-וולטאיים) על שירותי המערכת האקולוגית במרחב שקמה. מחקר חלוץ ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון ובניהול מרחב שקמה. מכון דש"א.

תוכן עניינים

2	צוות ביצוע
2	תודות
6	1. מבוא
8	2. המטרות, המבנה ותכנית העבודה של הפרויקט
11	3. שאלת פריסת מתקני אנרגיה סולארית - השיקולים להגדרתה כשאלת חקר
12	אנרגיות מתחדשות ממקור סולארי בעולם
14	מערכות פוטו-וולטאיות ועקרונות הפעולה שלהן
15	סיווג מתקנים לייצור חשמל מאנרגיית השמש בישראל
16	פריסת מתקני אנרגיה סולארית במרחב שקמה כיום
17	4. הגדרת חלופות פריסת מתקני אנרגיה סולארית
20	5. זיהוי בעלי עניין ומקבלי החלטות
21	6. הערכת שירותי המערכת האקולוגית
21	יעוץ מקצועי לביצוע הערכת שמ"א
22	ההשפעה על שמ"א במעבר משדה חקלאי [בעל] לשדה פוטו-וולטאי
32	השוואה בין מתקנים פוטו-וולטאים על גגות למתקנים קרקעיים והשפעתם על שמ"א
38	הערכה כלכלית של מתקנים סולאריים על גגות בהשוואה לשטח פתוח
42	7. התייחסות לחשיבות שירותי המערכת האקולוגית שמספק השטח הפתוח
44	8. גורמי שינוי
44	גורמי שינוי להצבת מתקנים על גגות
46	גורמי שינוי העשויים להשפיע על חלופות פריסת מתקנים סולאריים על הקרקע
49	חלופת תרחיש הקיצון
53	9. פרק אינטגרציה - תכלול ממצאי הערכות שמ"א
53	השוואה בין חלופות בתרשים משולב (תרשים פרח)
54	בעלי העניין המושפעים מהתרחישים השונים
56	השוואה בין חלופות מיקום וגודל בטבלת חצים
58	ממשקי עזר של ניהול ותכנון שדה סולארי לשיפור מאזן שמ"א
59	10. מסקנות
60	הטמעת ממצאי המחקר ותהליך המחקר
61	המלצות לפעולות ומחקרי המשך
63	11. מילון מונחים
64	12. מקורות
71	13. נספחים

רשימת טבלאות

טבלה 1 - מתודולוגיית הפרויקט	10
טבלה 2 - מיפוי בעלי עניין ונקודות החלטה	20
טבלה 3 - יעוץ מקצועי עבור הערכת שמ"א	22
טבלה 4 - השפעת המעבר משדה חקלאי - בעל לשדה פוטו-וולטאי על שמ"א	30
טבלה 5 - השוואה בין מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות מול קרקע על שמ"א	37
טבלה 6 - השוואת מתקן סולארי על גגות למתקן קרקעי – עלויות משקיות	40
טבלה 7 - מרוויחים ומפסידים בחלופות השונות	55
טבלה 8 - מסקנות ההערכה הכלכלית	55
טבלה 9 - שינוי במגמות שמ"א - תחת חמישה תרחישים – פריסת מתקנים פוטו-וולטאיים	57

רשימת איורים

איור 1 - סיווג השירותים על פי המארג - "מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית"	6
איור 2 - המבנה הארגוני של הפרויקט	9
איור 3 - צמיחה ביכולת העולמית לייצור אנרגיה פוטו-וולטאית [IEA 2014 עמ' 9]	12
איור 4 - קריטריונים של החברה להגנת הטבע בגרמניה והתעשייה הסולארית בגרמניה להקמת פארקים סולאריים סביבתיים	14
איור 5 - חלופות פריסת מתקנים פוטו-וולטאיים	19
איור 6 - העדפות הציבור לגבי הצבת מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות או על שטחים חקלאיים	28
איור 7 - העדפות הציבור לגבי הצבת מתקנים פוטו-וולטאיים צמודי דופן או בלב השטחים	29
איור 8 - השטח הפוטנציאלי במרחב שקמה עם רצף גדול או שווה ל- 100 דונם	50
איור 9 - תרחיש א' - כארבע-עשר מתקנים קרקעיים בגודל של כ- 700 דונם	51
איור 10 - תרחיש ב' - שני מתקנים גדולים כל אחד בגודל 5,000 דונם	51
איור 11 - תרחיש פרח - השוואה בין חלופות פריסה שונות של מתקנים פוטו-וולטאיים	54

רשימת נספחים

נספח 1 - רשימת שירותי המערכת האקולוגית והתועלות מהשירות	71
נספח 2 - רשימת כנסים, סדנאות, ימי עיון, דיונים, וכנסים בין לאומיים בהם הוצג הפרויקט	71
נספח 3 - דיונים רבי משתתפים בקרב בעלי עניין וקובעי מדיניות בהם הוצג הפרויקט	72

מחקר חלוץ ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון ובניהול שטחים פתוחים במרחב שקמה

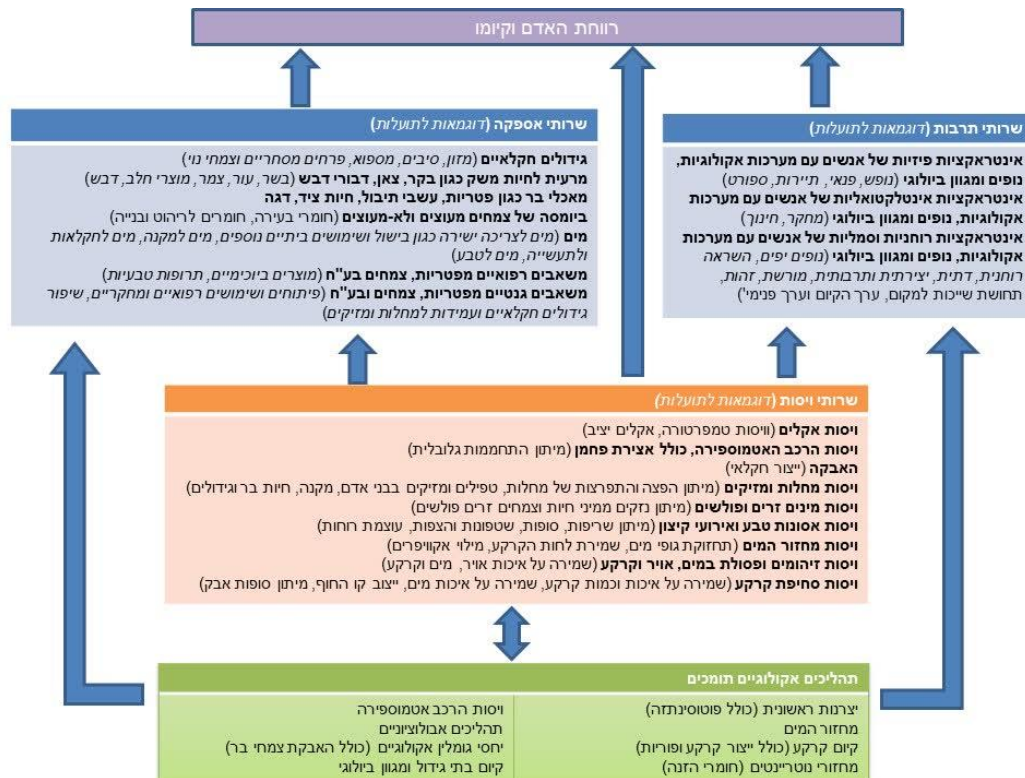
שאלת חקר: פריסת מתקנים לייצור אנרגיה חשמלית מאור השמש (פוטו-וולטאיים) והשפעתם על שירותי המערכת האקולוגית

1. מבוא

גישת שירותי המערכת האקולוגית (שמ"א) פותחה במטרה להרחיב ולהעמיק את השיח הסביבתי ולשפר את ההפנמה של ערכים סביבתיים בתהליכי קבלת החלטות. לכן, יש חשיבות רבה ללימוד הגישה ויישומה במסגרת תהליכים המשפיעים על השטחים הפתוחים בישראל.

גישת שמ"א עוסקת ביחסי אדם וסביבה ובמתח המובנה שבין פיתוח ושימור. שמ"א מוגדרים ככלל התועלות שהאדם מפיק מהמערכות האקולוגיות שעל פני כדור הארץ לשם קיום, בריאות ואיכות החיים. שמ"א הם בעלי ערך חומרי (כלכלי) או לא חומרי (אסתטי/תרבותי/רוחני) עבור בני האדם. את ערכם של חלק משמ"א ניתן להעריך כלכלית, על בסיס ערך השוק שלהם. ככל שאין לשירות ערך שוק מוכר (כגון: שירותי מגוון ביולוגי או שירותים אסתטיים, תרבותיים ורוחניים), יש קושי לבצע הערכה כלכלית שלו. סיווג השירותים השונים מוצג [איור 1](#):

איור 1 - סיווג השירותים על פי המארג - "מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית"



ראו רשימה מורחבת של השירותים ותועלותיהם לאדם [נספח 1](#).

על פי גישת שמ"א, בעת קבלת החלטות הנוגעות להשפעת הפעילות האנושית על עתידם של משאבי טבע, יש לשקול את השלכות ההחלטה על שמ"א המסופקים לאדם: אלו שמ"א ייפגעו ואלו שמ"א יגדלו או יתחזקו בגין ההחלטה. ניתוח כזה יסייע להבנה עמוקה של מאזן הנזק והתועלת מפעולות פיתוח, ליישוב לבטים הצפים בעקבות קונפליקטים בין פיתוח ושימור ולקבלת החלטות מיטביות שיקדמו צמיחה מקיימת: צמיחה חברתית, כלכלית וסביבתית.

יישום גישת שמ"א התפתח בשנים האחרונות ונמצא עדיין בשלבי פיתוח ומחקר. ישראל לוקחת חלק במאמץ הבין-לאומי להטמעת הגישה במסגרת פרויקט ההערכה הלאומית שמוביל המשרד להגנת הסביבה בשיתוף עם המארג ובמסגרת מחקרים אקדמיים. לגישת שמ"א יש יתרונות רבים ועם זאת יש להכיר גם במגבלותיה. לדוגמה, הסכנה שערכם של חלק משמ"א לא יקבל משקל הולם בהליכי קבלת החלטות, בגלל הקושי לכמת את ערכם במונחים כלכליים.

מכון דש"א הציב כמטרה את בחינת יישום הגישה ברמה אזורית ונושאת. לימוד ויישום הגישה נעשו במסגרת פרויקט משותף עם מנהלת פארק שקמה ועם בעלי עניין רבים נוספים. תהליך ביצוע הפרויקט וממצאיו מתוארים בשני דו"חות, כשכל דו"ח מתייחס לאחת משתי שאלות חקר שנבחנו במסגרתו. דו"ח זה עוסק בשאלת חקר בנושא "השפעה של פריסה ומיקום מתקנים סולאריים על שמ"א". דו"ח נוסף עוסק בשאלת חקר בנושא "[בחינת השפעות של ממשקים חקלאיים שונים בשדות הבעל במרחב שקמה על שירותי המערכת האקולוגית](#)". תוצר נוסף של הפרויקט הוא "[מדריך ליישום גישת שמ"א](#)".

המרחב שנבחר לביצוע פרויקט חלוץ-חדשני זה הוא פארק שקמה. האזור נבחר הודות לחשיבותו כאזור מעבר בין אקלים ים תיכוני למדבר ולאור הגישה המקיימת והמשתפת המופעלת בתכנונו וניהולו. מנהלת פארק שקמה החליטה להוביל את התהליך בשיתוף עם מכון דש"א, מתוך כוונה שההתנסות תועיל להמשך קידום הפארק ותיצור תשתית מידע סביבתית, שתסייע למקבלי ההחלטות.

2. המטרות, המבנה ותכנית העבודה של הפרויקט

מטרת העבודה

מטרת העבודה הייתה שימוש בגישת שירותי המערכת האקולוגית, ככלי עזר לקבלת החלטות בשאלות מוגדרות, הנוגעות בתכנון וניהול שטחים פתוחים במרחב הפרויקט. לשתי שאלות החקר שנבחרו ונבחנו יש השפעה על שטחים פתוחים במרחב שקמה והן מעסיקות בעלי עניין במרחב ומחוצה לו. בסיס הנתונים שנבנה בתהליך וממצאי המחקר נועדו לסייע לניהול מקיים של המרחב. מתוך הכרה בחשיבות תהליך העבודה, שאינה פחותה מזו של תוצרי הפרויקט, הושם במהלכה דגש על תהליכי חשיבה ועבודה משותפת עם בעלי עניין רבים באזור ומחוצה לו. תהליכי העבודה מפורטים ב"מדריך ליישום גישת שמ"א".

לפרויקט הוגדרו שתי מטרות מרכזיות:

- התנסות ביישום גישת שמ"א בתכנון וניהול שטחים פתוחים בכלל וברמה האזורית בפרט;
- בחינת האפשרויות, השיטות והדרכים לשילוב הערכות (כלכליות, כמותיות ואיכותיות) של שמ"א בתהליכי קבלת החלטות, באופן שיתרום לתכנון וניהול בר-קיימא של השטחים הפתוחים בישראל.

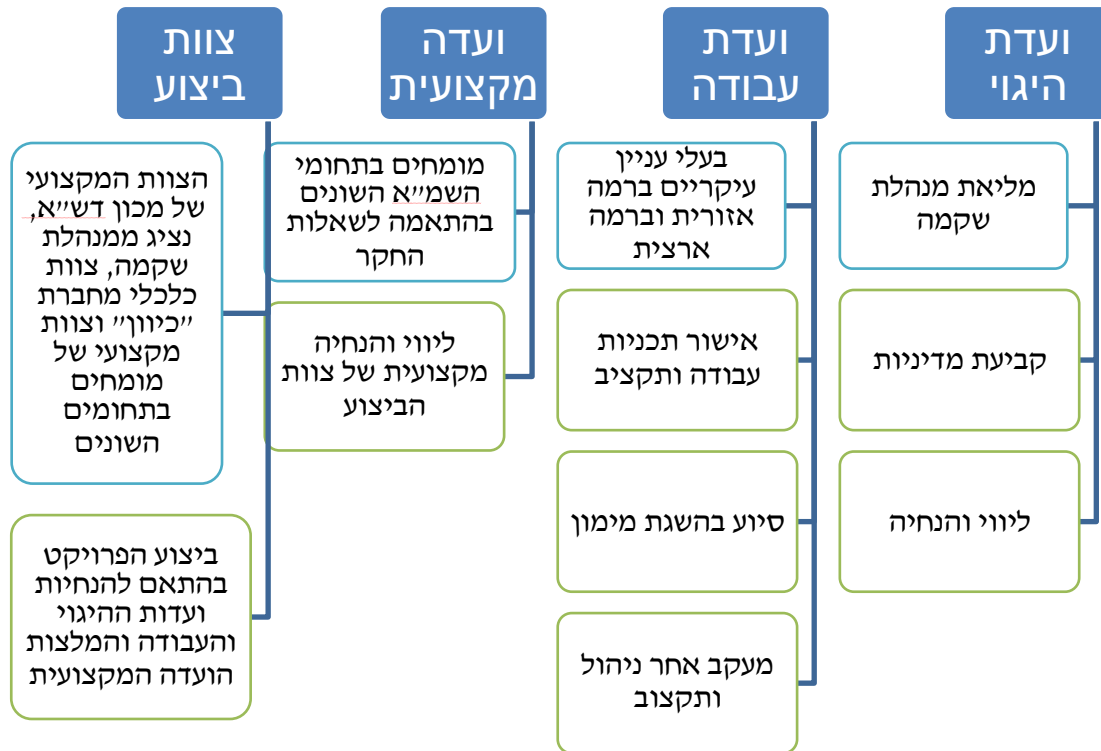
לצד המטרות המרכזיות, הוצבו לפרויקט מספר מטרות משנה:

- **הטמעת השיח של שמ"א בקרב מקבלי החלטות.** הטמעת השיח של שמ"א עשויה להוות זרז לשינוי תהליכי קבלת החלטות אסטרטגיות. חשיפת בעלי העניין השונים לשפה החדשה בתהליך העבודה תורמת להשגת יעד זה.
- **העלאת מודעות הציבור לנושא שמ"א.** העלאת המודעות הציבורית לחשיבות תפקודן של המערכות האקולוגיות כספקי שמ"א החיוניים לרווחת האנשים. אחד האמצעים להשגת המטרה היה פרויקט חינוכי וקהילתי, שנעשה בשיתוף פעולה עם רשות הטבע והגנים (רט"ג) וכלל העברת סקר ["היחס לסביבה במרחב שקמה"](#).
- **יצירת תשתית ליישום גישת שמ"א באזורים נוספים בארץ.** המטרה מקודמת באמצעות תיעוד המודל היישומי של הערכת שמ"א במדריך ועל ידי שימת דגש על הטמעת גישת שמ"א בשיח הציבורי במהלך ביצוע הפרויקט.
- **העשרת הידע המדעי/אקדמי בנושא הערכת שירותי המערכת האקולוגית ובנושא "מתקנים פוטו-וולטאיים" שהוא נושא דו"ח זה.** מטרה זו קודמה באמצעות שיתוף הידע שנצבר בפרויקט עם משתתפי פגישות, סיורים, דיונים ופורומים שונים. בנוסף, הפרויקט הוצג בכנסים מקצועיים ואקדמיים, מקומיים ובין-לאומיים, בתחומי סביבה, חקלאות ואנרגיה (לרשימה ראו [נספח 2](#) ו-[נספח 3](#)).

המבנה הארגוני של הפרויקט

השלב הראשון בפרויקט היה איתור שותפים למהלך. מנהלת פארק שקמה, שבה חברים ארגונים המייצגים את כלל בעלי העניין באזור, גויסה כמזמינה וכוועדת היגוי של הפרויקט. המבנה הארגוני של הפרויקט נקבע בעקבות צירופם לפרויקט של שותפים נוספים ברמה המקומית והארצית.

איור 2 - המבנה הארגוני של הפרויקט



צוות הפרויקט נפגש עם מומחים ובעלי עניין נוספים, ואלו הצטרפו כשותפים לתהליך לצד הגורמים המפורטים בתרשים. אנו מודים לכלל בעלי העניין והמומחים, שתרמו לפרויקט מזמנם ומהידע והניסיון שלהם.

תהליך העבודה

תכנית העבודה נבנתה על בסיס לימוד עבודות שמ"א, שנערכו במדינות אחרות, ועל בסיס מידע שנצבר בכנס שירותי המערכת האקולוגית הבין-לאומי בהולנד באוניברסיטת ווגינגן [\[4th ESP_1\]](#) [\[conference\]](#). התכנית גובשה לאחר התייעצות עם הוועדה המקצועית, עם ועדת העבודה ועם מומחים ובעלי עניין נוספים. היא אושרה על ידי ועדת ההיגוי והתעדכנה במהלך ביצוע הפרויקט. התכנית מוצגת בהמשך, בטבלת אבני הדרך [\(טבלה 1\)](#).

בחירת שאלות החקר שייבחנו בפרויקט היוותה חלק מרכזי בעבודה. לאחר שגובש המבנה הארגוני הראשוני של הפרויקט, נבחנו שש שאלות שנמצאו כרלוונטיות ומשמעותיות לאזור. מתוכן נבחרו, בהתייעצות עם המשתתפים במעגלי העבודה השונים, שתי השאלות אשר בהן הפרויקט התמקד.

המשך הדו"ח עוסק בראשונה משתי שאלות החקר הבאות שנבחנו בפרויקט:

- א. בחינת השפעות של מיקומים ומאפיינים שונים של פריסת מתקני אנרגיה סולארית על שירותי המערכת האקולוגית ("שאלת פריסת מתקני אנרגיה סולארית").
- ב. בחינת השפעות של ממשקים חקלאיים שונים בשדות הבעל במרחב שקמה על שירותי המערכת האקולוגית ("שאלת ממשקים חקלאיים").

טבלה 1 - מתודולוגיית הפרויקט

פירוט ותוצרים	אבני דרך
שלבי התארגנות שבוצעו במקביל:	
מרחב שקמה אותר כאזור מתאים מבחינת אופיו והאפשרות לשיתוף פעולה עם המנהיגות האזורית.	איתור אזור לביצוע העבודה
איסוף מידע קיים על התכנון והניהול של שימושי קרקע באזור. המידע נאסף במהלך עשרות פגישות עם בעלי עניין וחוקרים ברמה אזורית וארצית.	איסוף מידע על האזור
אימוץ הפרויקט על ידי מנהלת שקמה והגדרתה כמזמינה וכוועדת ההיגוי של הפרויקט; הקמה והפעלה של ועדת עבודה וועדה מקצועית מלווה; גיוס גורמים ארציים לקחת חלק במיזם, וביניהם משרד החקלאות, המשרד להגנת הסביבה, רט"ג, המארג, קק"ל.	התארגנות ואיתור שותפים
הגדרת שאלות חקר, שינוחחו על פי גישת שמ"א. בשלב זה נבחרו שתי שאלות: "שאלת ממשקים חקלאיים" ו"שאלת פריסת מתקני אנרגיה סולארית". דו"ח זה מתמקד ב-"שאלת פריסת מתקני אנרגיה סולארית".	הגדרת שאלות חקר
ניתוח שאלת החקר	
גיבוש החלופות והתרחישים שייבדקו במהלך הפרויקט. בשלב זה זוהו גם גורמי שינוי קריטיים.	הגדרת חלופות ותרחישים
איתור בעלי העניין המשפיעים ומושפעים מהחלופות השונות וגורמים מקצועיים שעשויים לסייע באיסוף וניתוח מידע.	זיהוי בעלי עניין ומקבלי החלטות
מיפוי ראשוני של שמ"א. לכל שמ"א בוצע ניתוח של היקף, היתכנות ושיטות ההערכה, זיהוי פערי מידע ואיתור מומחים.	מיפוי שמ"א
גיבוש רשימה מצומצמת של שמ"א החשובים ביותר, על פי מדדים וקריטריונים שנקבעו. לגבי אלו בוצעה בהמשך הערכה מעמיקה.	תעדוף שירותי המערכת
בניית תכנית עבודה לתיאור והערכה של כל שמ"א שברשימה המצומצמת.	בניית תכנית עבודה
גיוס של מומחים להתייעצות לגבי שמ"א שתועדפו.	איתור מומחים
הערכת שמ"א נעשתה ע"פ סקירת ספרות, דוחות קיימים, ידע מומחים ושני סקרי ציבור. נערכה הערכה איכותית, כמותית ו/או כלכלית של השירות, בחינת מגמות התחזקות או הפחתת השירות ומידת הוודאות בהערכתו. שירותי התרבות הוערכו, בנוסף, על-ידי סקר "היחס לסביבה במרחב שקמה" ו"סקר דעות הציבור לגבי חלופות פריסה של מתקנים סולאריים במרחב שקמה".	הערכת שמ"א
הערכות שמ"א הוצגו ונשלחו לבעלי עניין ומומחים למשוב, ועודכנו בעקבות זאת.	קבלת משוב
פגישות לבדיקה של הדרך הנכונה והיעילה ביותר להטמעה ולשימוש בתוצרי העבודה. בנוסף, כחלק מהליך הטמעת השיח של שמ"א והתכנים שנחקרו, בוצעה פעילות חינוכית במסגרת סקר "היחס לסביבה במרחב שקמה".	הטמעה וסקר "היחס לסביבה במרחב שקמה"
בסיום ההערכה הפרטנית של השפעת השינוי על כל שמ"א, נבחנה ההשפעה המשולבת של כל חלופה שנבחנה על מכלול שירותי המערכת האקולוגית ובעלי העניין השונים.	אינטגרציה
פעולות לאחר ובזמן ניתוח שאלת החקר:	
סיכום הממצאים והעברתם למשוב.	סיכום הממצאים והעברה למשוב
הצגה והפצה של הממצאים לקהלי יעד שונים כבסיס מידע לקבלת החלטות ולתכנון וניהול אזורי.	פרסום הממצאים והפצתם
ביצוע מעקב ובקרה על השפעת הפרויקט ורמת ההטמעה של ממצאיו במספר קהלים.	מעקב ובקרה
הפקת לקחים על בסיס המעקב אחר הטמעת הממצאים ומידת ההשפעה שלהם על השמירה על שטחים פתוחים וערכי טבע ונוף.	הפקת לקחים
כתיבת מדריך יישומי, כמודל ליישום גישת שמ"א באזורים אחרים וכסיוע להערכה הלאומית של שמ"א.	הפקת מדריך ליישום גישת שמ"א

3. שאלת פריסת מתקני אנרגיה סולארית - השיקולים להגדרתה כשאלת חקר

המחויבות הבין-לאומית של ישראל לתרומה להפחתת פליטות גזי חממה ולהגדלת חלקן של אנרגיות מתחדשות במשק החשמל, הביאה להחלטות ממשלת ישראל על ביסוס חלק ממשק החשמל על אנרגיות מתחדשות (5% עד 2014, ו-10% עד 2020). נקבעה מדיניות ממשלתית המעודדת הקמת מתקנים להפקת אנרגיה ממקורות מתחדשים, ובעיקר אנרגיה מאור השמש. במסגרת זו קיבלה ממשלת ישראל את החלטה מס' 4450¹, שעל בסיסה אושרה, בסוף שנת 2010, תכנית המתאר הארצית למתקנים פוטו וולטאיים - תמ"א 10/ד/10. יישום תמ"א 10/ד/10, הביא לגידול בהיקף המיזמים להפקה של אנרגיה סולארית על גבי גגות מבנים ובשטחים פתוחים וללחצים לאישור הקמת יוזמות מכל הסוגים.

בהמשך להחלטת הממשלה 4450 רשות החשמל קבעה תעריפים מיוחדים לרכישת החשמל המיוצר במתקנים סולאריים (תעריפי הזנה - Feed in Tariffs) והוקצו מכסות להקמת מתקנים פוטו-וולטאיים (הממירים באופן ישיר קרינת שמש לאנרגיה חשמלית) ותרמו-סולאריים (הממירים קרינת שמש לחום, המשמש לייצור קיטור המניע טורבינות לייצור חשמל). כמו כן נקבעו סדרי עדיפויות להקמת המתקנים הסולאריים באמצעות מסלולי אישור ורישוי משתנים (היתר בלבד למתקנים על גבי גגות, ותכנית למתקנים על גבי הקרקע, בהתאם לגודל המיזם ומיקומו). בניגוד לחלק ממדינות אירופה, התעריף לרכישת החשמל אינו מושפע ממיקום המיזם. עבודה זו עוסקת רק במתקנים פוטו-וולטאיים, כיוון שנכון לעת כתיבת הדברים אין במרחב שקמה תכניות להקמת מתקנים תרמו-סולאריים.

בחירת שאלת חקר זו נבעה מכך, שהחל משלביו הראשונים של הפרויקט, מנהלת פארק שקמה הביעה התעניינות בבחינת ההשפעה של חלופות שונות של פריסת מתקנים סולאריים פוטו-וולטאיים על הסביבה. זאת לאור העובדה, שמרחב שקמה הוא יעד אטרקטיבי למיזמים פוטו-וולטאיים, בעיקר בשטח הפתוח, בגלל מאפיינים של קרבה גיאוגרפית למרכז הארץ ולתשתיות הולכה, רמת קרינה גבוהה וטופוגרפיה מתונה ורצון התושבים לגיוון המשאבים הכלכליים. לכך נוספה תשומת הלב המיוחדת של תכנית פארק שקמה לנושאי הסביבה. האפשרויות הקיימות להקמת המתקנים הסולאריים מגוונות מבחינת גודל ומיקום המתקנים, וכפי שנראה בהמשך, אפשרויות אלו משפיעות באופנים שונים על מאזן שמ"א.

במסגרת העבודה התבצעה הערכה של השפעת תרחישי הפריסה השונים (קרקע/גגות/גודל/מיקום) על שירותי המערכת האקולוגית. המטרה שעמדה בבסיסה היא לספק למקבלי ההחלטות מידע מובנה וזמין על ההשפעות הסביבתיות-כלכליות של חלופות שונות של הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים במרחב ועל משמעותן, כבסיס להחלטות מושכלות לגבי מיזמים עתידיים.

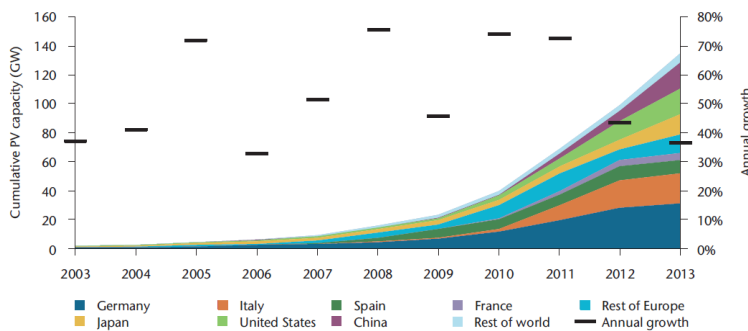
¹ באוגוסט 2015 בוטלו היעדים להפחתת פליטות גזי חממה, שנקבעו בהחלטה 4550 ובספטמבר 2015 נקבעו יעדים חדשים לשנת 2030, שעיקרם ייצור חשמל ממקורות מתחדשים בהיקף של 17% מכלל ייצור החשמל, צמצום של צריכת החשמל ב-17%, לעומת הצפי של תרחיש עסקים כרגיל לשנה זו, ועוד [הפחתת פליטות גזי חממה ויישול צריכת האנרגיה במשק - הצעה להחלטה לממשלה 20 ספטמבר 2015].

אנרגיות מתחדשות ממקור סולארי בעולם

המאמץ הגלובלי למיתון שינויי האקלים כולל הגדלה של השימוש באנרגיות מתחדשות, בעיקר בתחום ייצור החשמל. ייצור אנרגיה מתחדשת ממקור סולארי, נמצא כבר לאורך שנים במקום שלישי, לאחר ייצור אנרגיה ממקורות מים ורוח [Masson et al. 2014]. שנת 2013 הצטיינה בגידול שיא ביכולות ייצור אנרגיית פוטו-וולטאית, כשהיקף הייצור גדל ב- 38.4 GW. המשמעות הייתה גידול של כ- 27% ביכולת הייצור העולמית, שעמדה על סך 138.9 GW [Masson et al. 2014]. יכולת ייצור החשמל מאנרגית-השמש בעולם, גדלה בין שנת 2000 ל- 2013 פי 35, כשהחלק הארי בגידול נתרם על-ידי הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית. מגזר זה גדל בתקופה זו פי 68 [NREL 2014]². במסגרת התכנית השאפתנית של קליפורניה להמרת כל האנרגיה הנצרכת במדינה לאנרגיה ממקורות מתחדשים בתוך שלושה עשורים, המקור

איור 3 - צמיחה ביכולת העולמית לייצור אנרגיה פוטו-וולטאית [IEA 2014 pg. 1]

Figure 1: Global cumulative growth of PV capacity



Source: Unless otherwise indicated, all tables and figures derive from IEA data and analysis.

KEY POINT: Cumulative PV capacity grew at 49%/yr on average since 2003.

הסולארי מהווה למעלה מ- 55% מהמקורות החזויים [Jacobson et al. 2014].

למערכות הסולאריות יתרונות משמעותיים מבחינת היקף השפעתן על הסביבה ולכן תרומתן לפיתוח בר-

קיימא חשובה. בהשוואה לייצור חשמל מדלקים מאובנים, שימוש במתקנים סולאריים לייצור חשמל מפחית, בתלות בשיטת הייצור ובתמהיל הדלקים המאובנים שהמתקן הסולארי מחליף, את פליטת גזי החממה בסדר גודל של 1,400-600 גרם CO_{2eq} לכל קילוואט/שעה (קוט"ש) [Turney & Fthenakis 2011]; מתקנים פוטו-וולטאים אינם פולטים גזים רעילים [תחמוצות גופרית וחלקיקים] במהלך פעולתם; מערכות סולאריות ניתנות להקמה בסמוך לצרכנים ובכך תורמות לצמצום אורך קווי ההולכה מתחנות כוח לצרכן; לעצמאות האנרגטית ברמה הלאומית והאזורית; מגוונות את מקורות אספקת האנרגיה ואת יציבות אספקתה; מייצרות מקומות עבודה חדשים; מאיצות את תהליך החשמול בארצות מתפתחות; מבזרות את ייצור החשמל ומאפשרות לצרכנים לייצר חשמל ולחסוך בחשבונות החשמל; ועשויות לתמוך במגמת שחרור שווקי האנרגיה מבקרה ממשלתית [IEA 2014].

לצד היתרונות הסביבתיים, לפריסה רחבה של מתקנים סולאריים, בעיקר קרקעיים, עלולות להיות השלכות סביבתיות שליליות. תהליך הייצור וההקמה של מתקנים בטכנולוגיה הפוטו-וולטאית כרוכה בפליטת גזי חממה ברמה גבוהה יחסית למקורות אחרים של אנרגיה מתחדשת (100-180 גרם CO_{2eq} לקוט"ש, דהיינו, פי שניים מהפליטה הדרושה לייצור הרכיבים והקמת תחנות גרעיניות וכרבע עד

² נתון זה מתייחס רק למתקנים פוטו-וולטאים המחוברים לרשת, כך שבפועל, מגזר זה גדל עוד יותר.

כמחצית מהיקף פליטת גזי חממה לייצור הרכיבים והקמת תחנות גז טבעי [IPCC 2014]. השפעות נוספות נובעות מהדרישה לשטחים גדולים, העומדת על כ- 16-20 דונם לכל MW מותקן למתקנים קרקעיים גדולים ו- 20-22 למתקנים בינוניים (30 דונם - לפי מחקר הפורום הישראלי לאנרגיה) [דולב וחוב' 2013, בקר וחוב' 2012] והצורך בהנחת תשתיות קווי הולכה, הגורמים לפגיעה בחי ובצומח ולפגיעה באתרים בעלי ערך סביבתי/תרבותי. השלכות נוספות הן זיהום אוויר, מים, קרקע ואור והשפעות סוציו-אקונומיות חיוביות ושליליות [Kim 2011 & Fthenakis]. מחקר משנת 2011, שסקר את ההשפעות הסביבתיות האפשריות של הקמת מתקנים סולאריים בקנה-מידה נרחב, מנה רשימה של שלושים ושתיים השפעות. עשרים ושתיים מההשפעות נמצאו כתורמות חיוביות לסביבה, ארבע נמצאו ניטרליות ולגבי שש השפעות נקבע כי יש צורך במחקר נוסף. ההשוואה במסגרת העבודה נערכה בין מתקנים פוטו-וולטאים קרקעיים לתחנות-כח הפועלות על דלק מחצבי. הסקירה לא כללה מתקנים פוטו-וולטאים על גגות [Turney & Fthenakis 2011].

ההשפעה החיובית החשובה ביותר של ייצור חשמל פוטו-וולטאי, היא הפחתה בזיהום אוויר הנגרם על-ידי פליטות מזהמים משרפת דלקים מחצביים. בקליפורניה, מיוחסת לזיהום האוויר תמותה מוקדמת, בשיעור של כ- 3% ממקרי המוות באוכלוסייה, כשהעלות הכלכלית לכל מקרה מוות מוערכת ב- \$10 מיליון. בנוסף מיוחסים לזיהום האוויר נזקים כלכליים נוספים הנובעים מעלות אשפוז, הפסד ימי-עבודה, ימי לימוד וכד'. בנוסף לפגיעה הבריאותית, זיהום אוויר פוגע ביצרנות החקלאית והיערנית, בפעילות נופש ופנאי, יוצר בליה מואצת של חומרים ומתקנים ועוד [Jacobson et al. 2014]. חשוב לזכור, כי זיהום האוויר נגרם לא רק מייצור חשמל בתחנות-כוח קונבנציונליות, אלא גם משרפת דלקים בתחבורה, בתהליכים תעשייתיים וכד'.

ההשפעה על הסביבה ועל שירותי המערכת האקולוגית של מתקנים פוטו-וולטאים תלויים מאוד בתכנון וברגולציה. הללו קובעים את המיקום, תנאי ההקמה, ניהול ממשק ההפעלה ותהליכי הפירוק והמיחזור בסיום תקופת פעילות המתקן. רגולציה יכולה להיות, לא רק ממשלתית או ברמת רשות מוניציפאלית, אלא גם התנדבותית. כך, למשל, כבר ב- 2005, חתמו ההתאחדות הגרמנית לתעשייה הסולארית (BSW) והחברה להגנת הטבע בגרמניה (NABU) על הסכם המגדיר קריטריונים להכללת שיקולי שמירת טבע בבחירת מיקום ותכנון ההקמה ותחזוקת פארקים סולאריים [Peschel 2010] ראו איור מטה.

איור 4 - קריטריונים של החברה להגנת הטבע בגרמניה והתעשייה הסולארית בגרמניה להקמת פארקים סולאריים סביבתיים

The NABU criteria

In 2005, the German Society for Nature Conservation (NABU) and the German Solar Industry Association (BSW) drew up criteria for the construction of environmentally sound solar parks.

The key points:

- No intervention in protected areas (preference to be given to sites previously subjected to high stress levels, e.g. intensively farmed or brownfield sites).
- Compatibility assessment based on the European Birds Directive
- Avoiding exposed sites (solar plants should not dominate the landscape)
- Sealed area of site should be small ($\leq 5\%$)
- Fencing should not present a barrier to small mammals and amphibians
- Sites to be maintained with the help of sheep grazing or mowing, no synthetic fertilizers or pesticides
- Local community to be involved in the project planning to increase acceptance

חשיבות בחירת המיקום על ההשפעה הסביבתית של שדה סולארי באה לידי ביטוי בולט בהקמה על שטחי קרקע מופרת (Brownfields)³, ששם, בסינרגיה עם ממשק ניהול קרקע-צומח מתאים בשטח המתקן, דווקא יכול לתרום להגדלת מגוון בתי-הגידול והמגוון הביולוגי בכלל [Peschel 2010]. קרקע מופרת יכולה לכלול שטחים תעשייתיים שניטשו, עם שאריות חומרים שונים בקרקע, שטחים צבאיים ועוד [Peschel 2010].

מטרה שאפתנית, שבעולם וגם בישראל עוסקים בה יותר ויותר, היא הפחתה של פליטות גזי-חממה ומזהמים נוספים בתהליכי ייצור אנרגיה עד לרמת מניעה מוחלטת [דולב וחובי 2013, 2014; Jacobson et al. 2014]. גם בארצות עם מקורות אנרגיה מתחדשים כגון רוח, מים, אנרגיה גיאותרמית וים, שבישראל הם זניחים ומצומצמים, למעלה מ-50% מהאנרגיה אמורה להגיע, על פי התכניות, ממקור שמשי [IEA 2014b, Jacobson et al. 2014].

מערכות פוטו-וולטאיות ועקרונות הפעולה שלהן

אנרגיה פוטו-וולטאית (PV, אנרגיה פוטו-חשמלית) נוצרת באמצעות תאים פוטו-וולטאיים הממירים באופן ישיר אנרגיית אור לאנרגיה חשמלית. תאים אלו מורכבים משכבות של מוליכים למחצה. הצפי הוא שתאים פוטו-וולטאיים יהיו מסוגלים לנצל עד 29% מאנרגיית השמש, אם כי, נכון למועד כתיבת הדברים, הנצילות אינה עולה על 20%. ההספק המופק מתא פוטו-וולטאי תלוי בעצמת האור הפוגע במשטח ובטמפרטורה (טמפרטורות גבוהות מורידות את הנצילות וההספק). הטכנולוגיה הפוטו-וולטאית מבוססת על לוחות (פאנלים), המורכבים מתאים פוטו-וולטאיים ומוצבים במתקן (בשם המקצועי מודולים פוטו-וולטאיים). מודול כזה הוא הרכבה של תאים פוטו-וולטאיים ליחידה

³ In urban planning, a **brownfield site** is land previously used for industrial purposes or some commercial uses. The land may be contaminated by low concentrations of hazardous waste or pollution, and has the potential to be reused once it is cleaned up [Wikipedia 2015].

אחת. תאים פוטו-וולטאיים בכל קבוצה מחוברים בטור (חיבור בטור מגדיל את המתח). חיבור של מספר קבוצות כאלו במקביל יוצר את המודול (חיבור במקביל מגדיל את הזרם). התאים במודול מצופים בחומר מגן, ממוסגרים במסגרת אלומיניום ומכוסים בזכוכית שקופה. המודולים נבנים כך שיפעלו ביעילות לאורך עשרות שנים. הם עמידים בפני גשם, רוח וברד ובדרך כלל יש אחריות על הביצועים שלהם לתקופה של עשרות שנים.

הפאנלים מוצבים על בסיסים, המחוברים לקרקע או לגג, במפנה ובשיפוע שיבטיחו קליטה מרבית של קרינת השמש לאורך שעות האור. הבסיסים יכולים להכיל מתקני עקיבה, שהם מנגנונים, אשר במעקב אחר תנועת השמש בשמים, משנים את השיפוע ואת הכיוון של הלוחות במהלך שעות האור. מנגנונים כאלו מגדילים את ניצולת הלוחות הפוטו-וולטאיים, אולם מייקרים את המתקן.

מרכיבים נוספים במערכת הם ממיר המתח [Inverter], ההופך את הזרם הישר [DC] שהמודולים הפוטו-וולטאיים מייצרים לזרם-חילופין [AC], שניתן לשימוש במערכות החשמל. הגודל הפיזי של ממיר למערכת פוטו-וולטאית בהספק מותקן של 10 MW, בשטח של כ- 250 דונם, הוא מבנה באורך 25 מ', גובה 2.4 מ' ורוחב 7 מ' [רותם 2011].

לשם המחשת המגמות הצפויות בתחום, מבחינת מזעור, הגדלת יעילות והוזלת הרכיבים, נציין כי גוגל בשיתוף עם IEEE, The Institute of Electrical and Electronics Engineers הכריזה בספטמבר 2014, על תחרות "[Little Box Challenge](#)" להקטנת ממירים [Inverters] למתקנים פוטו-וולטאיים ביתיים לממדים שהם בסדר גודל קטנים מהנוכחיים. התחרות צפויה להסתיים בינואר 2016 ונושאת פרס בסך מיליון דולר למפתח הזוכה.

מרכיבים אופציונאליים נוספים, משמשים לאגירת אנרגיה המיוצרת ביום לשימוש בשעות הלילה וזאת על-ידי סוללות נטענות. הם דורשים בנוסף בקרת טעינה או אמצעי אחר, כגון, אגירה שאובה. לא ידוע על מתקנים פוטו-וולטאיים בתחום הפרויקט שצפויים לכלול מרכיב זה. כלל מרכיבי המערכת, פרט למודולים הפוטו-וולטאיים עצמם, מכונה BOS – Balance of System. BOS כולל, למשל, את העמודים להצבת הלוחות, ממיר הזרם, גדרות, תאורה.

סיווג מתקנים לייצור חשמל מאנרגיית השמש בישראל

ברגולציה ובשיח המקצועי, מתקנים לייצור חשמל סולארי מסווגים בישראל על פי ההספק המותקן (MWp) בחלוקה הבאה [תמ"א 10/ד/10 ותמ"א 10/ד/10 בחינת יישום התוכנית]:

- 1.1. **מתקנים פוטו-וולטאיים קטנים:** בהספק מותקן של עד 50 קילוואט לצריכה עצמית ולמכירת עודפים לרשת. ההסדרה מתחלקת למתקנים ביתיים בהספק של עד 15 קילוואט ומתקנים מסחריים בהספק של בין 15 עד 50 קילוואט. המתקנים מוקמים בחצרות או על גגות בתי-מגורים, מבני ציבור, חניונים, מבני תעשייה, אחסנה וחקלאות.
- 1.2. **מתקנים פוטו-וולטאיים בינוניים:** בהספק מותקן של 51 קילוואט עד גבול יכולת ההולכה של הרשת, שהיא בערך 12 עד 14 מגוואט, ללא צורך בתחנת משנה.

1.3. מתקנים פוטו-וולטאיים גדולים : בהספק מותקן של מעל 14 מגוואט. מתקנים אלה יכולים לשלב מערכים תרמו-סולאריים עם פוטו-וולטאיים. הם מצריכים תחנת משנה המקשרת בין רשתות החשמל לסוגיהן, שיש בה שנאים מורדי מתח או מעלי מתח.

פריסת מתקני אנרגיה סולארית במרחב שקמה כיום

שטח המתקנים הפוטו-וולטאיים המאושרים עם רישיון-ייצור, במרחב שקמה, עומד כיום על 2,109 דונם. בתוספת מתקנים מאושרים ללא רישיון-ייצור השטח הכולל הוא 3,063 דונם. נתונים אלה כוללים מתקנים המשיקים לגבול מרחב שקמה, או במרחק של פחות מקילומטר ממנו. שטח המתקנים המאושרים עם רישיון-ייצור בתוך גבולות פארק שקמה הוא 543 דונם, כשמתקן אחד, בשטח של 125 דונם, פועל כבר מאוקטובר 2014.

מתקנים פוטו-וולטאיים על הקרקע: בברור חיל הוקם ופועל מתקן צמוד דופן על 125 דונם ; בחוות שקמים קיים מתקן על 8.7 דונם, שהוקם אך עדיין לא פועל; תכניות בתוקף למתקן של 500 דונם קיימות ביכני, בשותפות עם ארז ; בדורות יש תכנון למתקן צמוד דופן לאזור תעשייה בגודל 160 דונם ; בברכיה מתוכנן מתקן על שטח חקלאי פתוח, בגודל 250 דונם, שמצבו הביצועי לא ידוע. בנוסף, לרוחמה, בשותפות עם בית קמה, יש מתקנים סולאריים קרקעיים בגודל 470 דונם מחוץ למרחב שקמה.

מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות: בהספק כולל מותקן של בין 0.25 ל- 0.5 MWp, קיימים כיום בדורות, בחוות שקמים, באור הנר, בארז, יד מרדכי ובבת הדר. ברוחמה נמצאים בתהליכי תכנון וקבלת אישורים למתקנים. ככל הידוע, רוב שטחי המתקנים על גגות הם על מבני-ציבור ו/או תעשייה (כולל סככות לרפתות וכד').

4. הגדרת חלופות פריסת מתקני אנרגיה סולארית

הגדרת החלופות לפריסת מתקני אנרגיה סולארית, שנבחנו בפרויקט, נידונה במהלך פגישות רבות עם בעלי עניין ומומחים. בהמשך מובא פירוט לגבי החלופות שנבחרו והסברים לגבי האופן שבו הוגדרו החלופות, הפרמטרים השונים שנשקל לכלול בהגדרת החלופות והסיבות להכללה או ויתור על פרמטרים שונים.

חלופה ראשונה: גגות מול קרקע: מלכתחילה, מיקום המתקן, על גגות או על הקרקע, הוגדר כחלופה חשובה ביותר לבחינה בפרויקט. לכן, בהשוואה בין קרקע לגגות נבחנו וקיבלו משקל גם פרמטרים רבים הקשורים למדיניות, רגולציה והבדלים בעלויות והכנסות, בנוסף לבחינת שירותי המערכת האקולוגית. לגבי היתרונות והחסרונות של חלופות מיקום המתקנים, על גגות או על קרקע, קיימות הנחות יסוד מקובלות: יש הסכמה, שהקמת המתקנים על גגות חוסכת שטחי קרקע. הקרקע, בוודאי בישראל, שהיא המדינה הצפופה ביותר בעולם המערבי, היא משאב במחסור; התקנה על גגות מונעת פגיעות סביבתיות, הנגרמות בעת ההקמה והתחזוקה של המתקנים הקרקעיים; מאידך, יש הנחה שהתקנה על גגות יקרה יותר ממערכות קרקעיות, ושהפיזור של מקורות החשמל על פני גגות רבים מקטין את הגמישות בניהול אספקת החשמל ועשוי לפיכך לפגוע ביציבות האספקה. הנחות היסוד נבחנות בהמשך הדו"ח (הערכת שירותי המערכת האקולוגית), לצד פירוט הפרמטרים הנוספים המשפיעים על הבחירה בין החלופות.

חלופה שנייה: מתקן סולארי על הקרקע בהשוואה לשדה חקלאי: בוצעה הערכה של ההשפעה על שמ"א של התמרת שדה חקלאי בעל לשדה סולארי. במשך הפרויקט נבחנו אפשרויות שונות של סוג השטח הפתוח עליו ימוקמו המתקנים הסולאריים: טבעי, בור/מופר או חקלאי. נמצא שהחלופה הריאלית במרחב שקמה היא הקמה על שטח חקלאי, ולכן הוחלט שהבחינה תיעשה רק לגביה (ראו הסבר מטה).

חלופות פריסה שונות לפי גודל ומיקום: אנו מתייחסים בדו"ח לשני היבטים הקשורים להקמת שדה סולארי קרקעי: (1) חלופות שונות של גודל המתקנים, ו- (2) מיקומם: בצמידות דופן לבינוי קיים או בלב השטח הפתוח. בחירת החלופות הקרקעיות הושפעה הן מההיבטים הטכניים-מקצועיים, כגון, אופי ומיקום החיבור הנדרש לרשת, והן מהמסלולים לאישור שהוגדרו בתמ"א 10/ד/10. ראו הסברים מטה.

החלופות להקמת מתקנים פוטו-וולטאים לבחינה:

1. הקמת מתקנים סולאריים על גגות מבנים.
2. הקמת מתקנים סולאריים על הקרקע:
 - 2.1. הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים בגודל עד 300 דונם על גבי קרקע חקלאית בצמידות דופן לשטח בנוי.
 - 2.2. הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים גדולים עד 750 דונם על גבי קרקע חקלאית, בלב השטח הפתוח.
 - 2.3. תרחיש קיצון של הקמת מתקנים גדולים מ- 750 דונם על שטח של 10,000 עד 20,000 דונם במרחב שקמה.

3. השארת השטח כשדה חקלאי בבעל ללא מתקן פוטו-וולטאי (למטרת ההשוואה).

הסברים על החלופות:

1. סוג השטח הפתוח שעליו יוקמו המתקנים הקרקעיים:

1.1. הקמה בשטח טבעי: להתמרה של שטח טבעי לשדות סולאריים צפויה להיות השפעה משמעותית על שמ"א, עם זאת הוחלט שאין צורך לבחון חלופה זו מהסיבות הבאות: (1) השטח הטבעי באזור מצומצם מאוד ביחס לשטח החקלאי. (2) רוב השטח הטבעי מוגדר ברמת ערכיות גבוהה ולכן, מבחינה סטטוטורית, אינו מאפשר הקמת מתקנים פוטו-וולטאים. (3) השיפועים בטופוגרפיה של השטח הטבעי מקשים לרוב על הקמת מתקנים סולאריים. עם זאת, יש לקחת בחשבון שבמידה ויתממש תרחיש קיצון [ראו מטה סעיף 3], אשר יכלול שינוי סטטוטורי לטובת הקמת מתקנים סולאריים באזורים בעלי ערכיות גבוהה בליבת מרחב שקמה, יהיה הכרח לחזור ולבחון חלופה זו.

1.2. הקמה בשטח בור/מופר: ככלל, הקמה של מתקנים סולאריים על שטח מופר יכולה לתרום לשיקום השטח והיא כדאית יותר מהקמה בשטח טבעי או חקלאי. זאת במיוחד בסינרגיה עם ממשק ניהול קרקע-צומח מתאים בשטח המתקן, אשר יכול לתרום להגדלת מגוון בתי-גידול והמגוון הביולוגי בכלל [Peschel 2010]. עם זאת, הוחלט שאין צורך בפרויקט זה לבחון חלופה זו מהסיבה ששטחי בור/מופר הפוטנציאליים במרחב שקמה הם מצומצמים.

1.3. הקמה בשטח חקלאי: זוהי החלופה שבחרנו לבחון בפרויקט משום שרוב השטח הפתוח במרחב שקמה הוא חקלאי ומשום שהקמת מתקנים סולאריים על שטחים חקלאיים כבר קיימת היום בפועל ובתכנון, על-פי תמ"א 10/ד/10. חלופה זו מייצגת את עתיד הקמת מתקנים סולאריים במרחב באופן הריאלי ביותר.

2. חלופות בהתאם לגודל השטח ומיקום המתקן הפוטו-וולטאי (צמוד דופן או לב השטחים הפתוחים): להקמת מתקנים בצמידות דופן ליישובים השפעה שונה ובולטת על שמ"א מאשר להקמת מתקנים בלב השטחים הפתוחים/החקלאיים, וכך גם לגבי גדלים שונים של מתקנים.

2.1. הגדרת חלופת הגודל: לפי תמ"א 10/ד/10 בשטח ישוב חקלאי, היקף שטח להקמת מתקן פוטו-וולטאי מוגבל ל- 300 דונם⁴ בהתאם, החלופה הראשונה היא מתקן בגודל של עד 300 דונם צמוד דופן. בנוסף, ניתנו היתרים לאיחוד מתקנים פוטו-וולטאים של מספר יישובים למתקן אחד [תמ"א 10/ד/10, סעיף 11.8 ד]. ולכן מתאפשרות גם החלופות הנוספות.

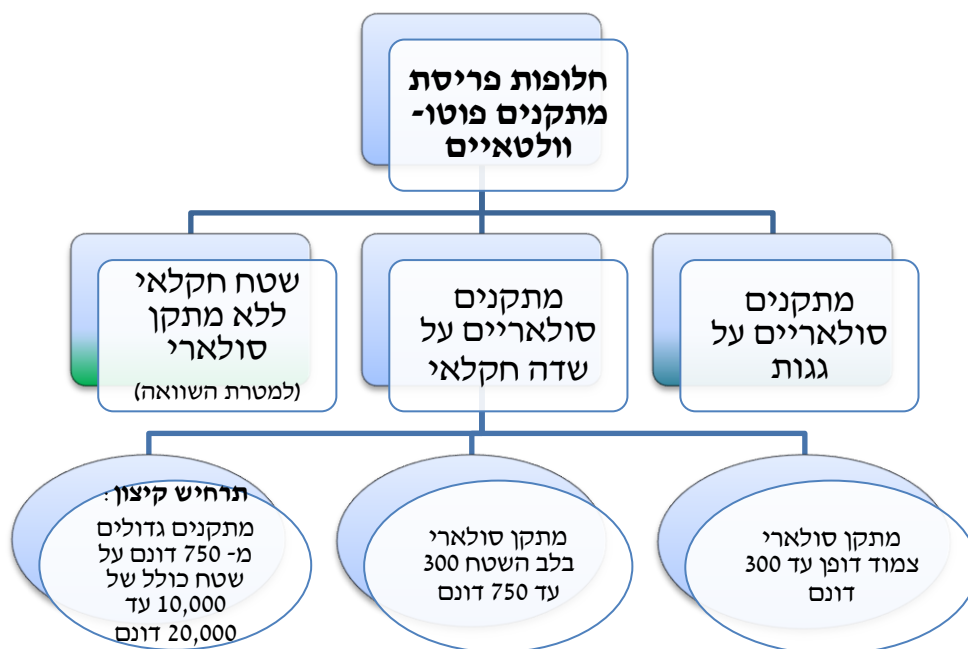
2.2. הגדרת מיקום המתקן בלב שטחים פתוחים או צמוד דופן: זיהינו במהלך הפרויקט, שההשפעות של מיקום המתקן (צמוד דופן או לא) תלויות מאוד בגודל המתקן. שטחי היישובים באזור הפארק (קיבוצים ומושבים) נעים בין גודל של 600-1000 דונם. לפיכך,

⁴ בשטח ישוב חקלאי, היקף שטח להקמת מתקן פוטו וולטאי, יהיה עד 10% מהשטחים מתוך המשבצת החקלאית של יישוב בטרם הקמת מתקן פוטו וולטאי, ועד שטח מצטבר של 300 דונם, הנמוך מבין השניים [תמ"א 10/ד/10, סעיף 11.8 ד]. יש לציין, שבפועל, על אף שהתמ"א קבעה מגבלה של 300 דונם, מנהל מקרקעי ישראל הגביל את השטח ליישוב ל- 250 דונם.

מתקן פוטו-וולטאי בהיקף המותר של עד 300 דונם, כשהוא צמוד דופן ליישוב, מגדיל את שטח הכתם הרצוף הנוצר בשליש עד חצי וצפוי שהשפעת ההגדלה על הנוף והמגוון הביולוגי לא תהיה משמעותית. לעומת זאת, מתקן צמוד דופן בגודל שווה או גדול משטח היישוב יהיה בעל השפעה משמעותית על שמ"א ולכן בחלופה שמתייחסת לגדלים אלו לא ראינו צורך להתייחס למיקום (צמוד דופן או לא).

3. **תרחיש קיצון:** תרחיש הקיצון מתייחס להקמת מתקנים סולאריים בהיקף גדול מאוד במרחב שקמה. אמנם, נכון להיום, התרחיש לא נראה מציאותי, אך חשבנו שראוי לבחון גם את השפעתו על שמ"א, כדי להדליק נורה אדומה בקרב מתכננים ומנהלי השטח למצב שבו המציאות עשויה להשתנות (ראו פרק [גורמי שינוי](#)). התרחיש מתייחס לאפשרות של החלטה של רשויות המדינה להרחיב את ייצור האנרגיה המתחדשת באופן ניכר מאד, הרבה מעבר לתוכניות הקיימות היום. תחת תרחיש כזה ולחץ לעמוד ביעד, התנאים הנוחים של מרחב שקמה להקמת מתקנים פוטו-וולטאיים, עלולים להוביל לניסיון לניצול מרבי של השטחים הפתוחים במרחב לצורך זה, שבעקבותיה יוקמו שדות סולאריים בהיקף של 10,000 עד 20,000 דונם (10-20 ק"מ מרובעים). לפרטים על תרחיש זה ראו פרק תרחיש הקיצון.

איור 5 - חלופות פריסת מתקנים פוטו-וולטאיים



5. זיהוי בעלי עניין ומקבלי החלטות

למיפוי בעלי העניין המעורבים יש חשיבות גדולה בניתוח השפעות פריסת המתקנים הפוטו-וולטאיים על שמ"א, שכן הבחירה בחלופות השונות תלויה מאוד במדיניות של מגוון מקבלי החלטות וביניהם הממשלה, רשות מקרקעי ישראל, השמאי הממשלתי, רשות החשמל, חברת החשמל, רשויות התכנון, מועצות אזוריות, יזמים ורכזי משק של כל יישוב. כמו כן, יש חשיבות להשפעות שוק המערכות הפוטו-וולטאיות. ריבוי מקבלי החלטות המעורבים ומשך הזמן הארוך של תפעול המיזמים, הנמדד בעשרות שנים, מגביל באופן משמעותי את חופש הפעולה של בעלי העניין ושל המתכננים כאחד. נציין, כי לא כל בעלי העניין שזוהו היו מעוניינים לשתף פעולה ולחשוף מידע (כמעט ולא נתקלנו בבעיה זו במהלך העבודה על שאלת החקר השנייה שנבחנה בפרויקט - "ממשקים חקלאיים").

טבלה 2 – מיפוי בעלי עניין ונקודות החלטה

בעל עניין	נקודת מבט / אינטרס	נקודות החלטה
הממשלה	התחייבות לאמנות בין לאומיות, רווח כלכלי, קיימות לטווח ארוך.	מדיניות תכנון המערכת הארצית של ייצור והולכת החשמל. הקצאת השקעות בהתאם.
רשות מקרקעי ישראל	הגדלת הכנסות לקופת האוצר.	סיווג קרקעות לפי יעודים קביעת דמי-חכירה.
משרד החקלאות	מניעת התמרת קרקעות חקלאיות פוריות (או בכלל) לשדות סולאריים.	תמיכה / התנגדות לתכנון מתקנים על קרקעות חקלאיות.
השמאי הממשלתי	עריכה של שומות לנכסי מקרקעין, אשר למדינה או מוסדותיה עניין בהם.	קביעת [שמאות] ערך הקרקע לצורך גביית דמי-חכירה. * בעת קבלת החלטה 4550, הכריז השמאי הממשלתי כי כדי לממש את חזון האנרגיות המתחדשות יש לקבוע דמי חכירה נמוכים במיוחד בדרום הארץ [120 שח/דונם/שנה], אולם בפועל, נקבעו דמי-חכירה של אלפי שקלים [Shofrony, 2014].
רשות החשמל	הסדרת הפעילות במשק החשמל לטובת הציבור, כולל: קביעת תעריפים; קביעת אמות מידה ומדדים לטיב השירות; טיפול למול צרכני חשמל, מתן רישיונות.	הסדרת המכסות לייצור חשמל פוטו-וולטאי, קביעת תעריפים הוצאת מכרזים, מתן רישיונות ייצור. פעולה להסרת חסמים [חוני קבלו, בע"פ]
חברת החשמל	שליטה במערכת הספקת החשמל המרכזית, תוך הקטנת חלקן של מערכות מבוזרות [distributed], עצמאיות ובלתי מנוטרות [מונה נטו].	מתן היתרים למתקנים פוטו-וולטאים בכלל. הכבדה על הקמת מתקנים בהסדר מונה-נטו, הן בשלב האישורים והן בהפעלה, בניגוד להחלטות הרשויות הממשלתיות [רינון, י. 2014].
רשויות התכנון	קביעת שימושי הקרקע במדינה בתכניות, בהתאם לחוק התכנון והבניה ותקנות מכוחו.	מתן היתרים למתקנים פוטו-וולטאים, בכפוף לתמ"א 10/ד/10.
מועצות אזוריות	פיתוח האזור לרווחת התושבים, קיימות.	סיוע בקידום הקמת מתקנים פוטו-וולטאים ביישובים.
מנהלת פארק שקמה	פיתוח איזור הפארק לרווחת התושבים, תוך שמירה על הנוף הפתוח והטבעי, רגישות לערכיות הנופית ותכנון על בסיס קיימות.	מעורבות בקבלת החלטות תכנוניות לגבי הקמת מתקנים פוטו-וולטאים.
רכזי משק	רווחת התושבים ופיתוח עסקי.	יזמה ופעילות להקמת מתקנים פוטו-וולטאים, הן קרקעיים והן על גגות.
התושבים	רווחה כלכלית. קשר למקום ונופיו – תרבות ומורשת, שמירה על איכות הסביבה וקיימות.	פעילויות הקשורות להקמת מתקנים פוטו-וולטאים.

6. הערכת שירותי המערכת האקולוגית

במסגרת תהליך העבודה, זוהו ותועדפו, מתוך רשימת שמ"א הכללית (ראו [נספח 1](#)), שמ"א רלוונטיים המושפעים מפריסת מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות ועל הקרקע. תעדוף שמ"א הרלוונטיים נעשה על פי מדדים וקריטריונים שנקבעו מראש. בהמשך הוערכה ההשפעה על שמ"א במעבר בין החלופות השונות ([איור 5](#)), והנתונים נערכו בכתב ובטבלאות ([טבלה 4](#) ו**טבלה 5**). הנתונים שנאספו היוו בסיס לקביעת מגמות של התחזקות או הפחתת שמ"א במעבר בין החלופות, שיטות להערכת השירות ופירוט לגבי הערכתו. תהליך ההערכה כלל סקירת ספרות, מאמרים ודו"חות, פגישות התייעצות עם בעלי עניין, מומחים וקובעי מדיניות וניתוח כלכלי.

יש לציין שהערכת שמ"א היא תהליך מורכב ולעיתים התמודדנו עם קשיים בעת ביצוע ההערכה. ההתמודדות עם הקשיים מתבצעת במגבלות הפרויקט, שהתבסס ככל הניתן על מידע ומחקרים קיימים ולא על ביצוע מחקר מדעי ארוך טווח. עם זאת, נערכו, במידת הצורך, עבודות-חקר לביור שירותים משמעותיים, כגון, סקר "היחס לסביבה במרחב שקמה" וסקר "דעות ציבור לגבי חלופות פריסה של מתקנים סולאריים במרחב שקמה".

בחלק מהתחומים נאלצנו להסתפק בהערכת מגמות ותובנות כלליות. ההערכה נועדה לספק תמונה לגבי הכדאיות הכלכלית, סביבתית וחברתית של בחירה בחלופות השונות, מנקודת המבט של היזם ומנקודת מבט של המדינה והציבור. הדו"חות להערכת שמ"א עברו תהליך של קבלת משוב בקרב צוות המחקר והמומחים להתייעצות, והוצגו בפורומים וכנסים שונים, כגון מנהלת שקמה ועוד (לרשימת הפורומים והכנסים ראו [נספח 2](#) ו**נספח 3**). ההערכות תוקנו בהתאם להערות שהתקבלו במשוב.

יעוץ מקצועי לביצוע הערכת שמ"א

לצורך ביצוע הערכת שמ"א המרכזיים בחלופות השונות נערכו התייעצויות ספציפיות עם מומחים ואנשי מקצוע לגבי שירותי המערכת השונים. זה בנוסף לפגישות הרבות שנערכו עם בעלי עניין ומומחים נוספים במהלך הפרויקט (ביניהם יזמים בתחום הפוטו-וולטאי, נציגי חברת החשמל, משרד הפנים, אקולוגים, מומחים לאנרגיה מתחדשת, ועוד רבים – ראה רשימה [תודות](#)).

טבלה 3 - יעוץ מקצועי עבור הערכת שמ"א

השירות	מומחים שאיתם התייעצנו למטרת ההערכה
שירותי אספקה – מזון (שיאבדו עקב ההמרה לשדה סולארי)	גדי רוזנטל (חברת כיוון), חקלאי ומדריך גדי"ש במרחב שקמה
ויסות קרקע ומים	מומחים מגיאט טבע ואלון ירון
ויסות הרכב אטמוספרי (כולל ע"י לכידת פחמן) - מיתון התחממות גלובלית	יוני וייץ, ד"ר ז'וזה גרינצוויג ופרופ' דן יקיר
מגוון ביולוגי, בתי גידול	דודן רותם (רט"ג) וד"ר אמיר פרלברג (אקולוג מכון דש"א)
שירותי תרבות – אסתטיקה, הנאה מנופים, תחושת מקום, מורשת	הסקר "היחס לסביבה במרחב שקמה", להערכת שירותי התרבות, נערך בהובלת הילה שגיא ורחל עברון מרט"ג, בהתייעצות עם ד"ר דניאל אורנשטיין, ד"ר אפרת אייזנברג וד"ר נעה אבני-אבראל. סקר נוסף "דעות הציבור לגבי חלופות פריסה של מתקנים סולאריים" נערך ע"י צוות הפרויקט בהתייעצות עם רני אילת (מעצב גראפי), חצב יפה וטלי וקסלר (אדריכלי נוף). הכנת ההדמיות נעשו ע"י גל כגן (מכון דש"א).
הערכה כלכלית	נעשתה על ידי גדי רוזנטל (חברת כיוון)

הערכת שמ"א מתחלקת לשתי השוואות: השוואה בין שירותי המערכת האקולוגית שמתקבלים משדה חקלאי בעל לבין שדה סולארי פוטו-וולטאי והשוואה בין הקמת מתקנים סולאריים על קרקע לעומת גגות. לחלופות הפריסה והגודל התייחסנו במקומות הרלוונטיים ובהמשך בטבלה 9.

ההשפעה על שמ"א במעבר משדה חקלאי [בעל] לשדה פוטו-וולטאי

ככלל, המתקנים הפוטו-וולטאים הקרקעיים בשטח פארק שקמה, הן אלו שהוקמו כבר והן אלו שבתכנון ממוקמים על קרקע חקלאית ומחליפים את השימוש לחקלאות לשימוש לייצור חשמל [זה כולל שינוי יעוד סטטוטורי]. רוב השטחים החקלאיים במרחב שקמה הם שדות בעל והערכנו, בהתייעצות עם נציגי משרד החקלאות מחוז דרום, שיש סיכוי גדול יותר ששדה סולארי יוקם על שדה חקלאי בבעל מאשר על שדה שכבר מרושת להשקיה. לכן הבחינה מתמקדת באותם שינויים בשירותי המערכת האקולוגית המושפעים מהמעבר משדה חקלאות בעל לשדה סולארי-קרקעי. חשוב לציין זאת כי הבדלים מהותיים בין שדה בעל לשדה שלחין בהשפעות כאלו יהיו, לדוגמא בשירותי אספקה כגון גידולים חקלאיים ומים. בשדות בעל הגידול מוגבל לעונת החורף ואבדן יכול במעבר מוגבל גם הוא ליבול בעונה זו, בנוסף אין כלל שימוש במים לעומת שדה השלחין והשדה הסולארי. שירותי וויסות מושפעים באופן שונה גם הם, כך, למשל, שירותי ויסות הרכב אטמוספרי ע"י לכידת פחמן, יושפע מעצם העובדה שבשדה שלחין, להבדיל משדה בעל, יש מסה צמחית פעילה לאורך רוב חדשי השנה, מצד שני עלולות להיות לו יותר בעיות סחף (יובהר בהסברים המשך).

הערכת שירותי המערכת האקולוגית

שירותי אספקה: גידולים חקלאיים מזון, מספוא למקנה

במעבר משדה בעל המעובד בממשק המקובל היום (מינימום עיבוד) למתקן פוטו-וולטאי, ההשפעה על שירות אספקת מזון ניתנת להערכה כמותית וכלכלית ברורה - תאבד כל אספקת המזון והמספוא, המוערכת באזור זה בכ- 300 ק"ג חיטה/לדונם/לשנה (היבול תלוי באקלים של אותה השנה) בממוצע הרווח עבור החקלאי נע בין 150-300 ₪ לדונם מהחיטה ומהקש. יש לציין שמבחינה כלכלית יש גם הכנסה עבור שטח עם מתקנים סולאריים, אך לא נתייחס לזה בסעיף זה המדבר ספציפית על שירות אספקת מזון. השינוי בשירות אספקה זה משתנה לינארית עם גודל שטח המתקן הפוטו-וולטאי.

יש לציין שהקמת מתקנים פוטו-וולטאים על גגות, אינה משפיעה על שירות אספקת מזון, אלא אם המתקנים ממוקמים על גגות של מבנים המשמשים לייצור חקלאי, כגון רפתות ולולים ואז ייתכן שעקב ההצללה שיוצרים הלוחות הפוטו-וולטאים ושיפור תנאי האקלים במבנים [איתן פרנס, בע"פ], יהיה שיפור באספקת המזון.

שירותי אספקה: מים

פרט לנביעות עונתיות בודדות, אין בתחומי מרחב שקמה כל מקור מים הנובעים באופן טבעי, לכן המערכת האקולוגית אינה מספקת מים מעבר למה שקיים במי התהום. בהתייחסותנו לשירות זה, אנו מתכוונים לשימוש שיעשה במים בכל אחת מהחלופות (ללא קשר למקור המים אם מהמערכת האקולוגית הזו או אחרת). בשדות הבעל, אין שימוש במים פרט לשדות-בעל עם השקיית עזר בהיקף של עד 80 מ"ק/דונם/שנה. מאידך, מתקנים פוטו-וולטאים צורכים מים לניקוי הפאנלים מהאבק המצטבר עליהם ופוגע ביעילות פעולתם. ניקוי הפאנלים מתבצע בתכיפות גבוהה יותר בעונת הקיץ [מנקים פעמיים בחודש בקיץ [שישה חדשים] + פעם בחודש בחורף [שישה חדשים] = 18 שטיפות]. יש הבדלי הערכות לגבי הכמויות הנדרשות לשטיפות, בין 0.5 מ"ק מים/דונם/שטיפה [מידע בע"פ מהמפעיל בברור-חייל], לבין 2 מ"ק מים לדונם לשטיפה [גיאוטבע 2011 בדו"ח ובע"פ 2014]. כלומר סה"כ לפי ההערכה המרבית השימוש במים בשדה הסולארי יגיע לעד 36 מ"ק דונם/לשנה. מכך שמבחינת השימוש במים, במעבר לשדה פוטו-וולטאי משדה בעל יהיה שימוש בכמות גדולה יותר של מים, מאידך, המעבר משדה שלחין לשדה סולארי, יביא להקטנה משמעותית במים הנצרכים. במידה ומדובר בשדה בעל עם השקיית עזר אז המעבר למתקן פוטו-וולטאי מקטין בערך בחצי את השימוש במים.

שירותי וויסות: וויסות קרקע מסחף, וויסות מחזור המים – שמירת הלחות בקרקע

הערכת שירותים אלו קשורה למשמעות הסבת שטח חקלאי לשדה סולארי מבחינת יציבות הקרקע, הניקוז, דגם הזרימה והסחיפה של מי הגשמים היורדים על שטח המתקן והשפעתו על סחף הקרקע והטופוגרפיה בסביבת המתקן. שירותים אלו מושפעים ממאפיינים מרחביים של הלוחות, מממשק ניקוי הלוחות ומממשק ניהול הצומח בשטח המיזם הפוטו-וולטאי. מבחינת ממשק ניהול הצומח אנו מניחים שהממשק מתבצע לפי ההנחיות הנופיות בהוראות התכנית⁵, לדוגמא ממשק הצומח במתקן

⁵ מתוך ההנחיות הנופיות המופיעות בהוראות התוכנית לארז ויכני: **בהקמה:** לא יהיה שינוי בטופוגרפיה ולא יתבצע חישוף פני השטח. מאידך תותר הקמת סוללות ותעלות לניהול מי נגר ומניעת שיטפונות, כך שכמות הנגר והסחף היוצאים מהשטח, לא יעלו על אלו שתורם השטח לפני הקמת המתקן. ישמור כושר החידרות הטבעי של השטח, והקרקע תוגן מפני סחף, בין היתר על ידי חיפוי השטח מתחת ללוחות הפוטו-וולטאים בגזם מרוסק. **בתפעול:** בנושא הסחף, יעילות האמצעים להקטנת כמות הנגר העילי והסחף תיבדק אחת לשנה, לאורך חמש השנים הראשונות להפעלת המתקן, על-ידי איש מקצוע. היום יבצע שיוניים בהתאם למסקנות הבדיקה. בהמשך תתבצע בדיקה אחת לשלוש שנים. **בנושא הצומח:** בקרת גובה הצומח תתבצע באמצעים פיזיים בלבד. אין שימוש בקוטלי-עשבים. אין יוזמה לזריעה או שתילה של צמחים, יש למנוע התבססות מינים פולשים לפי הנחיות הרט"ג. אין בהנחיות הנופיות אזכור לרעייה וזו אינה מתבצעת מטעמי מורכבות הביצוע.

בברור-חיל, שבו כיסוי הצומח בשטחי המתקנים הוא לפחות ברמה שמגיעים אליו בשדות החקלאיים. אבל לעומת שדות הבעל, כאן הצמחייה קיימת גם בקיץ.

הלוחות תופסים למרב 40% משטח המתקן [Turney & Fthenakis 2011]. מעשית לוחות אלו הם מדרונות עם מאה אחוז נגר, כך ש- 60% משטח השדה מקבל 100% מהמשקעים. הייתה הערכה שהיות ושדה פוטו-וולטאי מגביר את הנגר באזורים ספציפיים ומקטין אותו באזורים אחרים, עלולה להיות זרימת סחף לערוץ הניקוז המרכזי, נחל שקמה. זרימה זו עלולה להוות בעיה גדולה כפונקציה של היקף שטח השדה הפוטו-וולטאי. בפועל הנושא פתור בביצוע ההנחיות הנופיות, הן בהקמה והן בתפעול השוטף, תוך ביצוע הבדיקות התקופתיות הנדרשות בהוראות התכנית [גיאוטבע בע"מ, ראו פירוט ההנחיות בהערת שוליים 5].

כך יימנעו שינויים במערכת הניקוז, התפתחות תהליכי סחיפה מואצת ופגיעה בקרקע. זאת, ביחד עם חיפוי הצומח העשבוני המתפתח בשטח המתקן, יתרמו לשמירת איכות וכמות הקרקע.

יש לציין שבהערכה שנעשתה עבור הפרויקט (בשאלת ה"ממשקים החקלאיים") הוערך עובי סחיפה שנתי בשדות הבעל במרחב שקמה בין 0.15-0.61 מ"מ/שנה. אך מומחים אחרים ממשד החקלאות אמרו שזה יכול להגיע ל- 1-2 מ"מ בשנה ואף ל 4 מ"מ לשנה. לפי ההערכה המרבית האחרונה, קצב הסחף עלול להביא לאובדן חמור של כ- 20 ס"מ קרקע פורייה ב- 50 שנה [ראו [דו"ח וויסות קרקע ומים](#)]. לסיכום, המשמעות מבחינת המעבר לשדה פוטו-וולטאי בביצוע ההנחיות הנופיות היא צמצום הנגר העילי והקטנת סיכון הסחיפה אל מול השדות החקלאיים בממשק הנפוץ בשטח היום (במידה והשדות יעברו לממשק עיבוד משמר סיכון הסחף בהם יקטן גם כן).

מיתון סופות חול ואבק: בספרות העוסקת בבעיית נזקי סופות חול, האמצעי היעיל ביותר המוצע למיתון סופות כאלו הוא צומח כיסוי, עשבוני או אחר. מאחר, שכפי שצינו לעיל, הנחת העבודה היא שכיסוי הצומח בשטחי המתקנים יהיה לפחות ברמה שמגיעים אליה בשדות החקלאיים, המסקנה היא שאין סיבה שתהיה ירידה בשירות מערכת זה. ניתן אפילו להניח שתהיה עליה בשירות זה מכיוון שיהיה כיסוי צמחי גם בקיץ.

שירותי וויסות: הרכב אטמוספרי, מיתון התחממות גלובלית

היתרונות הסביבתיים של הקמת מתקני PV במקום ייצור חשמל באמצעות דלקים פוסיליים מתבטאים בהפחתה של 89%-98% של פליטת גזי-חממה, מזהמים קריטריונים [criteria pollutants], מתכות כבדות וחומרים רדיואקטיביים. זה מתבטא בכך שבדונם שדה פוטו-וולטאי קרקעי נמנעת פליטת גזי חממה של כ- 57 טון גזי חממה (ראה חישוב בהערת השוליים⁶). מזה יש לנכות את אותם גזי חממה שנפלטו לצורך ייצור הלוחות (ראה חישוב בהערת שוליים⁷), ובסה"כ מקבלים מניעת פליטה של כ- 48 טון גזי חממה.

⁶ לכל - 1000 קו"ט"ש מיוצרים במתקן פוטו-וולטאי, נמנעת פליטה של 3.63 ק"ג גפרית-דו-חמצנית, 2.28 ק"ג של תחמוצות חנקן וכ- 635 ק"ג של פד"ח. 1 דונם נטו של לוחות פוטו-וולטאים [= 1000 מ"ר] מייצר בשנה, לפי 205 קו"ט"ש / מ"ר [ורדיסון, 2010]. 205,000 קו"ט"ש, המונעים פליטה של מעל 130 טון פד"ח. 1 דונם של שדה פוטו-וולטאי קרקעי [= 400 מ"ר נטו לוחות פוטו-וולטאים] מייצר בשנה, לפי 205 קו"ט"ש / מ"ר [ורדיסון, 2010]. 82,000 קו"ט"ש, המונעים פליטה של מעל 52 טון פד"ח. בחישוב יותר "לטובת" שדה PV, של 60% שטח לוחות נטו, נקבל מניעת פליטה של 63 טון פד"ח [Photovoltaic Life Cycle esandtPV2008.pdf, PV FAQs. What is the Energy Payback for PV. Solar Energy Technologies Program (Fact Sheet) 2004.pdf].

⁷ כמות גזי החממה הנפלטת לצורך ייצור הלוחות נכנסת לחשבון כ- EPBT [משך החזר האנרגיה המושקעת בייצור מתקני ה-PV]. בהנחות שמרניות מאוד של EPBT=3 שנים ומשך פעילות המתקן 20 שנה, נצטרך לנכות כ- 15% מאותם 57 טון גזי חממה וכך נשאר כמות של כ- 48 טון גזי חממה שפליטתם נמנעת.

בנוסף, סך פליטות גזי-חממה בשדות החקלאיים במרחב שקמה בממשקי עיבוד שונים הוערך כנע בין 60-80 ק"ג שווה ערך פד"ח לדונם לשנה ^[ראו דוח ויסות גזי חממה]. נתון זה כולל תשומות של העיבוד החקלאי כמו מיכון ששורף דלק פוסילי וגם תשומות כגון דישון בחנקן, שמגבירות פליטת תחמוצות חנקן לאטמוספירה. במתקנים פוטו-וולטאים נמנעות פליטות אלו (אומנם בשדה מתקנים פוטו-וולטאים יש שימוש במכסחות לשמירה על גובה הצומח בשטח המתקן – אבל הכמויות הנפלטות זניחות). יש לציין שהפליטות הנמנעות מהשדות החקלאיים קטנות בשני סדרי גודל מהפליטות שביצור חשמל מדלק פוסילי שנמנעות בזכות השדה הפוטו-וולטאי.

שירותי ויסות: לכידת פחמן

מאגר הפחמן האורגני בקרקע משמש כמבלע ותורם משמעותית למניעת פליטת גזי-חממה. בעבודה על השפעת ממשקים חקלאיים על מאזן גזי-החממה במרחב שקמה, העריכו החוקרים שמאגר הפחמן בקרקע יעלה בקצב של בין 25-210 ק"ג CO₂e⁸ לדונם לשנה (בתלות בממשק הספציפי) ^[ראו דוח ויסות גזי חממה]. להערכתם, במקרה של גידול צומח רב-שנתי בממשק אי-פליחה מתחת לפאנלים וללא תוספת תשומות, שזה המצב במתקנים פוטו-וולטאים, ניתן להשתמש בערך העליון ללכידת פחמן אורגני בקרקע שלעיל, כלומר "לכידה של עד כ- 200 ק"ג CO₂ לדונם לשנה", כערך אינדיקטיבי ^[וייץ וגרינצווייג – בע"פ]. מסקנה: במעבר משדה חקלאי בעל בממשק מינימום עיבוד לשדה סולארי עם ממשק צמחי כפי שהוגדר, שירות לכידת פחמן בוודאי לא ייפגע ויש להניח שאף יעלה עקב קיום הצמחייה גם בקיץ.

תהליכים אקולוגיים תומכים: קיום מגוון ביולוגי ובתי גידול

המגוון הביולוגי ובתי הגידול מושפעים מכמה גורמים המחולקים לממשקי ניהול המתקן ורכיבי המתקן. ממשקי ניהול המתקן כוללים את ממשק המים (שטיפת פאנלים), ממשק ניהול הצומח (מאפייני קיום צמחייה תחת הפאנלים). רכיבי המתקן: הלוחות הפוטו-וולטאיים עצמם, רכיבי האבטחה (תאורה ומצלמות) וגידור. הנחת העבודה, לצורך הערכת ההשפעה על ש"מ"א, היא שהקמת המתקנים ותפעולם בכלל, ובייחוד ממשק הצומח והקרקע במתקנים הפוטו-וולטאים, מנוהלים לפי ההנחיות הנופיות במסמכי הקמת המתקן. לפי הנחיות אלו, הממשק כולל כיסוח תקופתי של הצומח לגובה דשא עם מכסחות ואיפה שאי אפשר מתבצע כיסוח ידני. אין שימוש בקוטלי-עשבים. אין יוזמה לזריעה או שתילה של צמחים ולא מתבצעת רעייה מטעמי מורכבות הביצוע.

השפעות ממשקי ניהול המתקן:

השפעת ממשק המים: המים המשמשים לניקוי הפאנלים ומתנקזים ברובם הגדול לקרקע מתחת למתקן. תוספת המים משטיפת הפאנלים יכולה להגיע, בעונת הקיץ, לשווה ערך של 6 מ"מ עד 24 מ"מ גשם. באזורים חצי-יובשניים כפארק שקמה, זו תוספת משמעותית שיכולה ליצור כתם-ירוק בתחומי המתקן הפוטו-וולטאי, שמושך בעלי חיים וצמחים של בתי גידול לחים יותר (בעיקר מינים ים-תיכוניים), על חשבון מינים של בתי גידול יובשניים (אירנו-טורניים וסהרו-ערביים), ויכול גם לאפשר פלישת מינים זרים. קיום צמחייה רב-שנתית מתחת לפאנלים, צמחייה שאינה מופרעת על ידי עיבודים, פרט לכיסוחים לעיתים, וללא זיהום על-ידי חומרי-הדברה, צפוי שתעשיר את בתי-הגידול לבע"ח ותתרום להעלאת מגוון המינים של מאכלסי הקרקע, כפי שנמצא במחקרים המתייחסים

⁸ CO₂e - מרכיבי המאזן של גזי חממה GHGbal ביחידות אקוויולנטיות ל- CO₂ (gCO₂e m⁻² yr⁻¹ או tCO₂e ha⁻¹ yr⁻¹).

למעבר לשיטות חקלאיות משמרות המפחיתות עיבודים [Palm et al. 2014], אם כי הרכב המינים צפוי שישתנה לטובת מינים ים-תיכוניים כאמור. שינוי כזה עלול להאיץ את תהליך התפשטותם של מינים כאלו לאזור הערבות והמדברי של ישראל, בהיות שדות אלו מעין 'אבני קפיצה' (stepping stones) בין בתי גידול שמקבלים העשרת מים באופן מלאכותי. יישום ניקוי על ידי רובוטים ללא שימוש במים כפי שמתקיים כיום במתקן הסולארי בקטורה, ימנע השפעות אלו [אתר של [ערבה פאור](#)].

השפעת ממשק ניהול הצומח: לפי ההוראות הנופיות ומה שנצפה במתקן בברור חיל, ניהול הצומח מתחת למתקנים מתבצע על ידי כיסוח מכאני בלבד וללא ריסוסים. פגיעות של כיסוח הצומח מתחת לפאנלים, בבעלי חיים אפשריות, אם כי לא נצפו עד כה [רותם דותן, בע"פ], וודאי שאינן גדולות יותר מאלו שמצויות בשדות החקלאיים בעת קציר התבואה. מכיוון שלא מרססים, הצומח המתפתח ויציבות הקרקע שאינה מופרעת על-ידי עיבודים, מגדילים את המורכבות ומשפרים את מצב בתי הגידול ביחס לשדה חקלאי [Peschel 2010].

השפעת רכיבי המתקן:

השפעת הלוחות הפוטו-וולטאים - זיהום אור מקוטב: הלוחות הפוטו-וולטאיים בעלי השפעה ייחודית בהיותם בולעי קרינה ובעיקר מחזירי קרינה שמתבטאת בזיהום אור מקוטב. נושא זיהום אור מקוטב מובא בפירוט, כי צפויה התרחבות מואצת והולכת של שטחי מתקני PV, וזהו מרכיב בעל השפעה משמעותית שתלויה בשטח השדה באופן לא לינארי וגם ההתייחסות אליו, חדשה יחסית. הלוחות הפוטו-וולטאיים, בהיותם משטחים כהים הבולעים ומחזירים קרינה, יוצרים זיהום אור מקוטב הנקרא בספרות PLP - polarized light pollution. אפקט זה נוצר כשקרירת השמש, או הירח, עוברים קיטוב לינארי כתוצאה מבליעה, פיזור או חזר באטמוספירה, או בהידרוספירה (גופי מים) או על ידי גופים מלאכותיים כהים, כבניינים בעלי חלונות כהים, כבישים, לוחות פוטו-וולטאים ועוד. בעלי-חיים מקבוצות טקסונומיות מגוונות, ציפורים, זוחלים, דו-חיים, דגים, חרקים ועוד, הם בעלי יכולת הבחנה בקיטוב האור ומגיבים באופנים שונים, כמו משיכה לאור מקוטב Positive J [polarotactic] על ידי יצורים שהמים משמשים להם כבית-גידול או אתר הטלה, או ניווט לפי מישור הקיטוב, כמו דבורים. כשהקיטוב נגרם על-ידי גופים מלאכותיים, שלעיתים קרובות עצמת גירוי האור המקוטב הנוצר על-ידם גדולה מעצמת הגירוי של מקורות טבעיים של אור מקוטב, בעלי-החיים מוטעים ומגיבים בשינויי התנהגות שפוגעים בכשירותם, כמו הטלה על משטחים קשיחים במקום במים. זה גם עלול לגרום לפגיעה בשירות האבקה של הדבורים בשל הפרעה ביכולת הניווט של הדבורים [Horváth et al. 2009, Bruce-White & Shardlow 2011]. תהליך הרחבת שטחי המתקנים הפוטו-וולטאים בעולם שהואף מאוד בשני העשורים האחרונים, צפוי עוד להתעצם ולהוות חלק משמעותי ממקורות זיהום אור מקוטב [Horváth et al. 2014].

זיהום-אור ממקור תאורה מלאכותית בלילה: ההנחיות הנופיות-סביבתיות בשטח המתקן מגדירות כי לא תופעל תאורה קבועה במתקנים הפוטו-וולטאים, אלא יוקם מערך אבטחה מבוסס מצלמות ועמודי-תאורה שמופעלים רק במצב חירום [לדוגמא: מסמכים נופים סביבתיים שהוגשו באזור שקמה של גיאוטבע 2011]. לכן זיהום-אור ממקור תאורה מלאכותית בלילה (Ecological Light Pollution), אינו צפוי להשפיע באופן משמעותי על מגוון המינים.

גידור: הוא מרכיב קבוע של מתקנים פוטו-וולטאיים שחשוב גם מבחינה ביטחונית וגם בטיחותית, ונועד למנוע כניסה של בני אדם ובעלי חיים גדולים. הגבלת התנועה של בע"ח על ידי הגידור משפיעה באופן מובהק על הקישוריות האקולוגית. הגידור יוצר תופעות של קיטוע וצמצום בתי הגידול על ידי הפרדה פיזית בין אוכלוסיות של בעלי חיים, צמצום יכולת התנועה שלהם והשפעה שלילית על יכולתם להתרבות [Fthenakis & Kim 2009, רותם 2011]. השפעת הגידור מושפעת משטח המתקן, ממיקומו - צמוד דופן או בלב שטח פתוח, וכן מאופי הגידור. מידת הפגיעה בקישוריות היא פונקציה של היקף המתקנים ומיקומם, גם בהקשר של מסדרונות אקולוגיים באזור.

לסיכום ההשפעה על קיום מגוון ביולוגי ובתי גידול: נמצא שיש איזון נוכח מגמות סותרות של תהליכים שונים. ממשק הצומח תחת הפאנלים ויציבות הקרקע שאינה מופרעת על-ידי עיבודים, מגדילים את המורכבות, משפרים את מצב בתי הגידול ומקטינים את הפגיעה במגוון המינים. בהקשר זה, גם פגיעה מתאורה מלאכותית בלילה צפויה להיות מצומצמת. לעומת זאת, צפויה פגיעה במגוון המינים מזיהום אור מקוטב [PLP] הנוצר על-ידי הלוחות הפוטו-וולטאים ופגיעה נוספת אפשרית כתוצאה מגידור המתקן המשפיעה על צמצום הקישוריות האקולוגית ושינוי של אופי בית הגידול בגלל התוספת במים.

שירותי תרבות

התנסות פאסיבית (צפייה והתבוננות) של בני אדם עם מערכות אקולוגיות - הנאה אסתטית מהנוף ותחושת מקום: ההשפעה האסתטית של השדות הפוטו-וולטאים הקרקעיים עבור התושבים נבדקה בשתי דרכים "סקר היחס לסביבה במרחב שקמה" ו"סקר דעות ציבור לגבי חלופות פריסה של מתקנים סולאריים במרחב שקמה". להלן התוצאות:

סקר "היחס לסביבה במרחב שקמה" בחן את דעותיהם של התושבים כלפי הפאנלים הסולאריים והשפעתם על הנוף. זאת בנוסף לשאלות כלליות על יחסם לסביבה ולשדות החקלאיים. הסקר כלל 246 משיבים מקיבוצים ומושבים במרחב שקמה ומערים סביב המרחב. הסקר הועבר בעזרת פעילות חינוכית שמקיימת רט"ג במספר בתי ספר במרחב שקמה ובאמצעות הפצה באינטרנט. נמצא ש- 56% מהמשיבים מסכימים או מסכימים מאוד שהצבת פאנלים בלב השטחים החקלאיים תפריע להם בנוף. 69% מעדיפים שהמתקנים הסולאריים יוקמו על גגות ולא על השטחים החקלאיים, גם אם הם ירוויחו פחות מכך, ומעדיפים שחוות סולאריות יוקמו בצמידות ליישובים ולא בלב השטחים הפתוחים. 63% מתנגדים להקמת מתקנים סולאריים בשטחים טבעיים. לעומת זאת, ל- 24% מהמשיבים חשוב לפתח מתקנים סולאריים, גם על חשבון שטחים חקלאיים. 19% מציינים שהפאנלים הסולאריים אינם מפריעים להם כלל בנוף, והם אפילו אוהבים את המראה הנופי שלהם (יותר גברים מנשים). 65% מהנסקרים מסכימים או מסכימים מאוד שהצבת הפאנלים חשובה כי תאפשר רווח כספי. 85% ציינו כי היא חשובה משום שהיא מספקת אנרגיה נקייה ומתחדשת (העירוניים פחות מסכימים עם האמרה מהקיבוצניקים). כשליש מהתושבים מסכימים או מסכימים מאוד שעדיף שלא יתקינו כלל מתקנים סולאריים בשקמה, ו- 18% מהם אדישים. מכלל הנסקרים, הקיבוצניקים מסכימים יותר מאשר מושבניקים ועירוניים לגבי האמרה שעדיף שלא יתקינו כלל מתקנים סולאריים בשקמה (לפירוט הממצאים של הסקר ראה קישור: ["היחס לסביבה במרחב שקמה"](#)). לסיכום, נמצא שרוב התושבים מעריכים את חשיבות החשמל הסולארי כאנרגיה נקייה ובעלת ערך כלכלי, אך מעדיפים שמתקנים סולאריים יוקמו על גגות ולא בשטחים הפתוחים

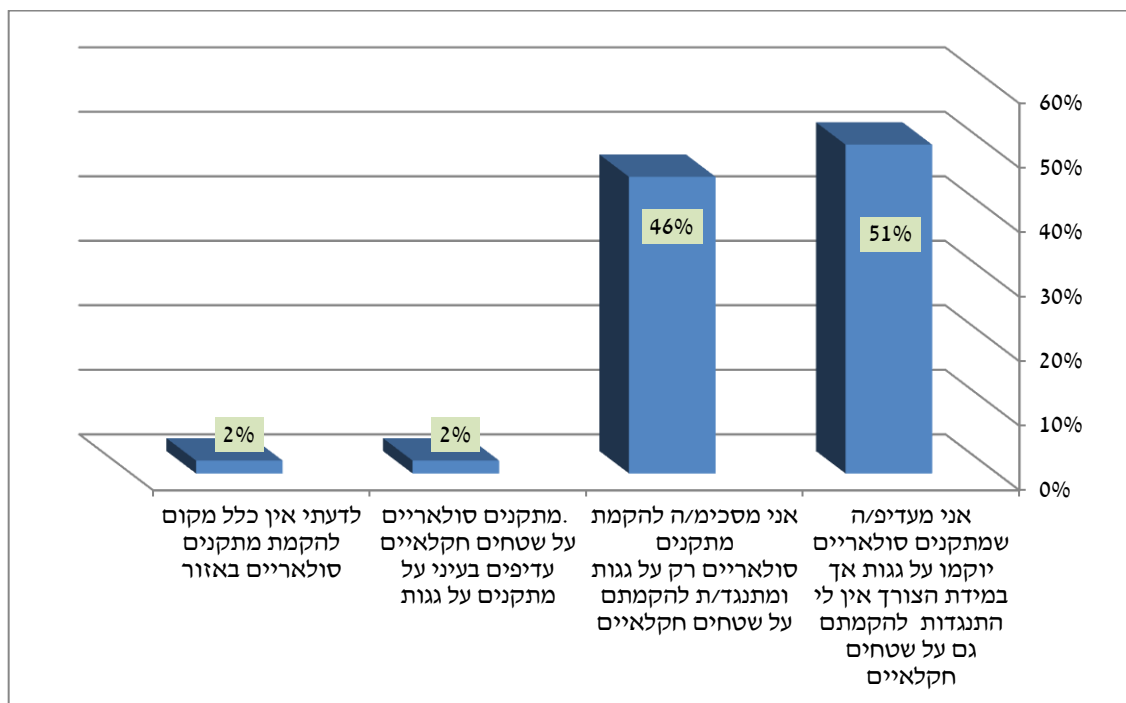
והחקלאיים שבהם הם יפריעו להם בנוף, ומתנגדים להקמתם בשטחים טבעיים, ואם כבר הם מוקמים בשטחים הפתוחים, מעדיפים התושבים שהמתקנים יהיו בצמידות דופן ליישוב. בנוסף, נמצא שהתושבים אוהבים את מראם הנופי של השדות החקלאיים, חושבים שהחקלאות תורמת לזיקתם לאזור, ושהיא מרכיב מרכזי בזהותם. כלומר, המעבר לשדה סולארי מחלישה את שירות הנאה מנופים יפים ותחושת המקום והזהות של התושבים (בתלות בגודל המתקן).

סקר "דעות הציבור לגבי חלופות פריסה שונות של מתקנים סולאריים במרחב שקמה": הסקר הזה, לעומת סקר "היחס לסביבה במרחב שקמה", היה סקר קצר אשר התמקד באופן ספציפי בדעות הציבור לגבי הצבת מתקנים סולאריים במרחב שקמה ובחן את העדפותיהם לגבי החלופות השונות שהוגדרו - הקמתם על גגות לעומת קרקע, וצמוד דופן לעומת לב השטחים. בנוסף הוא בחן את דעותיהם לגבי תרחיש הקיצון אשר הוצג בשני תרחישי פריסה שונים באמצעות הדמיות של מתקנים פוטו-וולטאיים במרחב (חלק זה מפורט בפרק תרחיש הקיצון). הסקר הופץ באינטרנט בעזרת ראשי המועצות האזוריות במרחב שקמה ופורומים נוספים באזור.

על הסקר ענו 70 תושבים ממרחב שקמה ומסביב, מתוכם 70% מקיבוצים, 27% ממושבים ו-3% מעיר. ממוצע הגילאים של המשיבים הוא 48 (הכי צעיר בן 22 והכי מבוגר בן 80). מבחינת עיסוק: 21% חקלאים או עובדים במקצוע הקשור לחקלאות, 13% עוסקים בחינוך, 2% בתיירות והשאר במקצוע אחר (לא ידוע).

שאלה הראשונה – גגות מול קרקע (איור 6 מטה) המשיבים נדרשו לבחור את דעתם לגבי הצבת מתקנים על גגות או על שטח חקלאי.

איור 6 – העדפות הציבור לגבי הצבת מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות או על שטחים חקלאיים



הממצאים הראו שהרוב המוחלט מעדיף הקמת מתקנים על גגות מאשר על הקרקע (רק מישהו אחד סימן שהוא מעדיף מתקנים קרקעיים מאשר גגות), ו-46%, לא רק מעדיפים אלא אף מתנגדים להצבת מתקנים על שטחים חקלאיים. מישהו אחד אף סימן שלדעתו אין בכלל מקום למתקנים

סולאריים במרחב. בסעיף לאחר מכן הם התבקשו להוסיף הסברים לבחירתם: רוב ההסברים התייחסו לפגיעה בנוף, אך היו גם כמה שהתייחסו לפגיעה באיזון האקולוגי, פגיעה בחקלאות ואף לפן החברתי. מטה דוגמאות:

הפן הנופי: "למה להרוס את הנוף, כאשר ישנם גגות זמינים של סככות ובתים? הייתי דורשת לחייב כל בונה סככה להציב מתקן פוטו-וולטאי".

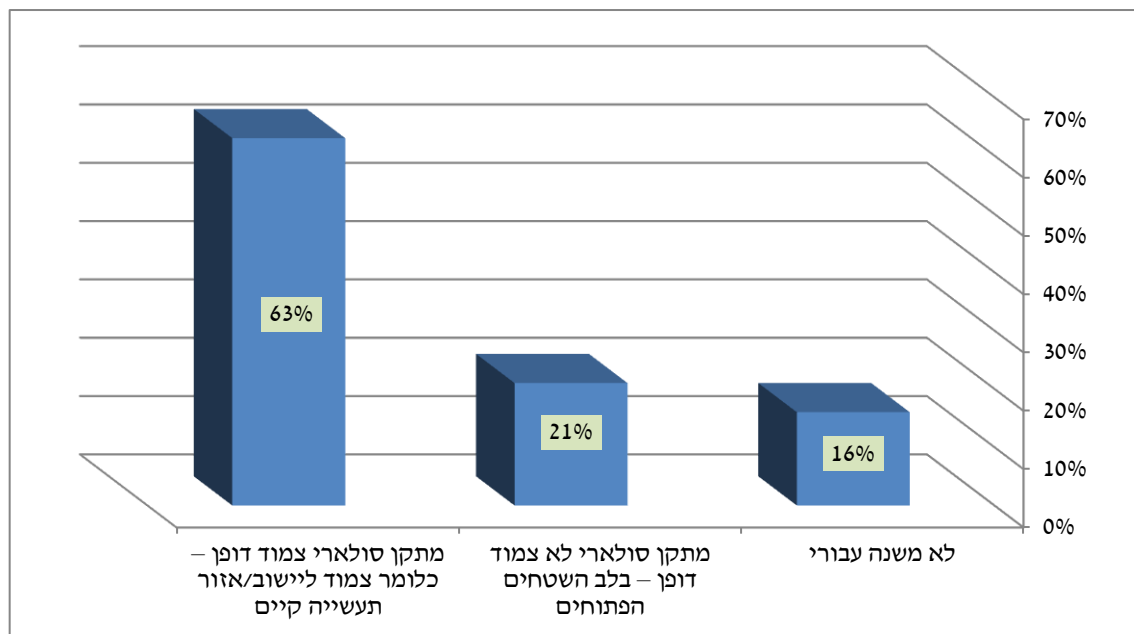
"מתקן על שטח חקלאי משנה את הנוף הסביבתי, לא רק באזור המתקן אלא גם ברדיוס של מאות מטרים ואולי גם קילומטרים ממנו. נותן אווירה אורבאנית בניגוד לחוויה של שטח פתוח שמתקבלת משטח חקלאי".

הפן החברתי: "גגות לא פוגעים בטבע והם בבעלות של יחידים מהאזור ולא של קבוצות וארגונים עם אינטרסים צרים. אם המטרה של המתקנים הקרקעיים היא המשך התעשרות העשירים ושירות אינטרסים צרים של אוכלוסיה שאינה תושבי האזור - יש לי התנגדות לכך".

הפן החקלאי: חקלאי ציין: "אפשר על שטחים חקלאיים רק אם זה בשטחים לא כדאיים, או לא כלכליים מבחינה חקלאית".

שאלה שנייה - צמוד דופן או לב השטחים: הנסקרים נשאלו: במידה ומחליטים על הקמת מתקנים בשטחים חקלאיים סמנו מה הייתם מעדיפים מבחינת מיקום?

איור 7 – העדפות הציבור לגבי הצבת מתקנים פוטו-וולטאיים צמודי דופן או בלב השטחים



ניתן לראות באיור 7 שהרוב - 63% מעדיפים מתקן סולארי צמוד דופן, 21% מעדיפים בלב השטחים ו- 16% אדישים. בהמשך השאלה הנסקרים התבקשו לתת הסברים.

אלו שהעדיפו צמוד דופן, הסבירו את עמדתם לרוב בסגנון הטיעונים המופיעים בציטוט מטה:

"אני מאמין שזו הדרך לשמור על הנוף, ועל שלמות ורצף השטחים הפתוחים וכך לא תידרש סלילת כבישים נוספת."

לעומת זאת הסבר של מישוהו שהיה בעד הצבה בלב השטחים אמר :

"אולי כשהמתקן בלב השטח, פחות אראה אותו בנוף מאשר צמוד ליישוב שלי."

בשאלה השלישית בה נשאלו לגבי תרחישי קיצון דמיוניים של מתקנים במרחב שקמה בגודל 5,000-10,000 דונם, רוב התגובות היו של זעזוע עמוק, וחשש מעצם האפשרות שתרחיש שכזה יתקיים במציאות. מטה מספר דוגמאות (תיאור נוסף בפרק חלופת תרחיש הקיצון) :

"זה נורא ואיום!!!"

"שתי החלופות מזעזעות. הופך את המרחב לתעשייתי, מכוער ומעלים את הטבע"

חקלאי אמר : "ישנם מבנים ציבוריים וחקלאיים בשטח של מאות אלפי מ"ר במרחב שקמה שעדיין לא מנוצלים לכן צריך למצות את הפוטנציאל הנ"ל בלבד."

בניתוח הממצאים לא נמצא קשר מובהק בין סוג המקצוע, היישוב או הגיל לבין התשובות.

לסיכום הערכת שירותי התרבות, על פי הסקרים שכללו יחד כ- 320 תושבים ממרחב שקמה וסביב לה, ניתן לראות שהתושבים תופסים את הקמת המתקנים הסולאריים כפגיעה בנוף ומעדיפים מתקנים על גגות, ואם על הקרקע אז הרוב מעדיפים צמוד דופן ולא בלב השטח.

להלן טבלה המסכמת את כלל הערכות שמ"א שתוארו בפרק זה לגבי המעבר משדה חקלאי בעל לשדה סולארי. החצים מציגים שינוי במגמות באספקת כל שמ"א ביחס למצב הייחוס (שדה חקלאי בעל): חץ הפונה למעלה מצביע על התחזקות השירות, כשגודל החץ מצביע על עוצמת ההתחזקות, וחץ הפונה מטה מצביע על פגיעה באספקת השירות. החץ המאונך הפונה לשני הכיוונים מצביע על איזון נוכח השפעות סותרות על השירות – כלומר, יש בו זמנית השפעות שמחלישות את השירות וכאלו שמחזקות אותו.

טבלה 4 - השפעת המעבר משדה חקלאי - בעל לשדה פוטו-וולטאי על שמ"א

השירות	התועלת	מגמה*	מידת וודאות	פירוט	מקור הידע: מומחים/ מקורות
שירותי אספקה					
גידולים חקלאיים	מזון, מספוא למקנה	↓	גבוהה	במקרה של מעבר משדה בעל למתקן פוטו-וולטאי, ההשפעה על שירות אספקת מזון ניתנת להערכה כמותית וכלכלית ברורה - תאבד כל אספקת המזון והמספוא. הפסד של בין 150 ל-300 ש"ח לדונם לשנה.	מדריך גדי"ש וחקלאי בשקמה וגדי רוזנטל, חב' כיוון
שירותי ויסות					
הרכב אטמוספרי (כולל אצירת פחמן)	מיתון התחממות גלובלית	↑	גבוהה	הפחתת פליטת גזי חממה במעבר משדה בעל למתקן פוטו-וולטאי באה ממניעת פליטת גזי חממה על ידי הפסקת העיבודים החקלאיים, בהיקף של פחות ממאה ק"ג/ פד"ח/ דונם/ שנה ובנוסף מניעת פליטת גזי-חממה בייצור חשמל מדלק פוסילי, בהיקף של כ-48 טון גזי חממה (לאחר הפחתה של מה שנפלט לצורך ייצור הלוחות והשימוש במכשחות בשדה הסולארי).	US Department of Energy 2004 Sunearthtools.co m המשרד להג"ס 2014

השירות	התועלת	מגמה*	מידת וודאות	פירוט	מקור הידע: מומחים/ מקורות
	לכידת פחמן	↑	בינונית	במתקנים פוטו-וולטאים, לכידת הפחמן בקרקע, כ-SOC (Soil Organic Carbon), צפויה לעלות עקב הצמחייה הרציפה ללא הפרעות עיבוד שתהיה תחת הפאנלים.	ד"ר ז'וזה גרינצוויג ויוני וייץ, 2014 דוח מאזן גזי חממה .
מינים זרים פולשים	בקרה ומיתון נזקי מינים זרים פולשים	↓	נמוכה	תוספת מים משטיפת פאנלים במיוחד בעונת הקיץ, באזורים חצי-יובשניים כמו מרחב שקמה, זו תוספת משמעותית שיכולה ליצור כתם-ירוק בתחומי המתקן שמשנה את אופי בית הגידול, מושך בעלי חיים וצמחים ים-תיכוניים על חשבון מינים אירנו-טורניים וסהרו-ערביים, יכול לשמש כ-'אבן קפיצה' להתפשטותם דרומה, ובכללם גם פלישת מינים זרים.	רותם 2011 וד"ר אמיר פרלברג
מחזור המים	שמירת לחות הקרקע, מילוי אקוויפריס	↑	גבוהה	ביצוע ההנחיות הנופיות בבנייה ובתפעול השוטף, תוך ביצוע הבדיקות הנדרשות ימנעו שינוי מערכת הניקוז והתפתחות תהליכי סחיפה מואצת ופגיעה בקרקע. ביחד עם חיפוי הצומח העשבוני המתפתח בשטח המתקן יתרמו לשימור לחות הקרקע ולמילוי האקוויפר.	מומחים מגיא-טבע אלון ירון אדלר וחוב' 2011
זיהומים ופסולת במים, אויר וקרקע	שמירה על איכות האוויר	↑	גבוהה	הקמת מתקנים פוטו-וולטאים במקום ייצור חשמל באמצעות דלקים פוסיליים מתבטאת בהפחתה של 98%-89% של פליטת גזי-חממה, מזהמים קריטריונים [criteria pollutants], מתכות כבדות וחומרים רדיואקטיביים. בנוסף הימנעות מזיהום אוויר מריסוסים ומהפעלת מכונות חקלאיות.	Fthenakis et al. 2011
	שמירה על איכות המים והקרקע	↑	גבוהה	יש שיפור עקב הימנעות משימוש בכימיקלים בריסוסים ובדישון במערכת החקלאית.	ד"ר ז'וזה גרינצוויג ויוני וייץ
סחיפת קרקע	שמירת איכות וכמות קרקע ומיתון פגיעת סופות חול	↑	גבוהה	בביצוע ההנחיות הנופיות בבנייה ובתפעול השוטף, יש ודאות גבוהה שיימנעו שינויים במערכת הניקוז והתפתחות תהליכי סחיפה מואצת ופגיעה בקרקע. זאת, יחד עם חיפוי הצומח העשבוני המתפתח בשטח המתקן – יתרמו לשמירת איכות וכמות הקרקע בשטח המתקן. לגבי מיתון פגיעת סופות חול – שירות זה לא ייפגע במעבר לשדה פוטו-וולטאי ואף ישתפר במקצת עקב הכיסוי הצמחי.	גיאוטבע, אדלר וחוב' 2011 Palm et al. 2014
שירותי תרבות					
התנסות פאסיבית (צפייה)	הנאה אסתטית מהנוף	↓	גבוהה	נמצא שרוב התושבים מעריכים את חשיבות החשמל הסולארי כאנרגיה נקייה ובעלת ערך כלכלי, אך מעדיפים שמתקנים סולאריים יוקמו	תוצאות הסקרים : "היחס לסביבה במרחב שקמה"

השירות	התועלת	מגמה*	מידת וודאות	פירוט	מקור הידע: מומחים/ מקורות
והתבוננות) של בני אדם מערכות אקולוגיות	מורשת, תחושת מקום	↓	גבוהה	על גגות ולא בשטחים הפתוחים והחקלאיים שבהם הם יפריעו לנוף, ומתנגדים להקמתם בשטחים טבעיים, ואם כבר הם מוקמים בשטחים הפתוחים, מעדיפים רוב התושבים שהמתקנים יהיו בצמידות דופן ליישוב. בנוסף, נמצא שרוב הנסקרים מזועזעים מהמחשבה על תרחיש קיצון של מתקן בגודל בין 5,000-10,000 דונם ומתנגדים אליו. בנוסף, נמצא שהתושבים אוהבים את מראם הנופי של השדות החקלאיים, חושבים שהחקלאות תורמת לזיקתם לאזור, ושהיא מרכיב מרכזי בזהותם. כלומר, המעבר לשדה סולארי מחלישה את שירות הנאה מנופים יפים ותחושת המקום והזהות של התושבים (בתלות בגודל המתקן).	וסקר דעות הציבור לגבי חלופות פריסה של מתקנים סולאריים, Del Carmen Torres-Sibille et al. 2009
תהליכים אקולוגיים תומכים					
מגוון ביולוגי ובתי-גידול		↔	בינונית	נמצא שיש איזון נוכח מגמות סותרות של תהליכים שונים. ממשק הצומח תחת הפאנלים ויציבות הקרקע שאינה מופרעת על-ידי עיבודים, מגדילים את המורכבות, משפרים את מצב בתי הגידול ומקטינים את הפגיעה במגוון המינים. בהקשר זה, גם פגיעה מתאורה מלאכותית בלילה צפויה להיות מצומצמת. לעומת זאת, צפויה פגיעה במגוון המינים מזיהום אור מקוטב [PLP] הנוצר על-ידי הלוחות הפוטו-וולטאים ופגיעה נוספת אפשרית כתוצאה מגידור המתקן המשפיעה על צמצום הקישוריות האקולוגית ושינוי של אופי בית הגידול בגלל התוספת במים.	Peschel et al. 2010 דותן רותם, ד"ר אמיר פרלברג
יחסי גומלין אקולוגיים	שטף טבעי של חומרי הזנה בין הרמות הטרופיות במארג המזון	↔	בינונית	בדומה לסעיף הקודם גם כאן נמצא שיש איזון נוכח מגמות סותרות של תהליכים שונים. מצד אחד ממשק הצומח תחת הפאנלים ויציבות הקרקע שאינה מופרעת על-ידי עיבודים, מגדילים את המורכבות, משפרים את מצב בתי הגידול ומקטינים את הפגיעה במגוון המינים ואז יחסי הגומלין האקולוגיים סביר שישופרו. אך כתוצאה מהגידור, תוספת של מים וזיהום אור מקוטב תהיה פגיעה.	דותן רותם, ד"ר אמיר פרלברג
יצרנות ראשונית	עלייה בפוטוסינתזה	↑	נמוכה	קיום רציף של צומח בשטח המתקן לאורך כל השנה יכול לתרום לעליה בכמות הפחמן הדו-חמצני המקובע מהאטמוספירה לחומר הצמחי, ועליה בכמות החמצן המשוחרר לאטמוספירה – בתהליך הפוטוסינתזה. בכדי למדוד זאת בעתיד באופן מדויק: ניתן להשתמש במדידת כמות הכלורופיל בחישה מרחוק (NDVI, IR).	ד"ר אמיר פרלברג

לסיים פרק זה נציין הערה חשובה שיש לקחת בחשבון בהערכת שמ"א של המתקנים הסולאריים: קיים סיכון שעל אף שכתוב בחוזה ובתכניות המתקן הסולארי שבתום 20 שנה השטח צריך לחזור לקדמותו, גורמים שונים ממשד החקלאות שעמם התייעצנו בנושא, חוששים שהסיכוי שהשטח יוחזר להיות שטח חקלאי קטנים מאוד, ושיווצרו לחצים להמיר את ייעוד השטח לצרכים אחרים – כנראה תעשייתיים. במקרה שכזה, הפגיעה העתידית בכלל שמ"א תהיה ניכרת. טכנית מדברים על כך שהמתקנים יכולים לפעול באופן יעיל ל- 30 שנה, והשאלה היא מה יקרה עם השטח אחרי פינוים.

השוואה בין מתקנים פוטו-וולטאים על גגות למתקנים קרקעיים והשפעתם על שמ"א

הגדרות: מתקנים פוטו-וולטאים על גגות הם מתקנים לייצור אנרגיה חשמלית מאור השמש שבהם הפאנלים הפוטו-וולטאים מותקנים על גגות באזורי מגורים, מבנים חקלאיים, תעשייה ומסחר. בספרות מתייחסים אליהם כ- Rooftop photovoltaic power stations/systems. זאת, לעומת מתקנים קרקעיים, בהם הלוחות הפוטו-וולטאים מותקנים על הקרקע. בספרות מתייחסים אליהם כ- Utility Scale - מתקנים מעל הספק 5MWp. מטה אנו מפרטים את המאפיינים ההשוואתיים של שני סוגי המתקנים, הכוללים גם את המאפיינים הקשורים בשירותי המערכת האקולוגית בנוסף למאפיינים רבים נוספים.

מאפיינים השוואתיים של שני סוגי המתקנים

כושר ייצור: כושר ייצור האנרגיה של מתקנים פוטו-וולטאים על גגות נמדד בסדרי גודל של קילוואטים עד עשרות בודדות של קילוואטים. שדות פוטו-וולטאיים [מתקנים פוטו-וולטאים קרקעיים] הם בעלי כושר ייצור בסדרי-גודל של מגוואטים עד מאות מגוואטים.

מיקום שכוח: מתקנים פוטו-וולטאים על גגות מותקנים על גגות מבני מגורים, בחצרות בתים פרטיים או מבנים חקלאיים, תעשייתיים ומסחריים, כולל שטחי חניה. מוקמים לרוב בשטחים עירוניים ופריפריים ומתחברים אל רשת החשמל המקומית במבנה שעליו הוקמו. המתקנים הפוטו-וולטאים הקרקעיים מוקמים בשטחים פתוחים, חקלאיים, טבעיים או טבעיים למחצה, אשר לרוב בעלי שיפועים מתונים. הם מעבירים את כמויות החשמל המיוצרות ישירות לרשת האזורית בנקודה ספציפית [IEA 2014].

עלויות הקמה ותפעול: היה מקובל לחשוב שמערכות על גבי גגות יקרות יותר ממערכות קרקעיות, כך שעלות ההקמה גבוהה בכ- 7% ביחס למתקנים על הקרקע [Asano et al. 1997]. לכן במסמך "אפס פליטות פחמן בישראל" הפורום הישראלי לאנרגיה, השית, לצורך הדיון, עלות של 2,000 ש"ח על כל דונם מתקן פוטו-וולטאי קרקעי [דולב וחובי 2013]. מידע עדכני מציג תמונה הפוכה. ההקמה על גגות, לפחות בישראל, זולה יותר [בחינת יישום תמ"א 10/ד/10 בחלוף 4 שנים מאישורה, איתן פרנס בע"פ]. ראו פירוט נוסף בהמשך בפרק ההערכה הכלכלית. גם בעולם, למרות ויכוח נמשך [Tsuchida et al. 2015], יש הסכמה כי עלות ייצור חשמל פוטו-וולטאי הגיעה לשוויון רשת [grid parity].

השפעות על רשת ההולכה:

מתקנים פוטו-וולטאים על גגות, הן במערכות ביתיות והן במסחריות, אינם מנוטרים ואינם "נספרים" ברשת החשמל הכללית [רן דרסלר וחוני קבלו בע"פ]. בנוסף, בעת תקלה ברשת, מערכות המונה-נטו [net-metering, pay back], המספקות עודפי-חשמל לרשת דרך ממירים נפרדים [inverters], מנותקות אוטומטית. השפעת העלייה הצפויה בחלקם של המתקנים הפוטו-וולטאים על גגות, שמספקים חשמל הנצרך ישירות, או סמוך מאוד למקום ייצורו, תביא לירידת כמות האנרגיה החשמלית ה"נסחרת" המועברת ברשת, מה שיעלה את השאלה כיצד לכסות את ההוצאות הקבועות של רשת ההולכה [IEA 2014b]. מפעילי רשת ההולכה, הרגולטורים וקובעי המדיניות יצטרכו להתחשב

בהשפעה זו בעת עיצוב עתידי של רשת-ההולכה תוך הקצאה הוגנת של מחירים, בלא לפגוע במגמת הביזור [IEA 2014b, ועדת קנדל 2013]. המגמה הרווחת בעולם כיום היא פיתוח התאמת תשתיות ההולכה הקיימות, שהן כיום חד-כיווניות, תוך התאמתן לזרימה דו-כיוונית ומשתנה באופן בטוח ואמין, כך שיאפשרו יישום הייצור המבוזר, בעיקר על גגות ומתקנים פוטו-וולטאים שלובי-מבנה. מרכיב מרכזי בפיתוחים אלו הוא "הרשת החכמה" [smart grid] שבשילוב יכולות חישה, ניטור ובקרה מתקדמים תספק מענה לצרכים החדשניים⁹ [EI board meeting 2012, Peter Kind – EEI 2013, Owens 2012].

למתקנים הפוטו-וולטאים הקרקעיים, לעומת זאת, נדרש חיבור נפרד לרשת ההולכה, האזורית או הארצית. לרוב יש צורך בסלילת קווי-הולכה, על מרכיביהם השונים מן המתקן הקרקעי עד לנקודת חיבור הקרובה ברשת ההולכה. בישראל, עד כה, עלויות אלו לא נכללו בתחשיבי העלות של הקמת המתקנים הפוטו-וולטאים הקרקעיים הבינוניים והגדולים, אלא בסעיפים נפרדים [רן דרסלר וחוני קבלן]. להולכת החשמל מאתר הייצור לאתר הצריכה יש גם עלויות של פחת, שעשוי להגיע עד 12%-15% מההספק המיוצר. תוצאת השפעות אלו הביאה להמלצה הגורפת של ועדת קנדל כי "יש לתמרץ ייצור מוגבר של חשמל סמוך למקורות הצריכה" [ועדת קנדל 2013].

יציבות המערכת: המתקנים הפוטו-וולטאים הקרקעיים מספקים את כל תפוקתם לרשת בנקודות שהן במקרים רבים מרוחקות מאזורי השימוש באנרגיה. כך יכולה להיווצר תחרות עם מקורות פוטו-וולטאים נקודתיים לאנרגיה חשמלית באזורי-השימוש, מה שבמבנה רשת ההולכה הקיים, יקשה, עם גידול חלקם של מקורות פוטו-וולטאים, על ניהול הרשת. החשמל המיוצר במתקנים פוטו-וולטאים על גגות, לעומת זאת, נצרך במקום הייצור, או בסמוך אליו, אם כי גם במקרה זה, יש, במבנה רשת ההולכה הקיים, מגבלת גודל מובנית. יש המניחים שבעתיד, תהיה פרישה הומוגנית של מתקנים אלו באזורי הצריכה, מה שדווקא עלול להעלות את היציבות של המערכת ולהפחית אירועים של הקשכות והאפלה-חלקית [Alameda County Government 2011; זליכה 2012].

ביטחון אנרגטי: מדינת ישראל, כמדינות אחרות, חשופה לסיכונים של תקלות במערכת ייצור והולכת החשמל. אולם בשל היותה "אי אנרגטי" ללא יכולת התחברות לרשתות הולכה של מדינות שכנות, החשיפה גדולה יותר. בנוסף חשופה מדינת ישראל לסיכונים של מלחמה וטרור שיכולים לפגוע, הן במתקני הייצור והן בקווי ההולכה ובמאגרי הדלק, כמו בעבר צינור הגז ממצרים ובהווה מתקני הגז בים. בהיבט הזה, מתקנים פוטו-וולטאיים קרקעיים חשופים לסיכון כמו תחנות-כוח קונבנציונליות ומחז"מים¹⁰. זאת, גם בשל שטחיהם הגדולים וגם בשל תלותם באותן רשתות הולכה. סיכון זה, לגבי מתקנים פוטו-וולטאים על גגות, התופסים שטחים קטנים, פזורים על מספר רב של אתרים גיאוגרפיים ועושים שימוש נמוך בהרבה ברשתות ההובלה, קטן הרבה יותר וככל שיגדל מספרם, הסיכוי לנזק, כמו גם הסיכון לנזקי טבע, הולך וקטן [זליכה 2012].

שיקולים סביבתיים והשפעה על שמ"א בהשוואה בין מתקנים על גגות למתקנים קרקעיים

⁹ השחקנים הגדולים בשוק ייצור החשמל והפעלת רשתות ההולכה "לא מאושרים", בלשון המעטה, מהכיוון הזה, כפי שאפשר לראות במקורות המצוטטים [EI board meeting 2012, Peter Kind – EEI 2013, Owens 2012].

¹⁰ מחז"ם – תחנת כוח במחזור משולב – הסבר ב-

<http://science.cet.ac.il/science/electricity/environment/solution2.asp>

בהשוואה בין הצבת מתקנים פוטו-וולטאים על הקרקע לעומת הצבתם על גגות ניתן לראות שלמתקנים על גגות כמעט ואין השפעה שלילית על שירותי המערכת האקולוגית מהיותם מוקמים על מבנה קיים, ועל כן יתרונותיהם בהקשר הזה הם בעיקר במניעת ההשפעה השלילית שעלולה להיות למערכת האקולוגית עם הקמתם על הקרקע (ראה [טבלה 4](#)). בנוסף, מערכות פוטו-וולטאיות על גגות חוסכות את ההשפעות על שמ"א של מרכיבי התשתית הדרושים על הקרקע, כגון קווי-הולכה, דרכים, גידור ועוד, פרט ללוחות [המודולים] הפוטו-וולטאים עצמם. זיהינו שלושה שירותים שמושפעים מהצבת מתקנים על גגות: ויסות גזי-חממה, ויסות אקלים מקומי וגלובלי והשפעה על המגוון הביולוגי על ידי זיהום אור מקוטב – ראו דיון מטה.

שירותי ויסות: ויסות מאזן גזי חממה - מניעת פליטת גזי-חממה

מאחר שבתהליך ייצור החשמל במתקנים פוטו-וולטאים אין פליטה של גזי-חממה, הרי שכמות גזי החממה שפליטתם נמנעת לכל יחידת אנרגיה חשמלית מיוצרת, היא כמות גזי החממה שנפלטת לאטמוספירה בייצור אותה יחידת אנרגיה במתקנים המונעים בדלקים פוסיליים ותלויה בתמהיל הדלקים בייצור החשמל הקונבנציונלי¹¹.

במתקנים פוטו-וולטאים קרקעיים, הפאנלים מהווים נפו 60% משטח המתקן הקרקעי (אומדן שמרני "לטובת" מתקנים קרקעיים. היחס הוא יותר לכיוון 40%), לכן דונם שדה פוטו-וולטאי קרקעי (= 600 מ"ר נפו לוחות פוטו-וולטאים) מייצר בשנה, לפי 205 קוואט"ש/מ"ר: 123,000 קוואט"ש, המונעים פליטה של מעל 78 טון פד"ח. במתקן פוטו-וולטאי על גג, דונם אחד נפו של לוחות פוטו-וולטאים (= 1,000 מ"ר) מייצר בשנה, לפי 205 קוואט"ש/מ"ר – 205,000 קוואט"ש ^[נרדימון 2010] המונעים פליטה של מעל 130 טון פד"ח. כלומר מניעת פליטת גזי חממה ליחידת-שטח מתקן פוטו-וולטאי על גג גדולה ב- 60% מכמות גזי החממה שפליטתם נמנעת ליחידת שטח מתקן פוטו-וולטאי קרקעי.

היבט נוסף הוא אפקט הקירור של מתקנים פוטו-וולטאים על גגות על-ידי הצללה. לפי מחקר שדימה התקנה נרחבת, אך ריאלית, של מתקנים פוטו-וולטאים על גגות בפאריז, אפקט זה גורם, בשטחים עירוניים, מחד להגדלת כמות האנרגיה הנצרכת לחימום ב- 3% ומאידך, להקטנת כמות האנרגיה הנצרכת לקירור במיזוג אוויר ב- 12%. מסקנת המחקר היא כי מתקנים פוטו-וולטאים על גגות בערים תתרום, הן להפחתת ההתחממות הגלובלית והן להקטנת אפקט אי-החום העירוני - UHI ^[Masson et al. 2014].

שירותי ויסות: שינויי אקלים גלובליים, מקומיים ומיקרו-אקלים

הלוחות הפוטו-וולטאים, בהיותם כהים, הם בעלי החזר קרינה נמוך [Low reflectivity] וכן הם ממירים חלק ניכר מאנרגיית הקרינה הנבלעת לחום, מה שמעלה דאגה לגבי ההשפעה הפוטנציאלית של הקמת מתקנים פוטו-וולטאים בקנה-מידה רחב על מיקרואקלים ו/או על האקלים הגלובלי

¹¹ לכל - 1000 קוואט"ש מיוצרים במתקן פוטו-וולטאי, נמנעת פליטה של 3.63 ק"ג גפרית דו-חמצנית, 2.28 ק"ג של תחמוצות חנקן וכ - 635 ק"ג של פד"ח ^[U.S. Department of Energy 2004]. 1 דונם נפו של לוחות פוטו-וולטאים (= 1000 מ"ר) מייצר בשנה, לפי 205 קוואט"ש / מ"ר – 205,000 קוואט"ש המונעים פליטה של מעל 130 טון פד"ח. 1 דונם של שדה פוטו-וולטאי קרקעי (= 400 מ"ר נפו לוחות פוטו-וולטאים) מייצר בשנה, לפי 205 קוואט"ש / מ"ר ^[נרדימון 2010] : 82,000 קוואט"ש, המונעים פליטה של מעל 52 טון פד"ח. בחישוב יותר "לטובת" שדה PV, של 60% שטח לוחות נפו, נקבל מניעת פליטה של מעל 78 טון פד"ח ^[Fthenakis et al 2008, U.S. Department of Energy 2004].

[Turney & Fthenakis 2011]. מעט עבודות עוסקות בשאלה זו, אולם הפוטנציאל להשפעה גלובלית על האקלים כתוצאה מהשינוי בהחזר הקרינה [Albedo] מפני השטח, שינוי שייגרם על-ידי הקמת מתקנים פוטו-וולטאים על שטחים נרחבים, נחקר על-ידי Nemet (2009) שמצא כי, ברמה הגלובלית, ביחס לתועלות של מתקנים פוטו-וולטאים בהפחתת פליטת גזי-חממה, אפקט הקטנת ה-Albedo הוא קטן. בעבודתו לא נלמדו השפעות הקטנת ה-Albedo על אקלים מקומי ומיקרו-אקלים.

יתכן כי באזורים ארידיים וסמי-ארידיים, כבדרום ישראל, בנגב ובערבה, התמונה תהיה שונה. בעבודה על יער אורנים באזור סמי-ארידי, יער יתיר, הראו Rotenberg & Yakir (2010) כי להקטנת ה-Albedo, במקרה הנידון על-ידי ייעור, השפעה משמעותית וכי החזר הקרינה הגבוה בשטחים החשופים, השכנים ליער, דווקא תורם למיתון ההתחממות הגלובלית. החוקרים הגיעו למסקנה כי בארבעת העשורים האחרונים, תהליך המדבור באזורים סמי-ארידיים, **האיט** את ההתחממות הגלובלית בכ- 20% ביחס לעלייה הנחזית של ריכוז ה- CO_2 . השפעה דומה נמצאה על ידי Betts (2000) ביערות בוראליים.

האם ניתן לגזור מכך שאפקט הקטנת ה-Albedo על-ידי מתקנים פוטו-וולטאים בנגב ובערבה, אזורים עם החזר קרינה גבוה מרוב סוגי המסלע והקרקע, מפחית את יתרון שטף הקרינה הגבוה (ב- 11% ביחס לצפון ישראל) ועד כמה ההפחתה משמעותית? ועד כמה זה רלוואנטי למתקנים פוטו-וולטאיים על גגות?

תהליכים אקולוגיים תומכים: השפעת זיהום אור וזיהום אור מקוטב על המגוון הביולוגי

נושא זיהום אור מקוטב מפורט בפרק "[ההשפעה על שמ"א במעבר משדה חקלאי \[בעל\] לשדה פוטו-וולטאי](#)". אין הבדל בפוטנציאל יצירת זיהום אור מקוטב ליחידת שטח מתקן בין מתקנים פוטו-וולטאים על גגות לבין אלו שעל הקרקע, אולם, ככלל, רצף המשטחים על גגות קטן משמעותית מרצף המשטחים במתקנים קרקעיים, והגגות וקירות המבנים עליהם נבנים מתקנים פוטו-וולטאים מתאפיינים, ברובם, במשטחים מחוספסים, הן ברמת חיפוי מבנה בודד והן ברמת "המגוון הטופוגרפי" של גגות היישוב, ובצבעים בהירים. מאפיינים אלו, של מתקנים פוטו-וולטאים על גגות, מקטינים את חתימת הקיטוב ומגדילים את סיכויי יצורים הרגישים לקיטוב האור להימנע מ"מלכודות אקולוגיות" אלו [Horváth & Horváth 2014].

שמירה על שטחים פתוחים

המתקנים הפוטו-וולטאים הקרקעיים הם צרכני קרקע גדולים. שטח הקרקע הדרוש לייצור אנרגיה חשמלית במתקן קרקעי, לפי נתונים בישראל [בחינת יישום תמ"א 10/ד/10 בחלף 4 שנים מאושרה] נע בין מעל 20 דונם ל-1MW הספק מותקן [MWp] במתקנים פוטו-וולטאים בשטח של עד 250 דונם, ועד 16-18 דונם ל-1MW הספק מותקן [MWp] במתקנים פוטו-וולטאים גדולים בחיבור למתח-עליון. להשוואה, בארה"ב, בכ- 350 מתקנים שנבדקו, ממוצע השטח הדרוש הוא מעל 35 דונם ל-MWp

[Ong et al. 2013]. מתקנים פוטו-וולטאים על גגות מוקמים על מבנים קיימים, כשהשטח ממילא מופר ואין כל פגיעה בשטחים פתוחים. ראו דיון נוסף בנושא בפרק 7.

הטבלה מטה מסכמת את ההשוואה בין מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות לבין מתקנים שמוצבים על הקרקע חקלאית מבחינת השפעתם על שמ"א.

טבלה 5 - השוואה בין מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות מול קרקע על שמ"א

קבוצת שמ"א	תרחישים שמ"א	מתקנים פוטו-וולטאים קרקעיים בהשוואה לשדה בעל	מתקנים פוטו-וולטאים על גגות בהשוואה לקרקע	הסברים
אספקה	גידולים חקלאיים מזון, מספוא למרעה	↓	↔	
ויסות	מיתון התחממות גלובלית	↑	↑	ראו הסבר בסעיף הבא
	מניעת פליטת פד"ח ק"ג 1 למ"ר לשנה	63	105	הכמויות מחושבות ליחידת שטח מותקן, שעל גגות היא שטח הלוחות הפוטו-וולטאים נטו ואילו על הקרקע הוא שטח המתקן כולו, שהלוחות תופסים רק 40%-60% ממנו
	בקרה ומיתון נזקי מינים זרים פולשים	↓	↔	
	ויסות מחזור המים- שמירת לחות הקרקע, מילוי אקוויפרים	↑	↔	
	שמירה על איכות אוויר	↑	↑	ראו הסבר בסעיף מניעת פליטת פד"ח
	שמירה על איכות המים והקרקע מזיהומים ופסולת	↑	↔	
	ויסות סחיפת קרקע- שמירת איכות וכמות קרקע	↑	↔	
	מיתון סופות חול ואבק	↑	↔	
תרבות	הנאה אסתטית מהנוף	↓	↔	לפי סקרי דעות הציבור נמצא שמתקן קרקעי הוא בעל השפעה ניכרת על הנוף ועל תחושת המקום של התושבים ולכן מועדפים עליהם מתקנים על גגות*
	מורשת, תחושת מקום	↓	↔	
תהליכים אקולוגיים תומכים	מגוון ביולוגי, בתי גידול, יצרנות ראשונית, קישוריות אקולוגית	↑/↓	↓/↔	מתקן קרקעי בעל מגוון השפעות על המגוון הביולוגי בעוד המתקן על גג עלול להיות בעל השפעה קטנה של זיהום אור מקוטב

* את ההסברים הנוספים למגמות החצים בטבלה ניתן לראות בטבלה 4 ובפרק שמעליה.

הערכה כלכלית של מתקנים סולאריים על גגות בהשוואה לשטח פתוח

כתב גדי רוזנטל

א. כללי

יש להפריד בין שתי נקודות מבט:

האחת: נקודת המבט של היזם. כאן הכוונה לפרט שהוא בעל-גג ובמקביל לקבוצה יזמית המנהלת את ההקמה וההפעלה של שדה סולארי בשטח פתוח. הרווח של בעל-גג נובע מהפער בין עלות קוט"ש הסולארי עבורו בהשוואה לרכישה מלאה מהרשת, קרי מחברת החשמל. העבודה תציג מרווח זה.

לגבי היזם בשדה הסולארי נציג גם את עלויותיו ואת התשואה להון העצמי שלו המבטאת את הרווח. נציין שעלויות ההשקעה של המתקן הזה כוללות גם מיסים שונים, בעיקר דמי השבחה לרשות-מקרקעי-ישראל והיטל השבחה לגורם המוניציפלי. מיסים אלו לא קיימים במתקן גג.

השנייה (והעיקרית לעניינו): נקודת המבט הכלל חברתית. כאן ההשוואה היא בין עלות הייצור על גג בהשוואה לעלות בשדה פתוח. לעלות הייצור בש"פ יש להוסיף את ערך השטח הפתוח האובד כתוצאה משימוש בשדה וכן פערים בעלויות ההולכה (ראה להלן).

נקודת המוצא בשני החישובים היא כי הערך האלטרנטיבי של שטח הגג, לפרט (בעל הגג) ולחברה הוא אפס. תועלת נוספת ממתקן ביתי: הצלת הגג וחיסכון בעלויות קירור הבית.

מן הראוי להרחיב במהות הטכנולוגית והמוסדית של ההסדר לגבי מתקנים קטנים ובמשמעות לסוגיית ההולכה והחלוקה:

לגבי מתקן הגג ההנחה היא שמדובר בהסדר הקרוי מונה-נטו. המתקן מספק את תפוקתו בסדר עדיפות יורד ביחס למרחק מנקודת הייצור. בעדיפות ראשונה נמצא הצרכן שעל גגו המתקן. לאחר מכן צרכנים סמוכים שלא נזקקים לשנאי החלוקה המקומי. בעדיפות הבאה אלו הנזקקים לשנאי החלוקה המקומי ורק לבסוף, בשוליים, החשמל מועבר לרשת האזורית. זהו העיקרון של ה-micro grid. תשתיות החלוקה חייבות להתאים עצמן לנקודת הקיצון בה השימוש ברשת האזורית הוא מכסימלי. מכאן שהסדר מונה-נטו חוסך בתשתיות חלוקה. ככל שהאזור בו ממוקם מתקן הגג הוא צפוף יותר, כך עולה הסבירות לחלוקת החשמל ללא שימוש בשנאי החלוקה המקומי, וקטנות עלויות ההולכה למשק שיש להעמיס על הייצור במתקן הגג. ולהיפך: באזורים פריפריאליים, כמו במועצות אזוריות, החיסכון למשק בעלויות הולכה/חלוקה צנועות יותר.

היזם במתקן/הסדר זה נהנה מהתעריף האלטרנטיבי המלא, כאשר ההפרש בין עלויותיו לבין התעריף המלא בו הוא מזוכה, הפרש זה הנו הרווח שלו (בלשון רשות החשמל בהגדרת הסדר מונה-נטו: "הזכות להכנסה פוטנציאלית מעודפי ייצור החשמל שהוא מייצר ושהוא זכאי למכור לחברת החשמל, או לצבור קרדיט עבור צריכת חשמל עתידית").

בייצור בשדה סולארי בשטח פתוח, לעומת זאת, כל החשמל מועבר לרשת האזורית-ארצית ועל כן אין חיסכון בעלויות ההולכה והחלוקה.

הערה נוספת: בטווח הבינוני-ארוך עלויות החלוקה בכל חלופה כוללות את ההשקעה בתשתיות. בטווח הקצר החיסכון הוא במשתנות-שוליות בלבד.

הנתונים בפרק זה שואבים משיחות עם איגוד-יצרני-החשמל-הסולארי, נתונים של יזם ישראלי גדול המפעיל הן שדות סולאריים בשטח פתוח והן על גגות, נתוני הרשות-לשירותים-ציבוריים-חשמל, שיחות עם מומחים, שיחה עם השמאי הממשלתי וניסיון קודם.

ב. הנחות:

ייצור סולארי על גג

- גודל המתקן: הניתוח יתייחס למתקן משפחתי קטן המייצר בהיקף של תצרוכת חשמל שנתית של משק בית ממוצע, שהיא כ-8,000 קוט"ש לשנה. בהנחה של 1,750 שעות קרינה אקוויולנטיות בשנה, הרי שמדובר בהספק מותקן של 4.6 קוט"ש. מתקן כזה דורש שטח גג של כ-50 מ"ר. הערה: ישנם, כמובן מתקנים גדולים יותר, על גגות גדולים יותר, במכסימום מתקן של 50 קוט"ש. אלו אפשריים בעיקר במבנים ציבוריים ועסקיים גדולים, כדוגמת לולים ורפתות בקיבוצים. עלויות ההון בהן נמוכות יותר.
- ההשקעה במתקן משפחתי: 8,000 דולר, 30,000 ₪ (נתוני 2015).
- עלות רכישה מחברת חשמל: 58 אגורות לקוט"ש. זו ההכנסה של היזם בהסדר מונה-נטו.
- תחזוקה שנתית של המתקן: עלות נמוכה יחסית של 2 אג' לקוט"ש.
- אורך חיי המתקן: 20 שנה.
- הערה: קיימת טענה כי אורך החיים הטכנולוגי של המתקן יכול להגיע ל-30 שנה. למרות זאת הונח רק 20 שנה מטעמי זהירות, גם כיון שעם הזמן יש גם ירידה ביעילות וגם כיון שקיים גם בלאי שאינו טכנולוגי, שהסיכון לו גדול יותר בגגות פרטיים.
- עלויות חלוקה: רשות החשמל טענה כי יש לחייב את הסדר מונה-נטו ב-2 אג' לקוט"ש בגין חלוקה. נניח כי שעור זה משקף עלות ממוצעת.
- חיסכון בשעות צינון הבית עקב הצלת הגג:
 $2.5 \text{ שעות מיזוג בשנה } X 2 \text{ קוט"ש } X 0.58 = 23 \text{ ₪ לשנה}$. זניח לחישוב זה.
- מחיר ההון: 7%.

שדה סולארי בשטח פתוח

- גודל: מדובר במתקנים בינוניים-גדולים בטווח הספק מותקן של מגוואט בודדים ועד כמה עשרות מגוואט. נתוני ההשקעה יהיו ל-1 מגוואט מותקן.
- ההשקעה: 2 מיליון דולר למגוואט, 7.5 מלש"ח.
- ההשקעה כוללת, כאמור, גם את המיסים וההיטלים השונים.
- מחיר ההון: 5% (יתרונות הגודל).
- הייצור השנתי לפי 1,800 שעות: 1.8 מיליון קוט"ש למגוואט הספק מותקן.
- אורך החיים: 20 שנה.
- הערה: אורך החיים נלקח לפי ההסדר המוסדי והתחייבות המדינה לתעריף. יש טענה, כי אורך החיים הטכנולוגי גבוה יותר, אך גם כאן ננקטה גישה זהירה. הערה: בשני הסעיפים של מספר שעות תפעול, ומחיר ההון) מגולם יתרון לגודל של השדה ביחס למתקן הגג.

- עלויות תפעול שוטפות: 7 אג' לקוט"ש.
הערה: בהביט הטכנולוגי יש יתרון לגודל גם בתחזוקה. כך למשל ניתן לנקות את הפאנלים בשדה הסולארי באמצעות רובוט. ואולם בשדה זה ישנן עלויות כוח אדם וניהול שלא קיימות במתקן גג וכן לעתים עלויות של תשלום על הקרקע (מעין דמי שכירות, מעבר להיטלי המינהל וההשבחה), עלויות משפטיות ועוד. כמו כן יש להביא בחשבון שהשדה הסולארי ממוקם נמוך יותר ועל כן הטיפול במפגעי האבק גדול יותר. התוצאה הכוללת היא שעלויות התפעול השוטפות יקרות יותר דווקא בשדה בשטח הפתוח.
- כיון שהתחשיב הוא מנקודת המבט החברתית הכוללת ולא מנקודת המבט של היזם, הרי העלויות לא כוללות את הרווח והתשואה להון העצמי של היזם. (הערה: פרויקט תשתיות מסוג זה ממומן בד"כ ב- 80% בהלוואה לטווח ארוך, שמחירה נמוך יותר, ו- 20% הון עצמי שעבורו דורש היזם תשואה ניכרת יותר בסדרי גודל של 11%-18%. לו כללנו תשואה זו להון העצמי היה צורך להוסיף כ- 6 אג' לקוט"ש, דבר המביא לתעריף הנוכחי לשדות בינוניים העומד על כ- 46 אג' לקוט"ש.
- בהקשר זה נציין בהערה שהשמאי הממשלתי מחשב את שומת שינוי היעוד תחת הנחה של תשואה נורמטיבית להון העצמי של היזם של 14%.
- הולכה וחלוקה: העלות הממוצעת היא כ- 11 אג' לקוט"ש (לפי ספר התעריפים והעלויות של רשות החשמל). כאמור, יש להעמיס אותה במלואה על השדה הסולארי. בטווח הקצר-בינוני העלות השולית יותר נמוכה.
- צרכי הקרקע: נתוני פרויקטים מהשנתיים האחרונות הם של 12-15 דונם למגוואט. כך לדוגמא נחנך ברבעון השלישי של 2015 שדה בהספק מותקן של 40 מגוואט על שטח כולל של כ- 600 דונם, קרי 15 דונם למגוואט. כיון שמדובר בשדה גדול הייתה דרישה של חברת החשמל לתחנת ממסר, והיא נכללת בשטח הנ"ל. יוצא אפוא שבתחום דרישת הקרקע אין יתרון לגודל ולעיתים אף חיסרון. עד כאן השטח של השדה עצמו. מעבר לכך יש להוסיף את שטח הדרך הייעודית אל השדה וכן שטח יעודי לקוי הולכה, קרי הולכה מהשדה לרשת. השונויות כאן גדולה: ביחס לדרכים הטווח נע בין מצב שהדרך כבר קיימת ועד לדרך ארוכה יחסית לשדה קטן. לגבי השטח הנדרש לקוי הולכה ייעודיים לא נמצאו הערכות. נניח כאן תוספת כוללת של 5 דונם למגוואט לשני שימושים אלו, כך שהשטח הכולל הוא 20 דונם למגוואט מותקן.

תוצאות התחשיב:

1. השוואת עלויות משקיות (ש"ח לקוט"ש, ללא קרקע)

טבלה 6 - השוואת מתקן סולארי על גגות למתקן קרקעי – עלויות משקיות

שדה סולארי קרקעי	גג	
0.33	0.41	החזר הון
0.07	0.02	תחזוקה
0.11	0.02	הולכה
0.51	0.45	סה"כ

2. משמעויות ומסקנות:

- השדה הסולארי נהנה מיתרונות לגודל, בעיקר בעלויות ההון, אך מנגד עלויות ההקמה שלו כוללות תשלום עבור הקרקע וכן מסים, אגרות ועלויות משפטיות שונות. לעומת זאת, אין מחיר חלופי לגג ואין בו עלויות עסקה. כך גם ביחס לעלויות התחזוקה: יש יתרון לגודל השדה הסולארי, אך מאידך יש לו עלויות ניהול וכלליות המקזזות יתרון זה. בסה"כ הייצור, הון ותחזוקה, עלות הקוט"ש במתקן הגג 43 אג' ובשטח פתוח 40 אג' בלבד.
- השטח הפתוח צריך לשאת בכל עלויות ההולכה/חלוקה, 11 אג' לקוט"ש, בעוד שהתקן על הגג בהסדר מונה-נטו רק בעלויות שוליות נמוכות משמעותית, כ- 2 אג' בממוצע.
- בהסתכלות הכלל משקית עלות מתקן-גגות זול בכ- 6 אג' לקוט"ש בהשוואה לשדה סולארי, וזאת לפני מתן ערך לקרקע. נחזור ונדגיש את השוונות בין האזורים.
- השדה הסולארי חייב כמובן, לשאת בעלות החברתית של אובדן השטח הפתוח (להרחבה בנושא ראו בפרק הבא. עלות זו צריכה לכלול את הפסד התוצר העסקי (חקלאי או תיירותי) ואת המוצר הציבורי המתבטא בשירותי המערכת האקולוגית הנפסדים.
- הפסד התוצר העסקי בהנחת שדה פלחה שתרומתו כ- 150 ₪ לשנה בממוצע, ולפי 20 דונם למגוואט מותקן: 0.17 אגורות לקוט"ש.
- בעבודה זו לא ניתן ערך כלכלי מפורש לשירותי המערכת האקולוגית בשטחים פתוחים (כולל שירותי נוף). אך ראה התייחסות לערך הכמותי/איכותי של שמ"א בשדה קרקעי ב**טבלה 4** ואולם, אם לצורך הדוגמא נניח ערך של 2,000 ₪ לשנה, וזהו ערך המתאים לתוצאות מחקרים לא מועטים, הרי נקבל עלות נוספת של 2.3 אג' לקוט"ש.
- המסקנה הציבורית הכוללת היא שהעלות הישירה של ייצור חשמל סולארי מגגות זול יותר מייצור בשדות גדולים בשטח פתוח, **45 מול 51 אג' לקוט"ש** בהתאמה. ואולם, בייצור בשטח פתוח יש עלות נוספת משמעותית של ערך השטח הפתוח האובד, אשר נותן יתרון חברתי כולל של קרוב ל- **10 אג' לקוט"ש** ליצור מגגות.
- חשוב להדגיש, כי התחשיב והחזר ההון חושבו ל-20 שנה בשדה בשטח הפתוח, ואולם הפרת השטח הפתוח וההשפעה על שירותי המערכת האקולוגית הנובעים מהשדה הסולארי ימשכו, לפחות בחלקם עוד תקופה ממושכת לאחר מכן (אם לא לנצח).
- מנקודת המבט של הפרט בעל הגג במקום קנייה מהרשת, הרי שכל קוט"ש חוסך לו 15 אג' וההשקעה מוחזרת בתוך כ- 9 שנים.

7. התייחסות לחשיבות שירותי המערכת האקולוגית שמספק השטח הפתוח

"Soil is a finite resource that must be managed sustainably to meet increasing anthropogenic demands and mitigating climate change" [The Global Soil Forum 2011]

"What is the best use of land?" [UK National Ecosystem Assessment Follow-on. WP Report 3 2014]

ערך שירותי המערכת האקולוגית של שטח פתוח, קשור באופן הדוק להשוואה בין מיקום מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות למיקום על הקרקע, ומדגיש את הצורך שתהליך קבלת ההחלטות יכול להתייחסות אליו. לא כך המצב כיום, כשעקרונית, הערך המיוחס לשטח המיועד למתקן פוטו-וולטאי, הוא הערך השמאי הנגזר רק מהפרויקט הסולארי שיקום עליו והחלופה של הישארות הקרקע כשטח פתוח, טבעי או חקלאי, מקבלת ערך אפס ^[גדי רוזנטל, בע"פ]. כך בהנחות השמאי הממשלתי וכך בהנחות תחשיביות בתחומים אחרים, כדוגמת נוהל פר"ת (כדאיות כלכלית לפרויקטים תחבורתיים) ^[מ. התחבורה] ^[2012] ודו"ח קנדל ^[ועדת-קנדל 2013].

עצם הקיום של שטחים פתוחים טבעיים או חקלאיים מספק שירותי מערכת תרבותיים-חברתיים חשובים שיש להם ערך משמעותי שאיננו מוטל בספק. ערכים אלה נובעים מעצם הישארות השטח כ"שטח פתוח" המספק שירותים לכלל הציבור, מכך עולה שערכים אלה התלויים בהישארות השטח "פתוח" הינם מוצר ציבורי בלתי סחיר שאין לו ערך שוק. לא קיימת כיום הסכמה באשר לאפשרות ולכדאיות לייחס למוצר ציבורי כשטח פתוח ערך כלכלי כמותי. קיימות, אמנם שיטות עקיפות להערכה כלכלית של שמ"א שמספק מוצר ציבורי כשטח פתוח, ואולם, נוכח אמינותם ומהימנותם הנמוכות, האפשרות והכדאיות להשתמש בהן מוטלת בספק ושנויה במחלוקת. מגבלות היכולת שלנו לאמוד את הערך הכלכלי של שטח פתוח מובילות, לא אחת, להתעלמות מערכו וחשיבותו. התעלמות זו הינה טעות יקרה שמובילה לאובדן מיותר של שטחים פתוחים ושל שמ"א חיוניים שהם מספקים לרווחת האדם. דווקא מגבלות היכולת לאמוד את ערך השטח הפתוח (כמו מוצרים ציבוריים אחרים) מחייבות למצוא דרכים אחרות להתייחסות לערכים אלה בעת קבלת החלטות הנוגעות לשטחים פתוחים.

דרך פשוטה להתייחס לכך היא באמצעות השוואת חלופות במהלך שיקול של מיזם כלכלי שעשוי לעשות שימוש בשטחים פתוחים. את המיזם עצמו מעצם טבעו ומטרותיו ניתן וצריך להעריך כלכלית. את ערך השטח הפתוח, שיש קושי להעריכו כלכלית, ניתן להעריך באמצעות הערכה מקצועית. שטחים פתוחים שונים זה מזה בערכם הביולוגי, האקולוגי, והנופי, שוני זה ניתן להערכה מקצועית על ידי מומחים בתחומים הרלוונטיים (אקולוגיה, טבע, נוף, תחושת מרחב ומורשת תרבותית) ובאמצעות סקרי דעת קהל. באמצעות כלים אלה ניתן לסווג את השטחים על פי ערכם היחסי ולהשתמש בסיווג בעת קבלת ההחלטה על מיקום המיזם. נכון לבחון בשלב ראשון את חלופת האפס. כלומר מה יהיה הנזק הכלכלי בגין אי ביצוע המיזם ובמידת הצורך להעמיד את הנתון אל מול ההערכה הערכית-מקצועית של השטח הפתוח. הערך הכלכלי של המיזם השווה לערך הנזק שבאי הקמתו, עשוי לספק מימד כלכלי ברור לשיקול. כלומר אל מול תג המחיר של אי הקמת המיזם ניתן לשקול ולבחון אם הציבור מוכן לשאת בסכום זה עבור השארית השטח הפתוח. היה והצעד הראשון של שיקול חלופת האפס לא הוביל לפסילת המיזם, נכון לבחון חלופות נוספות על בסיס הבחינה המקצועית של ערכיות השטח וסיווגו ובהתאם ובמידת הצורך לצמצם את הנזק באמצעות מיקום המיזם בשטחים פחות ערכיים. יש כמובן הבדל בין הערך/הנזק לציבור ובין זה של בעלי אינטרס

פרטי מצומצם, ובין זה של הטווח הקצר לטווח הארוך. ככלל ככל שמדובר במוצר ציבורי כשטח פתוח נכון להעדיף את אינטרס הציבור ואת הטווח הארוך על האינטרס הפרטי וקצר הטווח.

ובאשר להצבת מתקנים פוטו-וולטאיים, המסקנה המתבקשת הינה כי ככל שקיימת חלופה של הצבת המתקנים על גגות ניתן לקבוע, גם ללא אומדן ערכי-מקצועי של השטחים הפתוחים, שכדי להמשיך ולספק את שמ"א של השטח הפתוח לרווחת הציבור יש להעדיף את חלופת הגגות על החלופות הקרקעיות. מסקנה זו מתחזקת נוכח נתוני המחקר שפוטנציאל השימוש בגגות עולה על הנדרש וכי, אף ללא התייחסות לערך חברתי סביבתי של השטח הפתוח, עולה התועלת הכלכלית הציבורית של הצבת המתקנים על גגות על זו של הצבתם על הקרקע.

8. גורמי שינוי

חלק חשוב במחקרים להערכת שמ"א הוא זיהוי גורמי השינוי שעלולים להשפיע על הגדרת החלופות וההערכה של השפעתם על שמ"א. מטה מספר גורמי שינוי שזוהו במהלך הפרויקט כרלוונטיים למחקר.

גורמי שינוי להצבת מתקנים על גגות

רגולציה:

כבר בשנת 2008, לפני החלטת הממשלה מס' 4450 משנת 2009, בדבר "קביעת יעד מנחה וגיבוש כלים לקידום אנרגיות מתחדשות בפרט באזור הנגב והערבה", החלטה שעל בסיסה אושרה תוכנית תמ"א 10/ד/10, החליטה ממשלת ישראל על תמיכה בהקמת מתקנים פוטו-וולטאים על גגות בדרך של פטור ממס. בהמשך, נעשו פעולות שונות כדי לקדם את התמיכה בהקמת מתקנים פוטו-וולטאים על גגות.

למרות גישה חיובית זו, הציג מרכז המידע והמחקר של הכנסת ביולי 2014, דו"ח המפרט את החסמים להקמת מתקנים על גגות¹², כלהלן:

1. פטור ממס הכנסה, ביטוח-לאומי וביטוח בריאות וכן פטור מהגשת דו"ח למס-הכנסה, כולל חשבוניות, שהתקבל בהחלטת ממשלה בשנת 2008, לא מתקיים עד היום, כי לא חוקק חוק, או תקנה ^[רונן 2014].
2. פחת מואץ על מערכות סולאריות שקבעה הכנסת ב- 2009, תוקפו הסתיים ב- 2013 ולא הוארך. משמעות הפחת המואץ הייתה שניתן היה לקבל החזר מס במשך ארבע שנים במקום עשר שנים.
3. פטור מהיתר בניה: למרות אישורו בחוק ובהחלטת ממי"י, חברת החשמל עדיין דורשת הצגת היתר בניה.
4. נכון לעת כתיבת הדברים, מכסות הגגות הסתיימו וכרגע אין כוונה לפתוח מכסות נוספות ^[דרסלר בע"פ].
5. תשלומי ארנונה - ליזמים ובעלי שטחי קרקע וגגות אין דרך לדעת את שיעור הארנונה שיצטרכו לשלם. אי ודאות זו מהווה חסם ^[רונן 2014].

התפתחויות טכנולוגיות צפויות בתחום:

מתקנים פוטו-וולטאים שלובי מבנה (Building Integrated Photo Voltaics): מתקנים פוטו-וולטאים שלובי מבנה ופנלים סולאריים אלסטיים (Thinfilm) עתידים לשנות את עולם הבניה ^[Warrick 2015, Owen 2014]. הפאנלים הסולאריים יכולים לשמש תחליף לחומרי בניה קיימים ובה בעת לייצר חשמל לצרכי השימוש במבנה ולהם תפקיד מרכזי בתורת הבניה הירוקה השואפת להקים מבנים ירוקים שהשימוש בהם אינו פולט מזהמים אל הסביבה (Zero Emission).

¹² לעניין זה ראו המלצות החברה להגנת הטבע למדיניות לקידום אנרגיה סולארית במרחב הבנוי ^[מור וחובי 2015].

הפאנלים הפוטו-וולטאים יכולים לשמש תחליף לרכיבים סטנדרטיים במבנה, שבעצם הופך ל- ומחליף את סטרוקטורת התמך של הלוחות. למשל, פיתוח שדווח עליו רק השנה - בטון משולב בצבע שמתפקד כאלמנט פוטו-וולטאי [Meyers 2015], או פאנלים פוטו-וולטאים שקופים כחלונות וחזיתות- מבנים, מעקות הגנה וגדרות.

פיתוח אגירת אנרגיה (Storage): שילוב מתקנים פוטו-וולטאים, הן על גגות והן על הקרקע, במערכת אספקת החשמל מוגבל לחלק קטן מצריכת החשמל. זאת, בגלל ההכרח לספק חשמל לצרכנים מהמערכת המרכזית בשעות שבהן המערכות הסולאריות אינן פעילות, קרי בשעות החשכה. אגירת עודפי אנרגיה שמיוצרים ביום ושימוש בהם לשעות הלילה, יסיר את המגבלה הזו. כבר כיום קיימות סוללות אגירה מתאימות שיש להן כדאיות כלכלית, בעיקר לגבי מתקנים קטנים [Hoppmann et al. 2014]. המשך המגמה, בשילוב עם פיתוח מערכות ניהול מתאימות (smart grid) יקדם שילוב נרחב יותר של הספקת חשמל ממקור סולארי, ובעיקר מתקנים על גגות, כמקור אמין, שאינו תלוי במערכת המרכזית [Breen 2013, Neubauer & Simpson 2013].

פוטנציאל הקמת מתקנים פוטו-וולטאים רק על גגות בישראל:

על פי עבודה שהכין רן ורדימון עבור מכון דש"א, שטח הגגות הקיים בישראל, יכול לספק 30% מתצרוכת האנרגיה באמצעות מערכות פוטו-וולטאיות [Vardimon 2011]. הערכה דומה עולה מניתוח של גל שופרוני [Shofrony 2014]. בהנחה שהעדר אמצעים הולמים לאגירת אנרגיה מגבילים את ייצור החשמל הסולארי ל- 10%-15% מכלל ייצור החשמל במדינה, ורדימון מסיק כי אין מחסור בשטח גגות בהקשר זה. ניתוח נוסף של חזון אפשרי ביחס להתפתחות שוק האנרגיה עד שנת 2040 נעשה על ידי הפורום הישראלי לאנרגיה. ראה הרחבה להלן.

חזון הפורום הישראלי לאנרגיה: אפס פליטות פחמן בישראל בשנת 2040 [דולב וחובי 2013]: המחקר מתייחס לאספקת אנרגיה ממקורות מגוונים של אנרגיה מתחדשת, לרבות ייצור אנרגיה מרוח, מגלים, מפסולת ועוד לצד חיסכון משמעותי בצריכת אנרגיה, למשל, באמצעות בניה ירוקה. מכלל האנרגיה המתחדשת, 30% אמורים להיות מופקים מאנרגיה סולארית. הערכת הפוטנציאל להפקת אנרגיה סולארית בטכנולוגיה פוטו-וולטאית במחקר לוקחת בחשבון איסוף קרינת שמש אך ורק על גבי קרקע הנמצאת כבר בשימוש, ללא פריסת מתקנים בשטחים פתוחים. ייצור החשמל בעבודה זו, חושב אמנם על בסיס הפקה בשדות קרקעיים, אך נוספה לו עלות חיצונית של 2,000 ₪ לדונם לשנה, שהיא כ- 6.6% מעל לעלות הייצור. כתוצאה, הניתוח הכלכלי אדיש לשאלת מיקום הלוחות הפוטו-וולטאיים – על גגות או בשטחים פתוחים. יש להעיר כי דולב וחובריו נקטו בהנחות שמרניות, כמו שיעילות הלוחות הפוטו-וולטאים תישאר ברמתה הנוכחית, או תגדל רק במעט, במשך למעלה משני העשורים הבאים.

גורמי שינוי העשויים להשפיע על חלופות פריסת מתקנים סולאריים על הקרקע

החלופות השונות שתוארו לעיל עשויות להיות מושפעות במידה ניכרת מגורמים מחוללי שינוי ישירים ועקיפים שרובם קשורים במדיניות ורגולציה.

השינויים התכופים במדיניות הממשלה ובמדיניות רשות מקרקעי ישראל (רמ"י) ורשויות נוספות בעלי השפעה ניכרת על הקמת מיזמים פוטו-וולטאיים ואופן הקמתם. בפועל, היבטי מדיניות מסוימים שונו כבר בזמן הקצר יחסית מאז תחילת הפרויקט. תעריפי ההזנה¹³ בעבור מתקנים סולאריים בטכנולוגיות השונות עודכנו. התעריפים החדשים, הנמוכים במידה ניכרת מתעריפים קודמים, משקפים ירידה מתמדת במחירי הפאנלים הפוטו-וולטאיים. החל מראשית שנת 2015, עלות החשמל ממקורות מתחדשים צריכה להיות ברת-תחרות למחיר הרגיל¹⁴. נוסף על כך נכנס לתוקפו ההסדר "מונה נטו", שמשמעותו קיזוז החשמל ממקור מתחדש מחשבון החשמל של בעל המתקן^[רשות החשמל, 2014]. הסדר זה מביא את החשמל מאנרגיות מתחדשות למצב של "שוויון רשת" (Grid Parity), שהוא שוויון בין מחיר החשמל המתחדש למחיר החשמל הרגיל. הסדר "מונה נטו" מבטא שוויון זה במחיר לצרכן^[ברגר 2013, סלונים 2013]. עקב כך עלולה להיפגע יכולתם של יזמים רבים בתחום להמשיך בהקמת מתקנים חדשים.

מדיניות החיסכון בצריכת אנרגיה היא גורם שינוי נוסף שיש לקחת בחשבון. היום, החלטות הממשלה לתוכניות חסכון באנרגיה כדי להשיג את היעד של הקטנת הצריכה ב-20% הוקפאו ולעומת זאת הצריכה עולה מעבר לתחזיות^[יניב 2013, דולב וחובי 2013]. זאת, למרות ההסכמה הגורפת בקרב כל המומחים ובעלי העניין כי הכלים המרכזיים ביותר לקידום אנרגיה נקייה הם התייעלות אנרגטית וחיסכון בצריכה: האנרגיה הירוקה האמיתית והיחידה היא זאת שכלל לא מיוצרת, גם לא באמצעים מתחדשים. המשך הגידול בצריכת החשמל יכול להביא, אולי, לחידוש מדיניות עידוד הקמת מתקנים סולאריים ומאידך, אולי דווקא להשקעה באמצעים לחסכון באנרגיה ואכן, החלטת ממשלה מספטמבר 2015, הגדירה התייעלות של 17% עד שנת 2030, אם כי לא נקבעה עדיין תוכנית עבודה להשגת היעד. המגמות הפוטנציאליות הללו הן מנוגדות בהשפעתן על המדיניות כלפי הקמת מתקנים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות.

העדיפות הניתנת בישראל לייצור חשמל ממקור סולארי על פני מקורות חלופיים אחרים, כגון רוח וים היא בעיקרה משיקולים ביטחוניים-פוליטיים, שיקולי שמירת טבע ושיקולים הקשורים במשאבים ואופי המשאבים הקיימים בישראל. ייצור חשמל ממקור רוח למשל, מוגבל באזורי התפוצה שלו וביחס לים, מבנה הים (שמעמיק מהר) והיקף הרוח בו מועטה. בעולם המערבי התמונה שונה, כשייצור אנרגיה ממקור סולארי נמצא במקום השלישי בסדרי העדיפויות, לאחר מים ורוח^[Masson et al. 2013]. המשך מגמה זו, בשילוב הגורמים לעיל, עשויה להוביל למהלך של הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים על שטחים גדולים בהרבה מאלו המוקמים ומתוכננים היום.

מדיניות הקצאת קרקע לתשתיות לאומיות השתנתה גם היא. החלטה 1278 של מועצת מקרקעי ישראל מאפריל 2013 קובעת כי על מיזמים פוטו-וולטאיים, כמו על כל ה"מיזמים ליצור חשמל

¹³ תעריפי הזנה: תעריפים מיוחדים לרכישת חשמל המיוצר במתקנים סולאריים, או מתקני ייצור חשמל ממקורות מתחדשים. תעריפי ההזנה [Feed in Tariffs] הם מחירים מובטחים ליצרן לאורך תקופה מוגדרת של פעילות המתקן.

¹⁴ אם כי באוקטובר 2015 פרסמה רשות החשמל הקצאה נוספת של 114 מגוואט מותקן במכרז שמשמעותו המשך תעריפי ההזנה^[רשות החשמל 2015].

ואנרגיות מתחדשות (אגירה שאובה, טורבינות רוח וכד')", יחולו דמי חכירה מהוונים, לפי שומה פרטנית, כשהסיווג הוא קרקע לתעסוקה/תעשייה ^[רומם 2011]. החלטה זו היא בניגוד לחוות-דעת השמאי הממשלתי משנת 2009, שקבע כי דמי החכירה לשטחים המיועדים למתקני ייצור אנרגיה סולארית יהיו 120 ש"ח לדונם לשנה. חוות-דעת נוספת של השמאי הממשלתי מפברואר 2012 ^[רשות החשמל 2012] מפרטת את ההבדלים בין מסלול המכרזים למסלול ההסדרה [היישום למתקני PV במשבצות יישובים חקלאיים] וקובעת כי במסלול המכרזים יש ליזם וודאות גבוהה כי המיזם ייצא אל הפועל. לעומת זאת, במסלול ההסדרה היזם חשוף לחוסר וודאות בהגעה אל "קו הגמר" ומימוש מכסות ההקצאה, אי ודאות בהליך הסטטוטורי ובקבלת ההיתרים וחשוף לסיכונים כי השקעתו לא תבוא לידי מימוש.

מדיניות רשות מקרקעי ישראל: רמ"י החליטו כי על דמי החכירה לא יחולו הנחות איזור, לרבות באזורים בעלי עדיפות לאומית א' כמו עוטף עזה. כן נדרשת מהיזמים, קרי היישובים חוכרי השטח, התחייבות להשבת הקרקע אם תוך שלוש שנים מאישור המיזם לא תסתיים הקמתו. בנוסף, לפי מדיניות משרד התשתיות הלאומיות לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך ייצור החשמל בישראל ^[משרד התשתיות הלאומיות 2010], לא יוקמו מתקנים פוטו-וולטאים קטנים ובינוניים לאחר שנת 2015. מה שעלול להעלות את הסיכוי להקמת מתקני PV גדולים.

השפעת מימד הזמן על העלויות במסלולים השונים בישראל: מחירי ציוד להפקת אנרגיה בשיטה הפוטו-וולטאית, ומכאן גם עלויות ההקמה, למיזם מסוג זה הולכים ופוחתים באופן רציף ובשיעור משמעותי לאורך ציר הזמן. במסלול המכרז היזם יכול לדחות את רכש הציוד ואת הקמת המתקן, וליהנות מעלות הקמה מופחתת. במסלול ההסדרה נתון היזם לסדר זמנים קצוב ולהתחייבות הקמה בטווח זמן קצר ובעלויות הקיימות בעת מתן הרישיון, כשסביר שעד לרכש עצמו העלויות תפחתנה.

שינויים ביעילות ובעלויות בטכנולוגיה הפוטו-וולטאית: יש להתייחס להתפתחות הטכנולוגית על ציר הזמן. ההערכה התיאורטית היא שהיעילות המרבית שניתן להשיג מפאנל פוטו-וולטאי סיליקון היא 29%. היעילות בטכנולוגיות הקיימות כבר מגיעה למחצית מיעילות זו ^[Alsema et al. 2009, Wissen & Grêt-Regamey 2009]. לפי פרסומים מראשית 2014, פיתוח טכנולוגיה פוטו-וולטאית ביעילות שתצמצם את שטחי הקרקע הדרושים, לפחות ממחצית, אפשרי, אך נמצא בשלבים ראשוניים ^[Lakhani et al. 2014] וגם אז, מדובר בהיקף שטחים משמעותי. **בעלויות ההקמה מאידך,** חלה ירידה משמעותית, כשמחירי המודולים לוואט מותקן [Wp] ירדו ב- 80%-90% מראשית שנות התשעים במאה הקודמת ^[Alsema et al.]. ^[2009, Wissen & Grêt-Regamey] ניתוח של אנליסט מוביל של ה-Deutsche Bank מציין כי יצרני פאנלים פוטו-וולטאים סינים, שהם המובילים בתעשייה, הורידו את מחירי המודולים הפוטו-וולטאים מ-1.31 \$/W [לוואט הספק מותקן] בשנת 2011 ל-0.5 \$/W [ירידה של קרוב ל-40%] בשנת 2014, וחווה כי עד סוף 2017 ירדו מחירי המודולים הפוטו-וולטאים ב-40% נוספים והאנרגיה הסולארית בכל הארצות תגיע לשוויון רשתי (Grid parity) ^[Parkinson 2015].

גורם שינוי נוסף הוא ההתפתחויות בשוק הפוטו-וולטאי בישראל. לדעת האדריכל אברהם אידלשטיין, יש היפוך במגמת הביקוש להקצאת שטחים למיזמים חדשים וירידה במספר המיזמים שיוקמו, בין היתר בגלל קשיים כלכליים ופשיטות רגל של חברות בתחום. מגמה זו נזכרה כבר בדו"ח

מעקב הכנסת ב- 2013 ^[יניב 2013] והיא בהיפוך להתחייבות הבן-לאומית של הממשלה להגדלת האנרגיה הנקייה.

לסיכום, נראה כי בעקבות ההתפתחויות שתוארו לעיל, קיימות מגמות סותרות. בסה"כ צפויים שטחי מיזמים פוטו-וולטאיים לגדול, כשהנטייה היא למקם חלק גדול מהם על הקרקע. בקליפורניה למשל, הוקצו למעלה משש מאות אלף דונם למתקני PV בשטח פתוח עד שנת 2016 ^[Lakhani et al. 2014].

מאידך, גוברת בעולם המגמה לייצור מבוזר של חשמל [DG – Distributed Generation], **שיהיה בעיקרו על גבי גגות**. מגמה זו נתמכת במדינות שונות בארה"ב על-ידי מערכת סובסידיות דרך הסדרי מונה-נטו [Net Metering], ואמצעים נוספים ^[ראו למשל: Warrik 2015 וסדרת כתבותיו בנושא ב- Wahington Post וכן Peter Kind – EEI 2013, Owens 2012]. נראה שהמגמה הזו הולכת וגוברת, בעיקר עקב לחץ ציבורי.

מה צופן העתיד מבחינת חלופות להספקת אנרגיה?

- צרכני האנרגיה בעולם ובישראל נפתחים למגוון רחב בהרבה של חלופות להספקת אנרגיה, כולל: ייצור מבוזר [DER – distributed energy resources], אגירת-אנרגיה יעילה וזולה, עצמאות אנרגטית [microgrids, Islanding] ורשתות חכמות.
- כל אלו ישנו ומשנים את פניהן של מערכות ייצור והולכת החשמל.
- יהיה הכרח לתכנן מחדש את תשתיות ההולכה הקיימות, שהן חד-כיווניות, ולהתאימן לזרימה דו-כיוונית ומשתנה באופן בטוח ואמין.
- ההתפתחויות הטכנולוגיות שנמנו לעיל בצירוף עם עליה ביכולות החישה, הניטור והבקרה, מאפשרים יישום כלכלי ואמין של החלופות הללו ^[EEI board meeting 2012, Peter Kind – EEI 2013, Owens 2012].

אם דווקא התחזית להתרחבות שטחי מתקנים סולאריים קרקעיים תתממש, תהיה לכך השפעה משמעותית מאוד על שירותי המערכת האקולוגית. השאלה כיצד ישפיעו החלופות השונות של הקמת מתקנים סולאריים על שמ"א ברמה הארצית וכיצד יהיה ניתן לשלב אותם בסביבה באופן שישמר את הנוף התרבותי ואת התהליכים האקולוגיים ויענה על הדרישות הכלכליות של ייצור האנרגיה, שנויה במחלוקת ^[רותם 2011]. פרויקט זה נועד לסייע במתן מענה על כך.

חלופת תרחיש הקיצון

כפי שראינו בסיכום הפרק לעיל, קיימת אפשרות שהתחזית להתרחבות שטחי המתקנים הפוטו-וולטאיים הקרקעיים תתקיים. לשם כך, בחרנו להתייחס גם לתרחיש זה, כחלק מחלופות הפרויקט (ראו [הגדרת חלופות פריסת מתקני אנרגיה סולארית](#)). חלופה זו מתייחסת להקמת מתקנים פוטו-וולטאיים בגודל 10,000-20,000 דונם במרחב שקמה. התרחיש הקיצון נבחן בשלושה היבטים, אותם נפרט מטה: (1) פוטנציאל הקמתו בשטחים החקלאיים בשקמה בעזרת חישוב כלכלי וחישוב של צוות ה-GIS של מכון דש"א, (2) סקר דעות הציבור כלפי חלופות פריסתו (מפוצל או מאוחד) והשפעתו על הנוף והסביבה, ו-(3) השפעת גודלו היחסי, על שמ"א בהשוואה לחלופות של מתקנים קטנים יותר על סמך מה שנלמד בפרק הערכת שמ"א והסקר.

(1) חישוב היקף השטחים הפוטנציאלי להקמת המתקנים בתרחיש הקיצון נעשה בשתי דרכים:

- **חישוב מדיני-רגולטורי.** חישוב השטח שעשוי להיות מוקצה על-ידי הרשויות להקמת מתקנים פוטו-וולטאים במרחב שקמה. החישוב נערך על-ידי גדי רוזנטל במסגרת ההערכה הכלכלית של הפרויקט. ההנחות בבסיס החישוב מפורטות בהמשך.
- **ניתוח גיאוגרפי.** בדיקת היקף השטחים המתאימים להקמת המתקנים במרחב שקמה על פי פרמטרים של שטח-פתוח, מפנה ושיפוע מדרונות ושטח מינימלי רציף. הבדיקה נעשתה על-ידי דקלה זנדמן ממחלקת GIS של מכון דש"א. מפורט בהמשך.

חישוב מדיני-רגולטורי של פוטנציאל השטחים להקמת מתקנים פוטו-וולטאיים במרחב שקמה

השטח הכללי של מתקנים פוטו-וולטאים קרקעיים שהוקמו ו/או מאושרים להקמה בשטח פארק שקמה כיום מהווה 0.16% משטח הפארק.

חישוב השטח שעשוי להיות מוקצה על-ידי הרשויות תחת תרחיש קיצון מתבסס על ההנחות הבאות:

- טווח חישוב עד שנת 2040.
- צריכת החשמל הצפויה בשנת 2040 היא 103 מיליון מגוואט-ש (ע"פ תכנית האב).
- שיעור החשמל ממקור סולארי יעמוד על 20%.
- החלק היחסי של מרחב שקמה כמקור חשמל סולארי בתרחיש קיצון יהיה 15% מכלל החשמל ממקור סולארי בארץ [הנחה זו נקבעה, בין השאר, בהתייעצות עם מנכ"ל אחת החברות הגדולות בתחום].
- מקדם היצור בשדה סולארי מחושב לפי 1,800 שעות בשנה.
- השטח הנדרש לייצור ליחידת הספק ממתקן סולארי הוא 20 דונם¹⁵

¹⁵ מחד, הערך של 20 דונם שנקבע למקדם זה הוא נמוך, כי עבודות שונות מציינות שטח של 30 דונם ל-MWp, ומאידך עשוי להיות גבוה מדי, מאחר וסביר שבטווח של רבע מאה קדימה תהיינה התפתחויות משמעותיות ביעילות המתקנים.

נוסחת החישוב: $A = P * S * Y * R / d$

A - שטח פריסת מתקנים סולאריים במרחב שקמה (בדונם)

P - צריכת החשמל העתידית בישראל (מגווט"ש)

S - שעור החשמל ממקור סולארי מכלל יצור החשמל בישראל (באחוזים)

Y - החלק היחסי של מרחב שקמה כמקור חשמל סולרי (באחוזים)

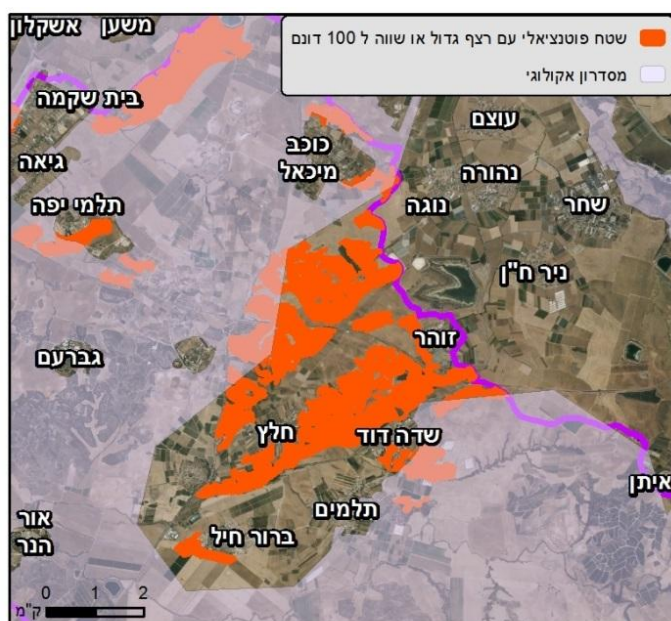
d - מקדם הייצור: תפוקת 1 מגווט סולארי מותקן (מגווט"ש/ש/מגווט)

R - השטח הנדרש ליחידת הספק מותקן¹⁶ פוטו-וולטאי (דונם/מגווט)

סה"כ על פי חישוב זה (של גדי רוזנטל), החשיפה בתרחיש הקיצון היא של 34,300 דונם, השווה ל- 10% משטח מרחב שקמה.

ניתוח גיאוגרפי לחישוב פוטנציאל השטחים להקמת מתקנים פוטו-וולטאיים בתרחיש קיצון

לאחר החסרת שטחי שמורות-טבע, איור 8 - השטח הפוטנציאלי במרחב שקמה עם רצף גדול או שווה ל- 100 דונם נופית גבוהה



לאחר החסרת שטחי שמורות טבע שטחים בעלי ערכיות נופית גבוהה (כהגדרתם בתוכנית הפארק) וכד', השטח הפוטנציאלי עומד על כ- **46 אלף דונם**. לכן, בתרחיש הקיצון שתואר לעיל, כ- **74%** מהשטחים שאותרו כפוטנציאלים, יהיו חשופים לאפשרות של המרה לשדות פטו-וולטאים¹⁷. איור 8 מראה את השטח הפוטנציאלי במרחב שקמה עם רצף גדול או שווה ל- 100 דונם. ניתן לראות שרוב השטחים הפוטנציאליים נמצאים במסדרונות אקולוגיים, פרט לגוש המרכזי בו יש רצף של יותר מ- 10,000 דונם. לפרטים ראו [קישור לדוח המפרט את חישובי ה-GIS לפוטנציאל השטחים](#).

(2) סקר דעות הציבור כלפי התרחיש הקיצון והשפעתו על הנוף והסביבה

כחלק מהפרויקט התבצע סקר דעות התושבים על חלופות פריסה שונות של מתקנים פוטו-וולטאים במרחב שקמה כולל שאלה לגבי תרחיש הקיצון. לצורך התייחסות למצב היפותטי כזה הנחנו שני

¹⁶ ראו מילון מונחים.

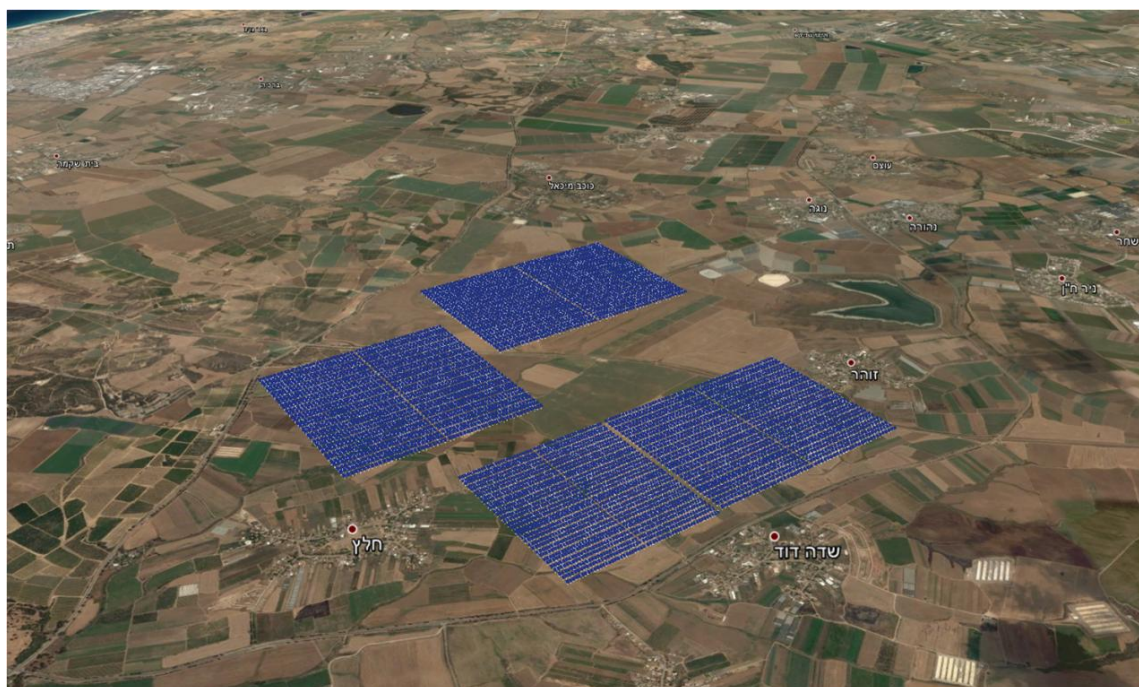
¹⁷ יש לציין שניתן לצמצם שטחים באחוזים מסוימים עם שימוש בסוגי פאנלים חדשניים יותר והקטנת זווית הפאנלים, אך כיום טכנולוגיות אלה עדיין אינן זמינות.

תרחישי פריסה של המתקנים במרחב ולכל תרחיש הוכנו הדמיות כדי לסייע בהמחשת ההשפעה של הפריסה על הנוף והמרחב (ראו [איור 9](#) ו**איור 10** מטה):

איור 9 - תרחיש א' - כארבע-עשר מתקנים קרקעיים בגודל של כ- 700 דונם



איור 10 - תרחיש ב' - שני מתקנים גדולים כל אחד בגודל 5,000 דונם



להמחשת תרחיש ב', הוכן בנוסף גם [סרטון](#) מעוף ציפור. מיקום המתקנים בהדמיות בוצע במערכת GIS בהתאמה לתנאים הגיאוגרפיים והטופוגרפיים. זהו אומנם תרחיש קיצון, אך מכיוון שלהצבת מתקנים סולאריים בהיקף נרחב של אלפי דונם תהיה השפעה ניכרת על שמ"א כגון מגוון ביולוגי, קישוריות אקולוגית ועוד, הוחלט לבחון אותו, בעיקר בהקשר של יחס תושבי האזור לאפשרות כזו.

בסקר, שעליו ענו 70 מתושבי האזור, נמצא ש- 58% העדיפו את תרחיש ב', ו- 42% את התרחיש המפוזר. לאחר השאלה הייתה להם אפשרות לכתוב הסברים והערות. בחלק זה היה ניתן לראות שרבים קודם כל כתבו שהם מתנגדים מאוד ומזועזעים מתרחיש הקיצון ככלל.

“בעיניי החלטה זו שערורייתית ומקוממת! תשאירו לנו קצת טבע במדינה שמכוסה בטון ואספלט.”

בנוסף ניתנו מספר הסברים לאילו מהחלופות עדיפות בעיניהם, מטה מספר דוגמאות:

סימנו חלופה א' - מפוצל:

“נדרש מידע נוסף כדי לענות על השאלה. לדוגמא, האם הקמה ותחזוק של מספר שדות יובילו ליותר

מקומות תעסוקה? האם תידרש תשתית רבה יותר שתפגע בשטח רב יותר?”

“תרחיש א' הוא הרע במיעוטו מבחינתי.”

סימנו חלופה ב' - מאוחד:

“אני מעדיף בהרבה את תרחיש ב' לפחות לרכז את המתקנים בשני אתרים גדולים, אפשר אולי להצמיד לאתרים הגדולים הללו משהו שיהווה ערך מוסף כמו מרכז מבקרים / חנויות או משהו דומה.”

“אם כן אז עדיף לצמצם כמה שיותר את הפגיעה בשטח הפתוח ולרכז במקום אחד בלבד.”

“אני מעדיף מתקן אחד או שניים גדולים והשארת שאר השטח פתוח כי מהלך זה יאפשר גם תפעול נכון יותר של המתקן ופחות תנועת רכבי תפעול פנימה באזורים נרחבים”

(3) להשפעת גודלו היחסי של התרחיש הקיצון, על שירותי המערכת האקולוגית האחרים (אספקה,

ויסות ותהליכים תומכים) בהשוואה לחלופות של מתקנים קטנים יותר, ראו התייחסות ב**טבלה 9**.

9. פרק אינטגרציה - תכלול ממצאי הערכות שמ"א

במטרה לאפשר למקבלי ההחלטות לעשות שימוש מעשי ויעיל בממצאים על השפעת חלופות שונות של פריסת מתקנים פוטו-וולטאיים על שמ"א, מוצגת תמונה כוללת של הממצאים אשר מדגימה את השפעתה של כל חלופה על כלל שירותי המערכת האקולוגית הרלוונטיים. התמונה הכוללת מתבססת על ההערכות הפרטניות של השפעת כל חלופה על כל שירות ושירות. הערכות אלו פורטו בפרקים הקודמים, במסגרת הערכת שירותי המערכת האקולוגית, ותומצתו בטבלה 4 וטבלה 5.

בתמונה הכוללת, העבודה מספקת הערכה שהיא מעבר לסיכום כלכלי-נטו, שאיתו ניתן להשוות בין החלופות. זאת משום שחלק ניכר משירותי המערכת האקולוגית הינם מוצרים ציבוריים לא סחירים, שאין להם ערך שוק והערכת השפעת החלופות השונות עליהם נעשתה במונחים כמותיים ואיכותניים שקשה, לא ניתן, או לא כדאי לכמת בערכים כספיים (כגון שירותי תרבות, מגוון ביולוגי וחלק משירותי הוויסות)¹⁸. לפיכך, תכלול הממצאים, נעשה בשימוש במספר כלים, שפותחו במסגרת עבודות שמ"א רלוואנטיות שנעשו בארץ ובעולם (כגון TESSA, TEEB, UKNEA, קוניאק 2014 פרטים מלאים של המקורות ראו מקורות).

השוואה בין חלופות בתרשים משולב (תרשים פרח)

במסגרת התמונה הכוללת מוצגת השוואה בין שדה פוטו-וולטאי קרקעי ומתקנים פוטו-וולטאיים על גגות כששדה חקלאי בעל מהווה את חלופת הייחוס, כיוון שההשפעה על שמ"א שונים נמדדת בערכים אחרים (לעתים כספיים ולעתים איכותניים), התרשים המשולב משווה בין כיווני השפעה ורמות השפעה: האם אספקת שמ"א השתפרה או נפגעה והאם עצמת ההשפעה קטנה או גדולה. בתרשים המשולב¹⁹, כל חלופה מוצגת ב"פרח" משלה, כשכל "עלה כותרת" בפרח מייצג שמ"א ספציפי. השפעת המעברים בין החלופות עולה מההשוואה בין ה"פרחים" השונים ועלי הכותרת שלהם.

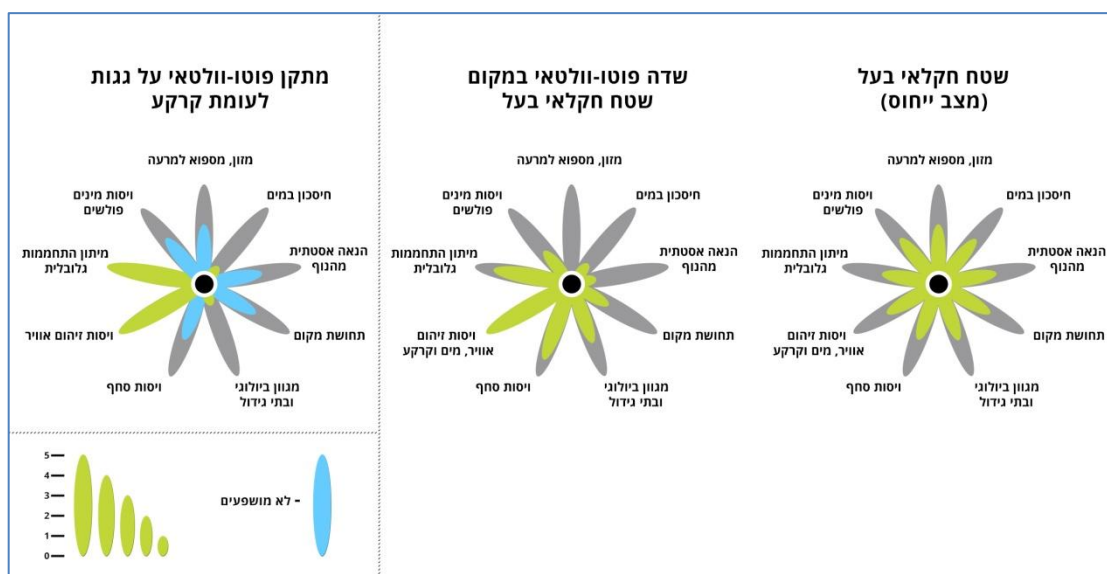
לצורך ביצוע ההשוואה הוגדרה סקלה של רמות השפעה, בין 1-5 וממצאי הערכת שמ"א תורגמו מהערכים הכמותיים, שחושבו ביחידות מידה שונות, או מהערכים האיכותניים, לרמות השפעה בסקלה (לציון שבין 1-5). אורך עלה הכותרת בכל פרח - מייצג את ערך שירות המערכת בסקלה שבין 1-5. עלה כותרת קצר יצביע על ערך נמוך ועלה כותרת ארוך – על ערך גבוה.

בנוסף, הוגדרה חלופת ייחוס (reference), שהיא שדה בעל. השוואת החלופות האחרות נעשתה ביחס לאותה חלופה. לכל שמ"א בחלופת הייחוס נקבע ציון 3. שמ"א שהתחזק במעבר בין החלופות קיבל ציון 4-5, בהתאם למידת ההתחזקות, ושמ"א שנחלש קיבל ציון נמוך: 0-2, בהתאם לרמת ההיחלשות. שמ"א שאדיש למעבר בין החלופות, או שמתאזן עקב השפעות סותרות, נותר עם ציון 3.

¹⁸ ראו למשל, התייחסות לחשיבות שירותי המערכת האקולוגית שמספק השטח הפתוח.

¹⁹ להסבר מפורט על הציון שניתן לכל שמ"א, ראו הערכת שירותי המערכת האקולוגית.

איור 11 – תרשים פרח - השוואה בין חלופות פריסה שונות של מתקנים פוטו-וולטאיים



דיון בתרשימי הפרח

התרשים לעיל מצביע על כך שבהצבת מתקן סולארי במקום שטח חקלאי בעל, יש שיפור בשלושה שירותים, אחד שנשאר זהה עקב השפעות סותרות (המגוון הביולוגי), חמישה שנפגעים, ומתוכם אחד שנעלם. ניתן לראות שיפור במיתון התחממות גלובלית, וכן שיפור באיכות האוויר בזכות המתקן לאנרגיות מתחדשות המפחית שימוש בגזי חממה, ושיפור באיכות הקרקע, המים והאוויר אשר זיהומם, מהתשומות שבהם נעשה שימוש בשדה החקלאי נמנע. השירות שנעלם מהשטח הוא אספקת מזון ומספוא (ששטחי החקלאות מספקים), והשירותים שנפגעים הם ההנאה האסתטית מהנוף ותחושת המקום (על פי סקר הציבור שנערך), ובנוסף יהיה שימוש רב יותר במים מכיוון שבמערכת הסולארית יש שימוש במים לשטיפת הפאנלים לעומת שדה בעל בו אין שימוש במים כלל (אך יש לציין שאם השדה הסולארי מחליף שדה שלחין הוא יחסוך במים). הפרח השלישי, השמאלי ביותר, משווה בין חלופת הצבת מתקנים על גגות במקום על הקרקע. הוא שונה במהותו משום שאינו משווה בין חלופה על אותו תא שטח אלא על שטח אחר - גגות. ניתן לראות שחלופת הגגות מחזקת בצורה משמעותית את שירות מיתון ההתחממות הגלובלית ובהתאם שומרת על שירות שמירה על איכות האוויר, בעוד שכמעט אינה משפיעה על שירותי מערכת אחרים (חוץ מהמגוון הביולוגי שעלול להיות מושפע קלות מזיהום אור מקוטב). בנוסף, יש להדגיש כי חלופת הקמת מתקנים פוטו-וולטאים על גגות מונעת פגיעה בשטחים-פתוחים. זהו מרכיב שאינו מופיע כשירות מערכת, אבל חשיבותו גבוהה ביותר (ראו דיון בנושא [התייחסות לחשיבות שירותי המערכת האקולוגית שמספק השטח הפתוח](#)).

בעלי העניין המושפעים מהתרשימים השונים

נתון שלא מקבל ביטוי בתרשים המשולב הוא ריבוי בעלי העניין המושפעים מהמעבר בין החלופות, עובדה המקנה חשיבות יתרה לשאלה מי נפגע ומי מרוויח מהיחלשות או התחזקות השירותים וכיצד. לממד זה ולהתייחסות מפורטת יותר של ההשפעות על שמ"א מתייחסת [טבלה 7](#) המתבססת על טבלה דומה במדריך של TEEB (2013) ומטרתה להציג את השפעת החלופות, או כפי שכתוב בטבלה ה"החלטות", על בעלי העניין המרכזיים שזוהו, כמפורט [טבלה 2](#).

טבלה 7 - מרוויחים ומפסידים בחלופות השונות

חלופה / החלט	מטרה / שמ"א שמשותפים	המרוויחים	שמ"א שנפגם המפסידים	התושבים המקומיים והתיירים – משרד החקלאות – אובדן של שטחים חקלאיים שספק אם ייעוז יחזור להיות חקלאי. הציבור, המדינה ומעבר לה – אבדן שטחים פתוחים ופחיתת באספקת מזון ובביטחון המזון.
התמרת קרקע חקלאית לשדה פוטו-וולטאי	פיתוח מקורות אנרגיה מותחדשת, מיתון ההתחממות הגלובלית, הפחתת תלות באנרגיה ממקורות חיצוניים.	בעלי הקרקע - הכנסה גבוהה יותר מכל שימוש אחר לשטח פתוח. היזמים - רווחים מובטחים תעריף הזנה. רשות מקרקעי ישראל – דמי השבחה/חכירה מהיזם. המדינה - עמידה בהתחייבויות בינלאומיות, הפחתת פליטות גזי חממה, שמירה על איכות האוויר, ביטחון אנרגטי. הציבור הרחב - הפחתת בגזי חממה ובזיהום אוויר.	אבדן שטחים פתוחים. אספקת מזון, אספקת קש (תל מה מגדלים בשטח) אסתטיקה (נוף) חקלאי פתוח שמשתנה עונתית), תחושת מקום.	
הקמת מתקנים פוטו-וולטאים על גגות במקום על שטחים פתוחים	שיפור מיתון ההתחממות הגלובלית פר שטח (בשטח המיועד למתקן פוטו-וולטאי) קרקעי, ב- 40%-60% מהשטח אין ייצור חשמל ולכן כמות גזי החממה שפליטתם נמנעת ליחידת שטח היא רק 60% ביחס למתקן על גג). עצמאות אנרגטית ברמה מקומית שמירת שטחים פתוחים.	בעלי הגגות : חיסכון בהוצאות החשמל והכנסה נוספת ממכירת עודפי ייצור לרשת. הציבור הרחב – הפחתת בגזי חממה, בזיהום אוויר ושמירה על השטחים הפתוחים והחקלאיים וכן על הנוף והמסורת החקלאית. המדינה - ביטחון מזון, שמירה על שטחים פתוחים וחקלאיים וכן הרווחים שפורטו לעיל.	שמ"א כמעט אין נפגעים כי שהגג הוא על שטח בנוי שכבר מופר. ולכן להקמה על גגות אין נזק לשמ"א למעט ההשפעה על המגוון הבילוגי מזהה אור מקוטב.	ספקי החשמל הגדולים ומפעילי רשתות ההולכה – (בישראל – בעלי חברת חשמל ויצטרפו אליה מפעיל שדות פוטו-וולטאים קרקעיים).

דיון על טבלת מרוויחים ומפסידים בחלופות השונות

כפי שניתן לראות לעיל **טבלה 7** במעבר משדה חקלאי בעל לשדה פוטו וולטאי המרוויחים העיקריים (מבחינה כלכלית) הם היזמים, בעלי הקרקע (דמי שכירות) ורשות מקרקעי ישראל (דמי השבחה/החכרה). המדינה מרוויחה מעמידה בהתחייבותה להפחתת גזי חממה, והציבור מרוויח מעט - משמירה על איכות האוויר. המפסידים העיקריים הם התושבים המקומיים שמפסידים נוף חקלאי פתוח, משרד החקלאות והציבור - אובדן שטחים חקלאיים, והמדינה בשל אובדן שטחים פתוחים וביטחון מזון. בהקמת מתקנים פוטו-וולטאיים על גגות במקום על שטחים פתוחים המרוויחים העיקריים הם בעלי הגגות (המרוויחים מהפער בין עלות קוט"ש הסולארי בהשוואה לרכישה מלאה מחברת החשמל), הציבור – משמירה על הנוף והשטח הפתוח שהולך ומצטמצם, והמדינה שמרוויחה ממיתון גזי חממה באופן יעיל יותר ליחידת שטח, ושמירה על שטחים חקלאיים ופתוחים. מי שיפסיד מכך יהיו חברת ספקי החשמל הגדולים ומפעילי רשתות ההולכה.

טבלה 8 - מסקנות ההערכה הכלכלית

ש"ח לקוט"ש	גגות	שדה סולארי קרקעי	ההפרש
השוואת עלויות משקיות (ללא מתן ערך לקרקע)	0.45	0.51	6 אג' לקוט"ש
המסקנה הציבורית כולל ערך השטח הפתוח והחקלאי שאובד ושמ"א	0.45	0.55	10 אג' לקוט"ש

מההערכה הכלכלית ניתן לראות שהמסקנה הציבורית הכוללת היא שהעלות הישירה של ייצור חשמל סולארי מגגות זול יותר מייצור בשדות גדולים בשטח פתוח ב- 6 אג' לקוט"ש. ואולם, בייצור בשטח פתוח יש עלות נוספת משמעותית של ערך השטח הפתוח האובד, אשר לפי ההערכה הכלכלית של גדי רוזנטל, נותן יתרון חברתי כולל של קרוב ל- 10 אג' לקוט"ש ליצור מגגות (ראו פירוט בפרק ההערכה הכלכלית). עם זאת, יש לציין שאחד הנושאים שעבודה זו מתמודדת איתם זה האם ואיך יש לייחס ערך כלכלי לשטחים הפתוחים (דיון בנושא ראו בפרק [התייחסות לחשיבות שירותי המערכת האקולוגית שמספק השטח הפתוח](#)).

השוואה בין חלופות מיקום וגודל בטבלת חצים

כלי נוסף שהשתמשנו בו כדי להציג את ההשפעות של חלופות פריסת מתקנים לאנרגיה סולארית על שמ"א הוא טבלת חצים. טבלת החיצים מציגה שינוי מגמות באספקת כל שמ"א ביחס למצב ייחוס. שימוש בטבלת החצים מקובל מאוד בגישת שמ"א ונעשה, לדוגמה, במסגרת הפרויקט הלאומי להערכת שמ"א באנגליה (UK NEA 2011). הטבלה מרכזת את נתוני מגמות השינוי של כלל שמ"א שנבחנו בכל חלופות פריסת אנרגיה סולארית, כולל החלופות של גודל ומיקום אשר הוצגו בפרק [הגדרת חלופות פריסת מתקני אנרגיה סולארית ואזור 5](#), ומשווה אותם לחלופת הייחוס. חלופת הייחוס בטבלה היא "שטח חקלאות בעל-ללא מתקנים פוטו-וולטאיים".

היתרון של טבלת החיצים הוא האפשרות להציג במקביל נתונים של מספר חלופות גדול. במקרה שלנו הטבלה מציגה את מכלול השילובים של הצבת מתקנים פוטו-וולטאיים כולל חלופות גודל (עד 300 דונם, 300-750 דונם, 10,000-20,000 דונם) וחלופות מיקום (צמוד דופן או לב השטח הפתוח), בלי לפגוע בבהירות ההצגה. מגמת השינוי באספקת כל שמ"א, בכל חלופה, ביחס לחלופת הייחוס, מיוצגת בטבלה על ידי חץ: חץ הפונה למעלה מצביע על התחזקות השירות, כשגודל/רוחב החץ מצביע על עוצמת ההתחזקות, וחץ הפונה למטה מצביע על פגיעה באספקת השירות באותה חלופה. כמו בתרשימים המשולבים, נעשה שימוש בסקלה של 4 רמות השפעה. ספירה של מספר שמ"א שהתחזקו בכל חלופה לעומת מספר שמ"א שנחלשו, לעומת המספר שנשארו זהים או לא הושפעו כלל, מאפשרת כלי נוסף להשוואה בין חלופות הממשקים השונים.

טבלה 9 - שינוי במגמות שמ"א - תחת חמישה תרחישים – פריסת מתקנים פוטו-וולטאיים

קבוצת שמ"א	תרחישים שמ"א	(1) שטחי בעל-חקלאיים ללא מתקנים סולאריים	(2) שדה סולארי עד 300 דונם – צמוד דופן	(3) 300 דונם עד 750 בלב השטח	(4) תרחיש קיצון עד 10,000 עד 20,000 דונם	(5) מתקנים סולאריים על גגות בהשוואה לקרקע
אספקה	גידולים חקלאיים מזון, מספוא למרעה	↔	↓	↓	↓	↔
	חיסכון בצריכת מים	↔	↓	↓	↓	↓
ויסות	מיתון התחממות גלובלית	↔	↑	↑	↑	↑
	בקרה ומיתון נזקי מינים זרים פולשים	↔	↓	↓	↓	↔
	ויסות מחזור המים-שמירת לחות הקרקע, מילוי אקוויפרים	↔	↑	↑	↑	↔
	שמירה על איכות אוויר	↔	↑	↑	↑	↑
	שמירה על איכות המים והקרקע מזיהומים ופסולת	↔	↑	↑	↑	↔
	ויסות סחיפת קרקע-שמירת איכות וכמות קרקע	↔	↑	↑	↑	↔
	הנאה מנופים יפים	↔	↓	↓	↓	↔
	מורשת תחושת מקום	↔	↓	↓	↓	↔
	מגוון ביולוגי ובתי גידול	↔	↑↓	↓	↓	↓
	שירותים שמשתפרים	חלופת ייחוס	5	5	5	2
סה"כ	שירותים שנחלשים		5	6	6	2
	שירותים שאינם מושפעים לרעה		1	0	0	9
מפתח:	התחזקות משמעותית	↑	החלשות משמעותית	↓	ללא שינוי	↔
	התחזקות	↑	החלשות	↓		
	התחזקות קטנה	↑	החלשות קטנה	↓		
	התחזקות קטנה מאוד	↑	החלשות קטנה מאוד	↓		

מהנתונים בטבלה 9 מצטיירת תמונה על פיה במעבר בין חלופות הגודל והמיקום של מתקנים פוטו-וולטאיים - מגודל של עד 300 דונם צמוד דופן ועד לגודל של 10,000-20,000 (שם הוא צמוד דופן או לא - לא רלוונטי מבחינת שמ"א עקב גודלו), ניתן לראות שעם הגודל גם מידת העוצמה של התחזקות או היחלשות השירות גדלה או קטנה. יש שיפור הדרגתי-עולה בשירותי הויסות: מיתון התחממות גלובלית, שמירה על איכות האוויר, המים והקרקע וויסות סחף קרקע ושמירה על הלחות בקרקע. לעומת זאת, שירותי אספקת גידולים חקלאיים ומים, שירותי התרבות (אסתטיקה ותחושת מקום) והמגוון הביולוגי נפגעים. חשוב להדגיש כי שירותים כמו מיתון התחממות גלובלית משתנים באופן לינארי עם שינוי שטח המתקן. לעומת זאת, לגבי שירותים כמגוון ביולוגי, שירותי תרבות ועוד, יש להניח, כי ההשפעה של גודל המתקן הפוטו-וולטאי תהיה לא-לינארית והמתקנים הגדולים יפגעו בשירותים כגון קישוריות אקולוגית ומגוון מינים, יחסית, הרבה יותר, מאשר מתקנים קטנים. מחלופות הגודל ומיקום ניתן לראות שהחלופה הכי מאוזנת היא הראשונה בה יש אותו מספר של שירותים שנחלשים ומתחזקים, כולם במידה מעטה, ואחד שאינו מושפע. בהשוואה לחלופת הגג, ניתן לראות, כפי ראינו בתרשים פרח (איור 11) שרוב השירותים אינם מושפעים וחלקם מושפעים לטובה.

ממשקי עזר של ניהול ותכנון שדה סולארי לשיפור מאזן שמ"א

שיחות עם בעלי עניין ומומחים במהלך הפרויקט העלו אפשרויות לגבי מספר ממשקי עזר אשר עשויים לשפר את מאזן שירותי המערכת במידה וכן מקימים שדה פוטו-וולטאי קרקעי. אנו סבורים שיש חשיבות לבדיקה המשכית ורגולציה של ממשקים אלו. בתחום פארק שקמה, קיים, נכון לעת כתיבת הדברים, רק מתקן פוטו-וולטאי אחד הפועל מזה כשנה, כך שלא ניתן ללמוד רבות מהניסיון בניהול שטח השדה הסולארי. מהספרות עולה כי ההשפעה הסביבתית וההשפעה על שמ"א של שדות פוטו-וולטאים תלויים מאוד בתכנון וברגולציה, הכוללים את המיקום, תנאי ההקמה, ניהול ממשק ההפעלה ותהליכי הפירוק והמיחזור בסיום תקופת פעילות המתקן. רגולציה יכולה להיות, לא רק ממשלתית או ברמת רשות מוניציפאלית, אלא גם התנדבותית.²⁰

לכן, יש חשיבות גדולה בשילוב ופיקוח על ההנחיות הנופיות (ראו הערת שוליים 5) במסמכי התכנון. ההנחיות מגדירות את תנאי ניהול ממשק הצומח בתחום המתקן, אופי הגידור, הפעלת תאורה מלאכותית וכו'. בחו"ל אף קיים שילוב רעיתי בעלי-חיים בשטח המתקן. משיחותינו עם המומחים השונים עולה כי שילוב כזה לא יתאפשר בישראל, אך ייתכן וכדאי לבחון שוב את הנושא. על פניו נראה כי ההנחיות הנופיות הקיימות היום נותנות מענה מספק בנושא זה, אלא שמנגנוני בקרה ואכיפה של ההנחיות אינם ברורים ו/או לא קיימים ויש לפעול ליצירת מנגנונים מתאימים כאלו. חשיבות בחירת המיקום על ההשפעה הסביבתית של שדה סולארי באה לידי ביטוי בולט בהקמה על שטחי קרקע מופרת (Brownfields).²¹ שם, בסינרגיה עם ממשק ניהול קרקע-צומח מתאים בשטח המתקן, השדה הסולארי דווקא יכול לתרום לשיקום קרקעות מופרים על-ידי הגדלת מגוון בתי-גידול והמגוון הביולוגי בכלל. קרקע מופרת יכולה לכלול שטחים תעשייתיים שניטשו, עם שאריות חומרים שונים בקרקע, שטחים צבאיים ועוד [Peschel 2010].

²⁰ ראו בפרק אנרגיות מתחדשות ממקור סולארי בעולם וכן [Peschel 2010].

10. מסקנות

המחקר בא להאיר ולהדגיש את ההשפעה של חלופות פריסה שונות של מתקני אנרגיה סולארית (על הקרקע וגגות) על הסביבה ועל בעלי עניין שונים, בהשוואה לשדה חקלאי בעל, באמצעות שימוש והתנסות בגישת שירותי המערכת האקולוגית (הסבר על גישת שמ"א ראו בפרק 1). מטרתו, לאו דווקא לספק תשובה חד משמעית לגבי החלופה העדיפה, אשר פעמים רבות תלויה בהחלטות הממשלה, רגולציה, ובעלי עניין שונים (כפי שפורטו בדו"ח), אלא לספק תמונה רחבה מזוויות שונות, שתוכל לשמש את מנהלי השטח, בעלי העניין וקובעי המדיניות בבואם לדון בשאלת הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים באזורם, תוך העלאת המודעות לגישת שמ"א. בנוסף היא באה להדגיש שאל מול ההערכה הכלכלית נטו עומדים שורה של ערכים נוספים – שורה של שירותי מערכת אקולוגית, וערך השטחים הפתוחים שיש להתייחס גם אליהם.

חשיבותם של מתקנים פוטו-וולטאיים, הן קרקעיים והן מתקנים על גגות, היא במעבר לייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים, בהפחתה המשמעותית בפליטת גזי-חממה ובתרומה למיתון ההתחממות הגלובלית והקטנת זיהום האוויר. בהשוואה בין שדה פוטו-וולטאי קרקעי, לשדה חקלאי בעל, נמצא ששדה פוטו-וולטאי בעל פוטנציאל לשפר שמ"א נוספים כווסות סחף קרקע, מגוון בתי-הגידול ועוד, וזאת בתלות בסוג הממשק החקלאי (משמר או לא) שהיה בשטח לפני ההמרה, ובממשק ניהול המתקן הסולארי, וכן הוא בעל פוטנציאל להיות רווחי לזם ובעל הקרקע. עם זאת, המתקנים הקרקעיים הם גם בעלי פוטנציאל להשפעה שלילית על שירותי מערכת רבים (כגון: שירותי תרבות - אסתטיקה ותחושת מקום, שירות אספקת מזון ועל המגוון ביולוגי) אשר פוגעת בציבור ובמדינה ויוצרים פגיעה קשה או אובדן של שטחים פתוחים (לפירוט ראו פרק 6). ההשפעה השלילית על השירותים הללו מתחזקת עם הגדלת השדה הסולארי ועם הצבתו בלב השטח ולא צמוד דופן. יש לציין כי במקרה של התממשות חלופת תרחיש הקיצון (מתקנים בגודל 10,000-20,000 דונם במרחב שקמה), הפגיעה בשירותים הנ"ל תהיה הרבה מעל להשתנות הליניארית של השטח (המחשה לכך ניתן היה לראות בממצאי סקר דעות הציבור בעמ' 49). במידה והמתקנים היו מוצבים על גבי קרקעות מופרות, ניתן היה לצמצם את ההשפעות השליליות, אולם במסלולים הקיימים, של הקצאת מכסות ייצור פוטו-וולטאי ליישובים, אין תעדוף להיבט זה.

ההשפעות השליליות שתוארו לעיל, אינן קיימות בהקמת מתקנים פוטו-וולטאים על גגות מבנים ואף נמצא בהערכה הכלכלית שגם מבחינת העלות הציבורית הקמה על גגות זולה יותר בכ- 6 אגורות לקוט"ש, או 10 אגורות לקוט"ש, אם כוללים ערך לשטחים הפתוחים (ראו טבלה 8). לכן באשר להצבת מתקנים פוטו-וולטאיים, המסקנה המתבקשת הינה כי ככל שקיימת חלופה של הצבת המתקנים על גגות ניתן לקבוע, גם ללא אומדן ערכי-מקצועי של השטחים הפתוחים, שכדי להמשיך ולספק את שמ"א של השטח הפתוח לרווחת הציבור יש להעדיף את חלופת הגגות על החלופות הקרקעיות ובהתאם לפעול לקידום מדיניות זו ^[מור וחובי 2015]. במידה ובשל שיקולים נוספים, מחליטים בכל זאת, על הקמה על שטחים חקלאיים או פתוחים, אזי מומלץ שיהיו צמודי דופן ובגודל קטן מהיישוב הקיים (או עד 300 דונם), וכך ישפיעו פחות על המגוון הביולוגי ובתי הגידול, ועל ערך הנוף ותחושת המקום של התושבים.

הטמעת ממצאי המחקר ותהליך המחקר

לקח חשוב, שנלמד מהמחקר, הוא החשיבות של תהליך מחקר המשתף מנעד רחב של בעלי עניין. הפגישות, הסדורים והצגת הממצאים בפורומים שונים במהלך הפרויקט תרמו להגברת המודעות לשמ"א, ולהעשרת השיח של "השלכות מתקנים פוטו-וולטאיים על הסביבה ועל רווחת האדם" מנקודת מבט רחבה יותר.

במהלך הפרויקט נלמדה ותועדה המערכת המורכבת של קבלת החלטות, וגורמי השינוי הרגולטורים והטכנולוגיים בנושא מתקני אנרגיה סולארית. למחקר היו שותפים מגוון רחב של מומחים ובעלי עניין המושפעים משיקולים כלכליים, מוסדיים, חברתיים-תרבותיים ומשפיעים עליהם. אנו סבורים ששילוב התובנות מהערכות שירותי המערכת האקולוגית והבנת מערכת קבלת ההחלטות של בעלי העניין יכולים לתרום ליצירת דרך לפריסה מושכלת של אנרגיה סולארית באופן שימקסם אספקה של שמ"א ויפחית פגיעה בשמ"א, יהיה כלכלי ויתרום לניהול בר קיימא של השטח ורווחת האדם.

בנוסף, אנו סבורים שהמחקר מאיר את הפוטנציאל שיש לשימוש בגישת שמ"א ביצירת שיתופי פעולה בין רשויות ממשלתיות ופרטיות (כמו רשות החשמל), ארגונים סביבתיים, רשויות מקומיות, יזמים וקובעי מדיניות באופן שמקדם מדיניות מקיימת ומגדיל את התרומה המצרפית. הצגת ערכי שמ"א השונים מקנה, ליזמים, לבעלי השטח ולקובעי המדיניות במספר מישורים: ראשית, תורמת כלים נוספים בעת ביצוע המאזן בין ההכנסות וההוצאות. שנית, תורמת להעלאת המודעות להשפעה של חלופות שונות על אספקת שמ"א שהם מוצרים ציבוריים בעלי חשיבות בטווח הארוך, שלישית, מספקת לרשויות המדינה בסיס מידע שמאפשר לבחון את הנושאים לפני ההחלטה לגביהם גם בטווח הארוך. אנו סבורים שעל בסיס מידע זה יהיה ניתן לתעדף טוב יותר את ההחלטה באופן שישפר וייתן תמריץ לשקלל את התועלות הציבוריות בעת בחירת החלופות האופטימאליות מבחינתם. או יאיר נקודות חשובות שצריך לשקול אותם ולכלול אותם בהערכה הכוללת (כולל התייחסות לערך של הישוארות הקרקע שטח פתוח).

בשאלת חקר זו, ניתן לראות שקיימת דינאמיקה משמעותית של שינויים במדיניות מקבלי ההחלטות בישראל ובעולם. במקביל, ההתפתחויות הטכנולוגיות הרלוואנטיות מתרחשות אף הן בקצב מהיר ומשנות הן את פוטנציאל יישום החלופות, והן את משמעותן הכלכלית, ומתוך כך גם את ההשלכות הסביבתיות-חברתיות. בחלק הבא מוצגות המלצות למחקרי המשך ולפעולות להתעדכנות בשינויים ומשמעויותיהם ולהטמעת משמעויות אלו בדרג מקבלי ההחלטות.

המלצות לפעולות ומחקרי המשך

ההמלצות להלן גובשו במהלך ביצוע הפרויקט, תוך עיבוד הממצאים ובעקבות דיונים ופגישות עם בעלי עניין ומומחים בנושא.

1. להציג בפני מקבלי ההחלטות את הממצאים כדי לשכנעם בצורך בשינוי מדיניות התכנון העתידי, הרגולציה והתמרוץ של ייצור החשמל ורשתות ההולכה לכיוון של העדפת ייצור מבוזר של חשמל פוטו-וולטאי, בעיקר על גגות.

2. להבטיח התייחסות לערכי שמ"א בלתי סחירים וחסרי ערך שוק המהווים מוצר-ציבורי, במהלך שיקולי קבלת ההחלטות להקמת מיזמים סולאריים (ואחרים). זאת באמצעות הערכה איכותנית-מקצועית, בחינת חלופות (כולל חלופת אפס) או שיטות אחרות.

3. מומלץ כי גופים מובילים בשמירה על איכות הסביבה בישראל כמשרד להגנת הסביבה ומשרדים העוסקים בתחום האנרגיה הסולארית, רשות הטבע והגנים, ארגוני שמירת טבע וסביבה ומוסדות מחקר יובילו למידה של המגמות והטכנולוגיות המתפתחות בעולם בתחום הפוטו-וולטאי, כמו:

3.1. המגמה הגוברת לייצור מבוזר של חשמל פוטו-וולטאי [DG – Distributed Generation],

שיהיה בעיקרו על גבי גגות ומתקנים שלובי-מבנה. מגמה זו נתמכת בעולם על-ידי מערכות

סובסידיות דרך הסדרי מונה-נטו [Net Metering], ואמצעים נוספים. מגמה זו הולכת

וגוברת, בעיקר עקב לחץ ציבורי [ראו למשל: Warrik 2015 וסדרת כתבותיו בנושא ב- Washington Post וכן Peter

[Kind – EEI 2013, Owens 2012]

3.2. פיתוח של תכנון והתאמת תשתיות ההולכה הקיימות, שהן כיום חד-כיווניות, תוך התאמתן

לזרימה דו-כיוונית ומשתנה באופן בטוח ואמין, כך שיאפשרו יישום הייצור המבוזר, בעיקר

על גגות ומתקנים פוטו-וולטאים שלובי-מבנה.

3.3. הכללת פיתוח "רשתות חכמות" [Smart Grids] בתשתיות ההולכה והחלוקה [מוסד שמואל נאמן

[2013]

3.4. הופעת טכנולוגיות שמעלות באופן משמעותי את ניצולת הלוחות הפוטו-וולטאים [Fraunhofer

[2015]

3.5. פיתוח אמצעי אגירת אנרגיה יעילים וזולים [Hoppmann et al. 2014] שמפחיתים משמעותית את

התלות במערכות הולכה מרכזיות ועידוד ליישום אמצעים אלו בדומה לנעשה בעולם [Breen

[2013, Neubauer & Simpson]

3.6. מגמת התכנון העתידי של ייצור החשמל ורשתות ההולכה, על בסיס הצריכה הממוצעת ולא

על בסיס צריכת השיא.

3.7. בחינת ההשפעה הפוטנציאלית של הקמת מתקנים פוטו-וולטאים בקנה-מידה רחב על

מיקרו-אקלים ו/או על האקלים הגלובלי. זאת משום שהלוחות הפוטו-וולטאים, בהיותם

כהים, הם בעלי החזר קרינה נמוך [Low reflectivity] וכן הם ממירים חלק ניכר מאנרגיית

הקרינה הנבלעת לחום ולכן עלולה להיות להם השפעה על שירות מערכת זה. נושא שעדיין

לא נבדק.

4. מומלץ לאותם גופים לבחון כלים חדשים להערכת שמ"א בהקשר זה, המפותחים כעת בעולם, כדוגמת המערכת המוקמת על-ידי ה- UKNEA בבריטניה [Bateman et al. 2014].

5. מומלץ להקצות משאבים למחקר אקולוגי ארוך טווח על השפעת מתקנים פוטו-וולטאים בשטחים פתוחים וחקלאיים על המגוון הביולוגי ובחינת דרכי ניהול שטח שיפחיתו את הנזק.

6. במידה וממשיכה המגמה של הקמת מתקנים קרקעיים, מומלץ לבחון את מצאי שטחי הקרקעות המופרות, התאמתן להקמת מתקנים פוטו-וולטאים והצעת מסלולי תעדוף מתאימים שימעיטו את הפגיעה בשירותי המערכת האקולוגית.

לסיום, אנו סבורים שבמהלך ביצוע הפרויקט, קודמה ההטמעה של גישת שמ"א ושיח "השפעת המתקנים הפוטו-וולטאיים על הסביבה" בקרב בעלי העניין ואף בקרב קובעי מדיניות. אנו תקווה שהתהליך יתפוש תאוצה ויתרום לניהול והקמה של שדות סולאריים באופן שקול שמפחית את הפגיעה בשטחים הפתוחים ושירותי המערכת האקולוגית ויתרום לשימוש בגישת שמ"א באופן מושכל.

11. מילון מונחים

- **וואט, קילוואט, מגהוואט (W, Kw, Mw)** - יחידות הספק של אנרגיה מיוצרת, נצרכת ו/או מסופקת ביחידת זמן. 1 וואט, לדוגמא מוגדר כהספק של 1 ג'אול לשנייה.
- **קילוואט – שעה, קוט"ש (KWH - kilowatt-hour)** - כמות אנרגיה חשמלית מיוצרת, נצרכת ו/או מסופקת לאורך זמן נתון, שעה, שנה וכד'. לדוגמא: 1 קוט"ש [היחידה המשמשת לחיוב צריכת חשמל] = 1000 וואט כפול 3,600 שניות בשעה = 3,600,000 ג'אול (יחידת מידה לאנרגיה).
- **הספק מותקן, היחידה "קילו-וואט-פיק" (Kwp - kilowatt peak)** - ההספק החשמלי בזרם ישיר [DC] של פאנל סולארי בתנאים תקינים [STC], כולל ספקטרום הקרינה וטמפרטורת התאים הסולאריים. מדד זה נותן בסיס להשוואה בין דגמים ויצרנים שונים של פאנלים סולאריים.
- **שטף קרינה (Insolation)** – כמות קרינת השמש הפוגעת בפני כדור הארץ, או לצורך הדיון בפאנל פוטוולטאי, נמדדת ביחידות של אנרגיה ליחידת שטח ליחידת זמן, למשל קילו-וואט/מ"ר/שנה.
- **נצילות (Efficiency)** - אחוז קרינת השמש שהפאנל הסולארי הופך לחשמל. לדוגמא, אם שטף הקרינה הוא 1,000 וואט לכל 1 מ"ר, ויש לנו פאנל סולארי בשטח של 1 מ"ר ובנצילות של 10%, הפאנל יפיק הספק חשמלי של 100 וואט.
- **פאנל (מודול סולארי) פוטו-וולטאי (Photovoltaic Module)** - אוסף תאים סולאריים מחוברים בטור ובמקביל בתוך מסגרת קשיחה או אלסטית.
- **מערכת פוטו-וולטאית (Photovoltaic System)** - אוסף של מודולים סולאריים מחוברים ביניהם ודרך ממיר-מתח אל רשת צריכת החשמל.
- **מערכת סולארית על רשת (On-grid)** - מערכת סולארית המחוברת דרך ממיר מתח אל רשת חשמל בזרם חילופין.
- **תעריף הזנה (FIT - Feed In Tariff)** – תעריף קבוע לייצור אנרגיה מתחדשת לפי החלטה ממשלתית, שמשולם ליצרן לתקופת זמן קצובה.
- **שוויון רשתי (Grid parity or socket parity)** - מצב שבו מקור אנרגיה חלופי מייצר אנרגיה חשמלית בעלות (LCoE – Levelized Cost) שווה או נמוכה מזו הנמכרת ברשת החשמל.
- **ממיר מתח (Inverter)** – מתקן ההופך את הזרם הישיר המופק על-ידי מערכת פוטוולטאית לזרם חילופין.
- **מאזן המערכת (BOS - the Balance Of System of PV)** - כל רכיבי המערכת הפוטו-וולטאית, פרט לפאנלים הפוטו-וולטאיים עצמם. זה כולל עמודים, כבלי הולכה, ממירים, שנאי מתח גבוה, לוחות חשמל, מבנים יבילים לציווד החשמל, גדר ואמצעי תאורה ואבטחה.
- **ניתוח מחזור חיים (LCA- life-cycle analysis, eco-balance, and "cradle-to-grave" analysis)** - טכניקה (כלי ניתוח) להערכת ההשפעות על הסביבה של מוצר או מערכת הכוללת אומדן כל התשומות והתפוקות לאורך מחזור החיים, למן השגת או רכישת חומרי הגלם ולאורך שלבי ייצור המוצר, השימוש בהם ועד לטיפול עם סיום השימוש, מיחזור והחיסול הסופי ("מעריסה לקבר"). בכל שלב, הניתוח כולל הערכת פוטנציאל ההשפעה על הסביבה.

1. Alameda County Government. 2011. [A Comparative Discussion of Utility Scale Solar versus Distributed Solar](#).
2. Alsema, E., Fraile, D., Frischknecht, R., Fthenakis, V., Held, M., Kim, H.C., Pölz, W., Raugei, M., and de Wild Scholten, M. 2009. [Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity](#). Subtask 20 "LCA", IEA PVPS Task 12.
3. Aarhus. 1998. [Convention on access to information, public participation in decision-making and access to justice in environmental matters](#).
4. Asano, H.; Yajima, K. and Kaya, Y. 1996. Influence of photovoltaic power generation on required capacity for load frequency control. IEEE Transactions on Energy Conversion (IEEE Power & Energy Society) 11 (1): 188–193.
5. Bateman et al. 2014. UK National Ecosystem Assessment Follow-on. Work Package Report 3: Economic value of ecosystem services. UNEP-WCMC, LWEC, UK.
6. Bartelmus, P. 2009. The cost of natural capital consumption: Accounting for a sustainable world economy. Ecological Economics 68, 1850–1857.
7. Betts, R. A. 2000. [Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo](#). Nature, 408(6809), 187-190.
8. BRE. 2014. Biodiversity Guidance for Solar Developments. Eds. G. E. Parker and L. Greene.
9. Breen, M. 2013. The Future of Energy Storage is Behind the Meter. [Green techMedia - <http://www.greentechmedia.com/articles/read/the-future-of-energy-storage-is-behind-the-meter>]
10. Del Carmen Torres-Sibille, A., Cloquell-Ballester, V. A., Cloquell-Ballester, V. A., and Ramírez, M. Á. A. 2009. Aesthetic impact assessment of solar power plants: An objective and a subjective approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(5), 986-999.
11. Dumanski, J., Peiretti, R., Benetis, J., McGarry, D. and Pieri, C. 2006. [The paradigm of conservation tillage](#). Proc. World Association. Soil and Water Conservation, P1: 58-64.
12. EEI - Peter Kind. 2013. Disruptive Challenges- Financial Implications and Strategic Responses to a Changing Retail Electric Business.
13. Ekboir, J.M. 2003. Research and technology policies in innovation systems: zero tillage in Brazil (CIMMYT Economics Program, Economist for Latin America, Mexico) Research Policy, 32(4): 573–586.
14. Eshel, G., Lifschitz, D., Bonfil, D.J. and Stenberg, M. 2014. Carbon exchange in rainfed wheat fields: effects of long-term tillage and fertilization under arid conditions. Agriculture, Ecosystem, Environment, 195:112-119.
15. Fraunhofer ISE, 2015. Photovoltaics Report
16. Fthenakis, V. M., Kim, H. C., and Alsema, E. 2008. [Emissions from photovoltaic life cycles](#). Environmental science & technology, 42(6), 2168-2174.

17. Fthenakis, V.M. and Kim, H.C. 2009. [Land use and electricity generation - a life-cycle analysis](#). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6): 1465 – 1474.
18. Fthenakis, V.M. and Kim, H.C. 2011. [Photovoltaics: Life-cycle analyses](#). Solar Energy, 85(8): 1609 – 1628.
19. Hoppmann, J., Volland, J., Schmidt, T. S., and Hoffmann, V. H. 2014. [The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems](#) – A review and a simulation model. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 1101-1118.
20. Horváth, G., Kriska, G., Malik, P. and Robertson, B. 2009. Polarized Light Pollution: A New Kind of Ecological Photo-pollution. Frontiers in Ecology and the Environment, 7(6): 317 – 325.
21. Horváth, G., Kriska, G., Malik, P. and Robertson, B. 2014. Anthropogenic Polarization and Polarized Light Pollution Inducing Polarized Ecological Traps in Horváth, G., & Horváth, G. (Eds.). (2014). Polarized light and polarization vision in animal sciences. Springer Berlin Heidelberg.
22. Horváth, G., & Horváth, G. (Eds.). 2014. Polarized light and polarization vision in animal sciences. Springer Berlin Heidelberg.
23. IEA (International Energy Agency) 2014^a. The Power of Transformation, Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems. Paris 2014.
24. IEA (International Energy Agency) 2014^b. [Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy](#), 2014 edition. Energy Technology Perspectives. OECD/IEA France.
25. IEC (International Electrotechnical Commission) 2007. [Efficient Electrical Energy Transmission and Distribution](#). Geneva, Switzerland.
26. IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
27. ISO (International Organization for Standardization) Report. 14040:2006 (2en) standard. [Environmental management-life cycle assessment-principles and framework](#).
28. ISO (International Organization for Standardization) Report. 14044:2006(1en) standard. [Environmental management-life cycle assessment-principles and framework](#).
29. Jacobson, M.Z., Delucchi, M.A., Ingraffea, A.R., Howarth, R.W., Bazouin, G., Bridgeland, B., Burkart, K., Chang, M., Chowdhury, N., Cook, R., Escher, G., Galka, M., Han, L., Heavey, C., Hernandez, A., Jacobson, D.F., Jacobson, D.S., Miranda, B., Novotny, G., Pellat, M., Quach, P., Romano, A., Stewart, D., Vogel, L., Wang, S., Wang, H., Willman, L. and Yeskoo, T. 2014. A roadmap for repowering California for all purposes with wind water and sunlight. Energy 73: 875-889.

30. Jax, K. 2010. Ecosystem Functioning. Cambridge, Cambridge University Press.
31. Lago, M., Moran, D. and MacLeod, M.J. 2006. Exploring the meaning of disproportionate costs for the practical implementation of the Water Framework Directive (No. 46005).
32. Lakhani, R., Doluweera, G. and Bergerson, J. 2014. Internalizing land use impacts for life cycle cost analysis of energy systems: A case of California's photovoltaic implementation. *Applied Energy*, 116(c): 253 – 259.
33. Layke, C. 2009. Measuring nature's benefits: A preliminary roadmap for improving ecosystem service indicators. WRI Working Paper. World Resources Institute, Washington, DC.
34. Lenert, A., Bierman, D.M., Nam, Y., Chan, W.R., Celanović, I., Soljačić, M. and Evelyn, N.W. 2014. A nanophotonic solar thermophotovoltaic device, *Nature nanotechnology*, 9: 126-130.
- Masson, G., Sinead, O. and Manoël, R. 2014. [Global market outlook for photovoltaics 2014-2018](#). EPIA (European Photovoltaic Industry Association) and Inter Solar.
35. Masson, V., Bonhomme, M., Salagnac, J. L., Briottet, X., and Lemonsu, A. 2014. [Solar panels reduce both global warming and urban heat island](#). *Frontiers in Environmental Science*, 2, 14.
36. Martin-Ortega, J., Giannoccaro, G. and Berbel, J., 2011. Environmental and resource costs under water scarcity conditions: an estimation in the context of the European Water Framework Directive. *Water Resources Management*, 25(6), pp.1615-1633.
37. Meyers, G. 2015. [Building-Integrated Photovoltaics Bring Great Promise](#). *Clean Technica*.
38. Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-being, Our Human Planet – Summary for Decision Makers. Reid, W.V. (ed.) Island Press, Washington DC.
39. Nemet, G. F. 2009. [Net radiative forcing from widespread deployment of photovoltaics](#). *Environmental science & technology*, 43(6), 2173-2178.
40. Neubauer, J. & Simpson, M. 2013. Deployment of Behind-The- Meter Energy Storage for Demand Charge Reduction. NREL
41. NREL (National Renewable Energy Laboratory). 2014. 2013 Renewable Energy Data Book. U.S. Department of Energy.
42. O'Malley, M.P., Lee-Brooks, K. and Medd, H.B. 2013. The Global Economic Impact of Manta Ray Watching Tourism. *PLoS ONE* 8(5).
43. Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., & Heath, G. 2013. Land-use requirements for solar power plants in the United States. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
44. Owens, D.K. 2012. Distribution 2020 – ppt. in: EEI - 2012-eei-board-and-chief-executives-meeting
45. Temby, O., Kapsis, K., Berton, H., Rosenbloom, D., Gibson, G., Athienitis, A. and Meadowcroft, J. 2014. Building-Integrated Photovoltaics: Distributed Energy

- Development for Urban Sustainability, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 56(6): 4-17.
46. Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L. and Grace, P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 187: 87-105.
 47. Parkinson, G. 2015. Why solar costs will fall another 40 in just two years. *Renew Economy*. <http://reneweconomy.com.au/2015/why-solar-costs-will-fall-another-40-in-just-two-years-21235>.
 48. Peschel, T. 2010. Solar Parks – Opportunities for Biodiversity. *Renews Special Issue: 45*. German renewable Energies Agency. [Solar Parks – Opportunities for Biodiversity Peschel 2010.pdf](#)
 49. Rotenberg, E. and Yakir, D. 2010. Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327(5964), 451-454.
 50. Schneider, F., Steiger, D., Ledermann, T., Fry P. and Rist, S. 2012. No-Tillage Farming: Co-Creation of innovation through network building, land degradation and development, 23(3): 242-255.
 51. Shofrony, G. 2014. Towards a Solar Rooftop Reform: How Israel's Residential Photovoltaic Potential can Upscale the Economy. MBA, Hebrew University.
 52. Solangi, K.H., Islam, M.R., Saidur, R., Rahim, N.A. and Fayaz, H. 2011. A review on global solar energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4): 2149 – 2163.
 53. TEEBAF - [The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Agriculture and Food. Concept note](#). 2014.
 54. Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. and Gekas, V. 2005. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33(3): 289 – 296.
 55. Tsuchida, B., Sergici, S., Mudge, B., Gorman, W., Fox-Penner, P. and Schoene, J. 2015. [Comparative Generation Costs of Utility-Scale and Residential-Scale PV in Xcel Energy Colorado's Service Area](#). Prepared for First Solar. The Brattle Group.
 56. Turney, D. and Fthenakis, V. 2011. [Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3261-3270.
 57. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy – Report. 2004. [What is the energy payback for PV?](#)
 58. UK National Ecosystem Assessment (UK NEA). 2011. The UK National Ecosystem Assessment: Chapter 2: Conceptual Framework and Methodology. UNEP-WCMC, Cambridge.
 59. UKNEA WP3. 2014. Economic value of ecosystem services-Final Report.
 60. UNEP (United Nations Environment Programme). 2009. Report from the workshop on ecosystem service indicators: Developing and mainstreaming ecosystem service indicators for human wellbeing: Gaps, opportunities and next steps. UNEP World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.

61. Van Beukering, P.J.H., Slootweg, R. and Imerzeel, D. 2008. Valuation of ecosystem services and strategic environmental assessment, influential case studies. Commission for Environmental Assessment, the Netherlands.
62. Vardimon, R. 2011. Potential for Distributed Photovoltaic Electricity Production in Israel. Renewable Energy. 36 (2): 591-594.
63. Vermeulen, S., Koziell, I., 2002. Integrating Global and Local Values. A Review of Biodiversity Assessment. IIED, London.
64. Warrick, J. 2015. [Utilities, sensing threat, put squeeze on booming solar roof industry.](#)
65. Wissen, U. and Grêt-Regamey, A. 2009. [Identifying the regional potential for renewable energy systems using ecosystem services and landscape visualizations.](#) IALE Conference 2009.
66. Workshop in Brussels from 22-23 January 2014, to develop the structure and define the content for a forthcoming study entitled 'The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for Agriculture and Food (TEEB-AF).
67. World Bank. 2015. [World Development Indicators 2015.](#) Washington, DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
68. Zhang, Y. and Li, Y. 2005. Valuing or pricing natural and environmental resources? Environmental Science & Policy 8: 179–186.

Websites:

69. [CO₂ Emissions Calculator in Sun Earth Tools](#)
70. [Contingent Valuation Method](#) - Ecosystem Valuation Website
71. Ecosystem Services: Integrating Science and Practice. Wageningen, the Netherlands. [4th ESP Conference](#). October 2011
72. UK NEA - [United Kingdom National Ecosystem Assessment](#)
73. [The Global Soil Forum](#) 2011

42. אדלר, מ., בלבן, ע., מנינגר, ד. 2011. מסמך נופי סביבתי למתקן פוטו וולטאי – ברכיה, חברת גיאוטבע בע"מ, יעוץ סביבתי.
43. בן-דויד, א. ובוים, ד. 2015. תמ"א 10/ד/10: בחינת יישום התכנית והצורך בעדכונה בחלף 4 שנים מאישורה - התייחסות החברה להגנת הטבע.
44. בקר, נ. 2013. התועלות הכלכליות של שירותי המערכת האקולוגית לפי ייעודי קרקע לשימושים אלטרנטיביים. הוגש למשרד להגנת הסביבה.
45. בקר, נ., רוזנטל, ג. וגבאי, ד. 2012. חישוב העלויות החיצוניות של זיהום אויר מתחבורה ומתעשייה בישראל. המשרד להגנת הסביבה.
46. ברגר, ד. 2013. השוק הסולארי מגמות פיתוח, מצגת בכנס הרצליה ה – 13.
47. ברגר, ד. 2013. עשה ואל תעשה בפיתוח חדשנות ישראלית בשווקים שונים, מצגת בכנס הרצליה ה – 13.
48. ברגר, ד. 2013. תעשייה סולארית ומו"פ, מצגת בכנס הרצליה ה – 13.
49. גרינצוויץ, ז. ווייץ, י. 2014 [השפעת ממשקי חקלאות שונים במרחב שקמה על מאזן גזי החממה.](#)
דוח עבור פרויקט שירותי המערכת האקולוגית במרחב שקמה. מכון דש"א

50. דולב, ש., סגל, נ., כהן-פארן, י., רוזנטל, ג. וגבאי, ד. 2013. [אפס פליטות פחמן בישראל](#) – חזון למשק האנרגיה לשנת 2040 – הסבת משק החשמל של ישראל לנטול פליטות גזי חממה. הפורום הישראלי לאנרגיה (כולל נספחים).
51. דרסלר, ר. מנהל התכנון. 2015. תכנית מתאר ארצית למתקנים פוטו וולטאיים תמ"א 10/ד/10 בחינת יישום התכנית בחלוף 4 שנים מאישורה.
52. האן, א. 2009. בין המצוי לרצוי – יחס רשויות המדינה לשמירה על שטחים פתוחים. מקרקעין ח/1.
53. המשרד להגנת הסביבה, 2014. [הטיפול בזיהום אוויר ממקורות נייחים](#). דו"ח שנתי 65ג.
54. הפחתת פליטות גזי חממה וייעול צריכת האנרגיה במשק - הצעה להחלטה לממשלה 20 ספטמבר 2015.
55. ועדת קנדל 2013. [ועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות, המלצות הצוות הבין משרדי](#). המועצה הלאומית לכלכלה, משרד ראש הממשלה.
56. ורדימון, ר. 2010. [הערכת הפוטנציאל לייצור חשמל פוטו-וולטאי מבוסס על גגות בתים בישראל](#). מכון דש"א.
57. זליכה, י. 2012. המחיר המשקי האופטימלי למערכת פוטו-וולטאית המותקנת על גגות – ניתוח כדאיות משקית-כלכלית על בסיס Grid Parity.
58. ניב, ר. 2013. ייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות בישראל – מעקב אחר יישום החלטת הממשלה מס' 4450, מרכז המחקר והמידע, הכנסת, מוגש לוועדת הפנים והגנת הסביבה.
59. מוסד שמואל נאמן. 2013. רשת חשמל חכמה כמנוע צמיחה לתעשייה בישראל.
60. מור, ע., סרוסי, ש. 2008. [הערכת עלות תועלת משימוש באנרגיה מתחדשת בישראל 2008 – 2030](#). אקו אנרגי ווארגון גרינפיס, סניף ים-תיכון.
61. מור, ע., סרוסי, ש. ולסטר, י. 2008. אנרגיה חלופית ושטחים פתוחים. מכון דש"א.
62. מור, ע., סרוסי, ש. ולסטר, ב. 2015. ניתוח חסמים והמלצות למדיניות לקידום אנרגיה סולארית במרחב הבנוי. מוגש לחברה להגנת הטבע.
63. מחלת ה-PID בפאנלים סולאריים. מגזין "תשתיות ואנרגיה", אפריל 2014.
64. מכון דש"א. 2015. סקר דעות התושבים על חלופות פריסה שונות של מתקנים פוטו-וולטאיים במרחב שקמה. חלק מפרויקט שירותי המערכת האקולוגית במרחב שקמה.
65. משרד התחבורה, 2012, נוהל פר"ת 2012 הנחיות לבדיקת כדאיות פרויקטים תחבורתיים.
66. משרד התשתיות הלאומיות. 2014. מדיניות משרד התשתיות הלאומיות לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך ייצור החשמל בישראל. עדכון מפברואר 2014.
67. סלונים, א. 2013. מו"פ ותעשייה סולארית בישראל לנוכח המהפכה בענף הפוטו-וולטאי. כנס הרצליה ה-13.
68. פארטו הנדסה, 2010. אמידת ערך קרקע להקמת מתקנים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות. מוגש למשרד להגנת הסביבה.
69. פילקובסקי, א. וקלס, ק. 2014. [מתכנון לביצוע: פרויקט מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית](#). המארג. ירושלים.
70. קוניאק, ג.ח. 2014. סל שירותי מערכת אקולוגית נבחרים ביערות קק"ל בצפון הנגב. הרצאה בכינוס השנתי ה-42 של האגודה הישראלית לאקולוגיה ומדעי הסביבה.
71. רוזנטל, ג., יהושע, נ., היימן, ב. וקשטן, א. 2009. אומדן הערך הכלכלי של שטחים פתוחים. מכון דש"א.
72. רון, י. 2014. [חסמים בפני הקמת מתקנים פוטו-וולטאיים קטנים ובינוניים על גגות בניינים](#). מכתב ליושב-ראש ועדת המשנה של ועדת הכללה לנושא אנרגיות מתחדשות. הכנסת מרכז המחקר והמידע.
73. רותם, ד. 2011. השפעות אקולוגיות אפשריות למיקום תחנות סולאריות הקמתן ותפעולן, רשות הטבע והגנים.

74. רשות החשמל 2012. שווי קרקע לייצור חשמל סולארי במשבצות ישובים חקלאיים בהתאם להסדרת הרשות לשירותים ציבוריים חשמל.
75. רשות החשמל. 2014. החל מ 2015 – רשות החשמל תאשר פרויקטים סולאריים על בסיס המחיר הנמוך ביותר.
76. רשות החשמל. 2015. הודעה לעתונות: מליאת רשות החשמל החליטה על כמויות ענק לייצור מאנרגיות מתחדשות בתעריפי תמחור מדורגים בהיקף MW114.
77. שגיא, ה. ועברון, ר. 2014. סקר ["היחס לסביבה במרחב שקמה"](#), חלק מפרויקט שירותי המערכת האקולוגית במרחב שקמה, מכון דש"א בשיתוף פעולה עם התכנית החינוכית של רשות הטבע והגנים "השטחים הפתוחים הם הבית שלי".
78. שגיא, ה., רמון, א., שגיא, י., וייל, ד., חרמוני, ח. ורוזנטל ג. 2015. [השפעת ממשקים חקלאיים שונים בשדות הבעל על שירותי המערכת האקולוגית במרחב שקמה](#). מחקר חלוץ ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון ובניהול מרחב שקמה. מכון דש"א.
79. שמש-עדני, א., פליישר, ע. וצור, י. 2002. הערך הכלכלי של סוגי נוף חקלאי. יד הנדיב, נקודת ח"ן.
80. תמ"א 10/ד/10, תכנית מתאר ארצית למתקנים פוטו-וולטאים, דצמבר 2010.

אתרי אינטרנט:

81. [המארג](#)
82. [מכון דש"א](#)
83. [מנהלת נחל שקמה](#).

13. נספחים

נספח 1 - רשימת שירותי המערכת האקולוגית והתועלות מהשירות

שירותי מערכת אקולוגית	תועלות מהשירות
סוג שירות: אספקה	
אספקת גידולים חקלאיים: פלחה, גידולי שדה וגן, מטעים	מזון, סיבים, מספוא למקנה, פרחים מסחריים וצמחי נוי
אספקת מרעית לחיות משק (בקר, צאן, דבורי דבש)	בשר, עור, צמר, מוצרי חלב, דבש
אספקת מאכלי בר כגון פטריות, עשבי תיבול, ציד, דגה	מזון
אספקת ביומסה של צמחים מעוצים: עצים, שיחים	חומרים לבניה, בישול, חימום
מים	מים לצריכה ישירה (בישול ושימושים ביתיים נוספים), מים למקנה, מים לתעשייה, מים לחקלאות, "מים לטבע"
אספקת משאבים רפואיים מצמחים, פטריות ובע"ח	מוצרים ביוכימיים, תרופות מן הטבע
אספקת משאבים גנטיים מצמחים, פטריות ובע"ח	פיתוחים ושימושים רפואיים ומחקריים, שיפור גידולים חקלאיים ועמידותם למחלות ומזיקים
אספקת דברי קישוט אספקת פריטי קישוט מצמחים ובע"ח	חומרים לאמנות ולתכשיטים
סוג שירות: וויסות	
וויסות אקלים מקומי	וויסות טמפרטורה ולחות של האויר (כולל אספקת צל)
וויסות אקלים גלובלי (כולל לכידת פחמן)	אקלים יציב, מיתון התחממות גלובלית
האבקת גידולים חקלאיים	ייצור חקלאי
וויסות מחלות ומזיקים	מיתון הפצה והתפרצות של מחלות טפיליות בבני אדם, מקנה וחיות בר, מיתון הפצה והתפרצות של מחלות ומזיקים של גידולים
וויסות מינים זרים/פולשים	בקרה ומיתון נזקים ממיני צמחים וחיות בקטגוריה של מינים זרים/פולשים
וויסות אסונות טבע ואירועי קיצון	וויסות שריפות, וויסות סופות, וויסות שטפונות והצפות, וויסות עוצמת רוחות
וויסות (מחזור) המים	הקצאה של מי הגשמים להתאדות, לחות קרקע, נגר עילי ותחתית, מילוי אקוויפרים, לגופי מים ומאגרים, לבריכות ולשלוליות חורף
וויסות איכות מים, אויר וקרקע	מיתון זיהום באויר, במים, בקרקע
וויסות סחיפת קרקע	שמירת איכות וכמות קרקע, שמירה על איכות מים, ייצוב קו החוף, מיתון סופות חול ואבק
סוג שירות: תרבות	
התנסות אקטיבית (פעילה) של בני אדם עם מערכות אקולוגיות	תועלות פיזיות: נופש ופנאי (לדוגמא: טיולים, שיט), תיירות, ספורט
התנסות אקטיבית (פעילה) של בני אדם עם מערכות אקולוגיות	תועלות אינטלקטואליות: מחקר, חינוך
התנסות פאסיבית (צפייה והתבוננות) של בני אדם עם מערכות אקולוגיות	תועלות מופשטות: אסתטיקה (הנאה מנופים יפים), השראה (רוחנית, דתית, יצירתית, תרבותית), מורשת, זהות, תחושת שייכות למקום, ערך הקיום (existence value) וערך פנימי (intrinsic value)
סוג שירות: תהליכים אקולוגיים תומכים (שירותי תמיכה לשעבר)	
יצרנות ראשונית	
מחזור המים	
קיום הקרקע (כולל ייצור ופוריות)	
מחזורי נוטריינטים	
בקרת הרכב אטמוספירה	
תהליכים אבולוציוניים	
יחסי גומלין אקולוגיים	
קיום מגוון ביולוגי ובתי גידול	
* מתוך אתר המארג מעודכן לינואר 2016	

נספח 2 - רשימת כנסים, סדנאות, ימי עיון, דיונים, וכנסים בין לאומיים בהם הוצג הפרויקט

תאריך	שם הכנס	מיקום
16-18.12	הוועידה השנתית למדע וסביבה 2012	אוניברסיטת תל אביב
7-9.10.13	הוועידה השנתית למדע וסביבה 2013	פקולטה לחקלאות
16-18.9.14	הוועידה השנתית למדע וסביבה 2014	אוניברסיטת בר-אילן
12-14.10.15	הוועידה השנתית למדע וסביבה 2015	האוניברסיטה העברית בירושלים
25-26.11.15	ועדת מומחים בנושא מדדי חקלאות מקיימת	המועצה לישראל יפה, תל אביב
כנסים בין לאומיים שבהם הצגנו את הפרויקט		
17-19.2.14	Workshop Agrosystem Services 2014	Research (ZALF) e.V. Müncheberg, Germany
8-12.9.14	7th Conference of the Ecosystem Services Partnership - Local action for the common good	Costa Rica
17-20.11.14	The International Conference on Drylands ,Deserts and Desertification (DDD)	מדרשת בן גוריון, שדה בוקר

נספח 3 - דיונים רבי משתתפים בקרב בעלי עניין וקובעי מדיניות בהם הוצג הפרויקט

דיונים רבי משתתפים בהם הוצג הפרויקט			
תאריך	נושא	משתתפים ותפקידיהם	מיקום
8.2.12	הצגת הרעיון לפרויקט בשיבת מועצת שער הנגב	אלון שוסטר (ראש מועצת שער הנגב), חיים חרמוני (רכז הועדה החקלאית שער הנגב), שמעון קרן צבי (גזבר המועצה), יולי חיימוביץ (מהנדס המועצה), יואב שגיא, אורי רמון ואיריס האן (מכון דש"א).	מ.א. שער הנגב
3.5.12	הצגת הפרויקט והרעיונות לשאלות החקר ברשות הטבע והגנים	יתיר שמיר (מנהל מרחב החוף והשפלה), איל מיטרני (ממונה תחום קהל וקהילה, מחוז מרכז), יריב מליחי (אקולוג מחוז מרכז), קובי סופר (פקח אזורי) ואורי רמון (מכון דש"א).	רשות הטבע והגנים
13.5.12	הצגת הרעיון לפרויקט במשרד החקלאות מחוז דרום	אלון שוסטר (ראש מנהלת שקמה), עפר שטיינץ (רט"ג), יואב מורג וישראל רוזיליו (משרד החקלאות מחוז דרום), חיים חרמוני (מרכז הוועדה החקלאית, מ.א. שער הנגב), יואב שגיא, איריס האן (מכון דש"א)	דיון במשרד החקלאות בגילת
28.6.12	מליאת מנהלת פארק שקמה - דיון לגבי התכנית לפרויקט, והתקציב	אלון שוסטר (ראש מנהלת שקמה), עופר שאולקר (רשות ניקוז שקמה-בשור), רענן אמויאל (מנהל תחום תכנון, משי' החקלאות), מיקי ליפשיץ (מרכז המועצות האזוריות), יואב מורג (מנהל מחוז הנגב, משרד החקלאות), איל יפה (המשרד להג"ס), שי טחנאי (החברה להגנת הטבע), גיל סיאקי (קק"ל)	ישיבת מנהלת שקמה
18.10.12	הצגת הפרויקט לד"ר רודולף דה גרוט - מומחה שמ"א עולמי ומומחי שמ"א נוספים בכנס אקולוגיה וסביבה	ד"ר גילי קוניאק (עצמאית שמ"א), פרופ' דניאל אורנשטיין (טכניון), פרופ' תמר דיין (אוני' תל אביב), נועה שטיינר (המשרד להג"ס) יואב שגיא, אורי רמון, ד"ר אמיר פרלברג והילה שגיא (מכון דש"א)	אוניברסיטת תל אביב - כנס אקולוגיה וסביבה

דיונים רבי משתתפים בהם הוצג הפרויקט			
תאריך	נושא	משתתפים ותפקידיהם	מיקום
14.11.12	וועדת העבודה של פרויקט שקמה מפגש ראשון - גיבוש משותף של תכנית העבודה, אישורה ועזרה בגיוס משאבים	חיים חרמוני (רכז ועדה חקלאית שער הנגב), שוקי אורבך (מנכ"ל מ.א. חוף אשקלון), אודי נתן (מנהל תיירות ויזמות מ.א. בני שמעון), טלי סטרץ (מתכנתת - משרד החקלאות) מיטל רז (מתכנתת - רשות ניקוז נחל שקמה-בשור), מירה אבנרי (מתכנתת - מחוז מרכז רט"ג), יריב מליחי (אקולוג מחוז מרכז רט"ג), קרן קרס (רכזת תחום שמ"א, מאר"ג), עודד נצר (אקולוג מחוז דרום, המשרד להג"ס), יואב שגיא, אורי רמון, איריס האן והילה שגיא (מכון דש"א)	מ.א. שער הנגב
21.11.12	הצגת הפרויקט ובחינת השיתוף של משרד החקלאות בפרויקט שמ"א-שקמה	רענן אמואל (מנהל תחום תכנון), קאיד אבו גאנס (מתכנן), ד"ר אלי ארגמן (חוקר - האגף לשימור קרקע והתחנה לחקר הסחף) ד"ר אורית גינזבורג (יועצת מדעית - חטיבה לאסטרטגיה), פרופ' אבי פרבולוצקי (חוקר במכון וולקני), ד"ר ענת לווינגרט (מנהלת אגף אגרואקולוגיה, שה"מ), שי דותן (מנהל תחום פיתוח תיירות), חיים חרמוני (רכז ועדה חקלאית - מ.א. שער הנגב), יואב שגיא, אורי רמון, איריס האן והילה שגיא (מכון דש"א).	משרד החקלאות, בית דגן
5.3.13	חשיבה משותפת עם רשות ניקוז שקמה-בשור לדרכים לקידום הפרויקט	ד"ר נחמיה שחף (ראש רשות ניקוז שקמה-בשור), עופר שאולקר (פקח רשות ניקוז שקמה-בשור), מיטל רז (מתכנתת רשות ניקוז שקמה-בשור), גדי רוזנטל (חברת כיוון), אורי רמון, יואב שגיא, קוצי וייל, הילה שגיא (מכון דש"א).	רשות ניקוז שקמה-בשור
13.3.13	וועדה מקצועית מלווה - פגישה ראשונה - התייעצות לגבי הפרויקט וקבלת פידבק	ד"ר סיניה נתניהו (משרד להג"ס), מנחם זלוצקי (משרד להג"ס), נועה שטיינר (משרד להג"ס), קרן קלס (המארג), גדי רוזנטל, הדר פוקס, יואב שגיא, אורי רמון והילה שגיא (מכון דש"א)	בבנין רט"ג בירושלים
9.4.13	התייעצות מומחים מהטכניון בנושא העברת סקרים לגבי שמ"א במרחב שקמה, שיתוף ציבור והדמיות סולארי לבירור ההשפעה על הנוף	ד"ר אפרת אייזנברג (פקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים-פסיכולוגיה סביבתית), רועי זיידנברג (סטודנט בטכניון בנושא סקרי שמ"א בים המלח), פרופ' דניאל אורנשטיין (פקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים), יואב שגיא, קוצי וייל, אורי רמון והילה שגיא (מכון דש"א).	בטכניון, חיפה
1.7.13	ועדה מקצועית מלווה - פגישה שנייה במשרד החקלאות - התייעצות, קבלת פידבק והמלצות לחוקרים ומומחים בנושאים הנחקרים	פרופ' משה קול (אקולוג, פקולטה לחקלאות), ד"ר גיל אשל (תח"ס, חוקר בתחום ביוגיאוכימיה), מורדי תמיר (רכז שימור קרקע לשעבר, כיום יועץ משרד החקלאות), עופר שאולקר (מפקח רשות ניקוז בשור שקמה), ד"ר יאן לנדאו (תזונת אוכלי עשב בשטחי מרעה, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי), עידן ריצ'קר (מדריך גדי"ש נגב), עוזי נפתליהו (מדריך גדי"ש נגב וגדי"ש דרום), בני יעקבי (מתכנן ורפרנט שימור קרקע, משרד החקלאות), ד"ר ענת לוינגרט (אגרואקולוגיה, משרד החקלאות), ד"ר אורית גינזבורג (עמיתת ממשק, יועצת מדעית חטיבה לכלכלה ואסטרטגיה, משרד החקלאות), אלון מאור (מרכז סקר קרקע, משרד החקלאות), פרופ' תמר דיין (זואולוגית, אוניברסיטת תל-אביב), אריה שחר (גמלאי, שימור קרקע), ישראל רוזיליו (רכז שימור קרקע משרד החקלאות מחוז דרום), ד"ר אלי ארגמן (חוקר האגף לשימור קרקע, תחנה לחקר הסחף), מנחם זלוצקי (משרד להגנת הסביבה, ראש אגף שטחים פתוחים) וצוות הפרויקט: יואב שגיא, קוצי וייל, חיים חרמוני, הילה שגיא, אורי רמון, ד"ר שמרית עוקבי, גדי רוזנטל והדר פוקס.	משרד החקלאות, בית דגן

דיונים רבי משתתפים בהם הוצג הפרויקט			
תאריך	נושא	משתתפים ותפקידיהם	מיקום
12.9.13	שולחן רכזי משק ומנהלים עסקיים - שער הנגב – מפגש מס' 8 - הוצג פרויקט שמ"א שקמה	אלון שוסטר (ראש מועצת שער הנגב), רן פרדמן (מנהל גש"ר), רמי פולקו (רכז פלחה גש"ר), אמנון זרקא (רכז משק ברור חיל), חיים חרמוני (רכז הועדה החקלאית שער הנגב), יואב שגיא, אורי רמון, הילה שגיא (מכון דש"א) ועוד רכזי משק ומנהלים עסקיים נוספים.	
5.12.13	פגישה בנושא שילוב שמ"א ותרי"ע (תכנון רגיש ערכיות) בתכנון במשרדי דש"א	חגית הלמר, ד"ר גילי קוניאק-חכימי, ענת הראל-הורוביץ, אורי רמון, קרן קלס, הילה שגיא, ד"ר תמי טרופ, יואב שגיא	
26.1.14	פגישה במשרד החקלאות מחוז דרום לדון בהתקדמות הפרויקט , דרכים ליישום הפרויקט, והסקרים ולקבל משוב. קיבלנו הערה לגבי הסקרים שתיקנו.	יואב מורג (מנהל מחוז נגב), קאיד אבו גאנם (מתכנן שימור קרקע), חיים חרמוני (מרכז הועדה החקלאית, מנהלת פארק שקמה), ישראל רוזיליו (מרכז בכיר, ייעוד ושימור קרקע), טלי סטרץ (מתכננת, משרד החקלאות), אלון ירון (מכון דש"א-רכז שירות מערכת ויסות קרקע ומים), אורי רמון והילה שגיא (מכון דש"א).	גילת
7.8.14	ישיבת מנהלת שקמה - הצגת ההתקדמות בפרויקט וקבלת משוב : ממצאי ההערכה של הצוותים המקצועיים בשאלת ממשקים חקלאיים, תוצאות הסקרים. ממצאי הערכת שמ"א שאלת הסולארי ותכנון להמשך הפרויקט.	ראש מנהלת שקמה - אלון שוסטר, מרכז הועדה החקלאית - חיים חרמוני. רשות ניקוז : עמיר ססלר ולירן יאנקוביץ'. משרד החקלאות מחוז דרום : קאיד אבו-גאנם. רט"ג : רחל עברון, יתיר שמיר, קובי סופר ויוסי הראל. משרד להג"ס : אייל יפה ומיטל אמיתי. חקלאי גש"ר : רמי פולקו ורן פרדמן. מדריכי גד"ש : עוזי נפתליהו ועידן ריצ'קר. משרד הפנים: טל פודים. גדי רוזנטל (כלכלן בפרויקט, חברת כיוון) צוות מכון דש"א : אורי רמון, יואב שגיא והילה שגיא.	מ.א. שער הנגב, בייס תיכון שער הנגב
26.11.14	פגישה אצל אורי צוק בר אגף מחקר, כלכלה ואסטרטגיה לדון במנגנונים הכלכליים בשאלת ממשקים חקלאיים, הצגת הפרויקט וקבלת פידבק ובדיקה לגבי יישום הממצאים	אורי צוק בר (סמנכ"ל מחקר, כלכלה ואסטרטגיה), רענן אמויאל (מנהל תחום תכנון, האגף לתכנון כפרי אזורי), ד"ר גדעון טופורוב (ממ"ר חקלאות וסביבה, אגף אגרואקולוגיה), ברכה גל (שה"מ מנהלת תחום כלכלת הייצור), ד"ר אורית גינבורג (מנהלת תחום שטחים פתוחים ומרעה), ד"ר אפרת הדס (מנהלת השקעות, מנהל המחקר לשעבר), גדי רוזנטל (חברת כיוון – אחראי על ההערכה הכלכלית בפרויקט שקמה), יואב שגיא (ראש מכון דש"א), חיים חרמוני (מרכז הועדה החקלאית, מ.א. שער הנגב), אורי רמון (מכון דש"א, מוביל שאלת החקר), הילה שגיא (מכון דש"א רכזת הפרויקט)	
4.1.15	פגישה עם פרופ' יוסי שטיינברגר ומדריכי גד"ש לבחינת האפשרות לקידום מחקר לגבי המגוון הביולוגי ושמ"א נוספים בממשקי עיבוד שונים בתצפית בשובל. מסתמן שזה מורכב ויקר.	פרופ' יוסי שטיינברגר (אקולוג מערכות יבשתיות עם דגש על הקרקע, אוניברסיטת בר אילן), עוזי נפתליהו, עידן ריצ'קר (מדריכי גד"ש מפעילי הניסוי בשובל), חיים חרמוני (רכז הועדה החקלאית שער הנגב), ד"ר אמיר פרלברג (אקולוג), יואב שגיא, אורי רמון, הילה שגיא (מכון דש"א)	אגודה חקלאית דרום יהודה, צומת ראס ד.נ. שקמים מסמיה
15.4.15	מליאת מנהלת פארק שקמה - הצגת התקדמות הפרויקט	מליאת מנהלת פארק שקמה, צוות הפרויקט	מ.א. שער הנגב
22.10.15	מליאת מנהלת פארק שקמה - הצגה של ממצאי הפרויקט הסופיים	מליאת מנהלת פארק שקמה, צוות הפרויקט	מ.א. שער הנגב