

## עופרי פרייבך

אקוטריידרס בע"מ

## יערי גינות

אגף טכנולוגיות דיגיטליות ומידע,  
המשרד להגנת הסביבה

## גיל פרואקטור

אגף בכיר אקלים, המשרד להגנת  
הסביבה

## רון קמרה

אקוטריידרס בע"מ

## ג'ניה גוטמן

אגף אנרגיה ואקלים, המשרד להגנת  
הסביבה

## ציטוט מומלץ

פרייבך ע, גינות י, פרואקטור ג  
ואחרים. 2024. אנרגיה לתקומה –  
הקמת מערכות אנרגיה סולרית  
בחבל תקומה לטובת עצמאות  
אנרגטית: ניתוח גאוגרפי-אנרגטי-  
כלכלי. *אקולוגיה וסביבה* 15(1).



פאנלים פוטו-וולטאיים על גבי גגות בני ילדים בשדרות. הרווח מייצור חשמל משמש לטיפול שטחים פתוחים בשכונת הוותיקות. בוצע במסגרת פרויקט טיפוח שפ"פים (שטחים פרטיים פתוחים), במימון המשרד להגנת הסביבה | צילום: עוז שכטר

## אנרגיה לתקומה – הקמת מערכות אנרגיה סולרית בחבל תקומה לטובת עצמאות אנרגטית: ניתוח גאוגרפי-אנרגטי-כלכלי

גיליון אביב 2024 / כרך 15(1) / שיקום ופיתוח בר-קיימא של הנגב 31 במאי, 2024  
המעריב

[חזית המחקר](#)

### על קצה המזלג

- משק האנרגיה הישראלי הריכוזי עובר בשנים האחרונות תהליכי ביזור בייצור החשמל ובאגירתו.
- הביזור מאפשר ליישובים להתקרב ואף להגיע לעצמאות אנרגטית, ויוצר רכיב של חוסן אנרגטי שיש לו חשיבות בעיתות חירום. לרשויות המקומיות יש תפקיד חשוב במשק אנרגיה כזה, שאינו היררכי.
- המאמר מנגיש מתודולוגיה, כלי יישום ושכבות מידע גאוגרפיות חדשים שפותחו לטובת תכנון עצמאות אנרגטית מבוססת מערכות פוטו-וולטאיות בדו-שימוש (על גבי גגות והצללות), ומדגים את תרומתה האפשרית של המתודולוגיה לחבל תקומה.
- את מאמצי השיקום והפיתוח של חבל תקומה ניתן לעצב באופן שיוביל את האזור למציאות חדשה – עצמאות אנרגטית וחוסן אנרגטי המבוססים על ייצור אנרגיה מהשמש תוך שמירה על מערכות אקולוגיות וחקלאות.
- המאמר מבסס את גובה התמיכה הממשלתית הנדרשת למימוש חזון זה, נוסף על קידום מדיניות תעריפית, רגולטורית ותכנונית.

מערכת אקולוגיה וסביבה

## תקציר

האתגר המרכזי והרב-ממדי בתוכניות לפיתוח מערכות אנרגיה ממקורות מתחדשים הוא השאיפה להביא להיקף מרבי של מערכות מותקנות תוך השגת ביטחון אנרגטי ושמירה על שטחים פתוחים ומערכות אקולוגיות רגישות. ניתן לגבש אסטרטגיה הנותנת מענה לאתגר מורכב זה באמצעות בחינה המשלבת ניתוח גאוגרפי, אנרגטי וכלכלי של מערכות האנרגיה בתוך תחומי היישובים והערים. מאמר זה מציע מודל רב-תחומי כבסיס להעצמה של הרשויות המקומיות והיישובים בחבל תקומה כשחקנים חדשים בתחום של אנרגיה ממקורות מתחדשים. המודל "נתפר" עבור התוכנית האסטרטגית לשיקום ולפיתוח של חבל תקומה כדי לאפשר ייצור סולרי מרבי בדו-שימוש, תוך שמירה על האופי החקלאי ועל השטחים הפתוחים הנרחבים בחבל. נוסף על כך, המודל מאפשר לחשב כמותית את הספק האגירה הנדרש להשגת עצמאות אנרגטית (היכולת של היישוב לספק לעצמו את מרבית האנרגיה הנדרשת) ולחוסן האנרגטי (היכולת של היישוב לספק את צריכת האנרגיה הבסיסית ללא תלות ברשת בזמני חירום) של יישובי החבל. מניתוח המאפיינים שנבחנו עולה כי פוטנציאל ההספק הסולרי בחבל מסתכם בכ-577 מגה-ואט, שהוא כמחצית ההספק של תחנת הכוח הגדולה ריינדי, שאושרה לאחרונה להקמה במרכז הארץ. ההספק והקיבולת של מערכות האגירה הנדרשים לטובת השגת עצמאות אנרגטית מרבית הם 162 מגה-ואט. הקמת מערכות בסדר גודל זה תוביל את מרבית היישובים לעצמאות אנרגטית מלאה בעלות כוללת של כ-4.3 מיליארד ש"ח, כמיליארד ש"ח פחות מהחלופה המבוססת אנרגיה שמקורה בדלקי מחצבים. ממוצע עלות העצמאות האנרגטית לנפש לשנה עומד על כ-3,000 ש"ח, והחציון על כ-2,200 ש"ח, למשך 25 שנה. כדי שפריקט זה יהיה כדאי לזימים, הממשלה נדרשת לתמוך ב-20% מעלותו. הקמה של מערכות שיספקו רק 20% מהדרישה האנרגטית תעלה כמיליארד ש"ח. ניתן להרחיב את השימוש במודל זה גם לאזורים אחרים בארץ, ובפרט לסייע לשיקום ולפיתוח של יישובי קו העימות בצפון.

## מבוא

תהליכי קבלת החלטות בתחום האנרגיה נעשים לרוב מתוך ראיית הצרכים הלאומיים ובראייה משקית, לעיתים תוך שימת לב פחותה לצרכים המקומיים [8]. כך, למשל, מקודם בחבל מימוש פוטנציאל משמעותי של אנרגיה ממקורות מתחדשים באמצעים קרקעיים באמצעות אסדרת מקרקעין. דבר זה עשוי להשפיע על כ-8% מסך השטח של חבל תקומה כפי שמופיעים בתוכנית האסטרטגית של מנהל התכנון. שטח זה שווה לכ-15% מהשטח החקלאי של האזור [5]. נוסף על כך, מתוכנן דו-שימוש בקרקע לייצור אנרגיה מהשמש ולחקלאות (מקור אגרו-וולטאי).

מאז פרוץ מלחמת חרבות ברזל הזרקור של התקשורת, האקדמיה ומקבלי החלטות מופנה אל שלוש מגמות מרכזיות בתחום של אנרגיה ממקורות מתחדשים. ניתן לרתום את המגמות האלה לטובת עיצוב העתיד האנרגטי של חבל תקומה, תוך מיקוד בצרכים המקומיים:

1. מעבר לשוק מבוזר של אנרגיה ממקורות מתחדשים [12] – ישראל מאופיינת במערכת ייצור אנרגיה ריכוזית, הנשענת על מספר מצומצם יחסית של אתרים בעלי כושר ייצור גבוה. עובדה זו חושפת אותה לאיומים אנרגטיים, בהם איום הטילים והרקטות, אסונות טבע ושינוי האקלים, איומי סייבר והפרעות אלקטרו-מגנטיות. שתי הדרכים המרכזיות להתמודד עם האיומים האלה היא מעבר לייצור חשמל מבוזר בקרבת אזור הצריכה [4] וגיוון מקורות האנרגיה [3].
2. עצמאות אנרגטית וחוסן אנרגטי [13] – שיח ער בתקשורת על אודות הפסקות חשמל ממושכות ("תרחיש העלטה") העלה לתודעה הציבורית את האפשרויות של כל אזרח או משק בית או יישוב לייצר לעצמו חוסן אנרגטי באמצעות ייצור האנרגיה הדרושה להם למשך מספר ימים ואף יותר מכך – לעבור לעצמאות אנרגטית שכל משק בית או יישוב יכול לספק לעצמו את כלל הדרישה האנרגטית.
3. הרשות המקומית כשחקנית מפתח בתחום של אנרגיה ממקורות מתחדשים [10, 18] – משרד הפנים ומשרד האנרגיה והתשתיות אישרו בדצמבר 2023 לרשויות מקומיות להקים תאגידי אנרגיה ממקורות מתחדשים. העיר אופקים היוותה את הסנונית הראשונה שקידמה הסכם להקמת התאגיד בתחומה, בשילוב חברה פרטית.



התקנת פאנלים על קירוי – יצירת אנרגיה ממקורות מתחדשים והצללה מעל מגרש ספורט במושב צרופה | באדיבות חברת E.D.I אנרגיה

שלוש המגמות הללו מחדדות את צורך לאמוד את הפוטנציאל של הערים והיישובים בישראל לספק לעצמם את הדרישה האנרגטית במלואה ממקור מתחדש. גוף המחקר בתחום העצמאות האנרגטית הסולרית מצומצם, מכיוון שלמרבית המדינות המפותחות יש תמהיל אנרגיה ממקורות מתחדשים הכולל בתוכו אנרגיה שמקורה ברוח, במים ובביומסה [9, 19].

המאמר שם בקדמת הבמה את יישובי חבל תקומה כסוכני שינוי בתחום האנרגיה, באמצעות ניסוח של חזון אנרגטי חדש לחבל תקומה – עצמאות אנרגטית שמבוססת אנרגיית השמש, בהובלה של הרשות המקומית, היישוב או הקהילה. לשם קידום של חזון זה פותח מודל גאוגרפי-אנרגטי-כלכלי אשר: א. בוחן את היכולת של יישובי תקומה לספק לעצמם את מלוא הדרישה האנרגטית באמצעות ביזור ייצור החשמל בתוך המרחב המבונה; ב. בוחן את המשמעויות הכלכליות של 100% עצמאות אנרגטית מבוססת אנרגיה סולרית ואגירה, תוך השוואה לחלופה של דלקי מחצבים; ג. מברר את גובה התמיכה הנדרש מהמדינה להקמת המערכות העצמאיות תוך שמירה על רווח בפרויקט; ד. מאפיין את הטיפולוגיה היישובית שניתן להשיג בה את העצמאות הזו.

המודל המוצג במאמר זה יסייע במיקוד תהליכי קבלת החלטות לצורך המקומי, לטובת כלל האינטרסים במרחב ותוך העצמה של הקהילות המקומיות ושמירה על השטחים החקלאיים והפתוחים של חבל ארץ זה.





פאנלים פוטו-וולטאיים על גבי מבני משק בקיבוץ רוחמה | צילום: שחר מוטולה

## שיטות

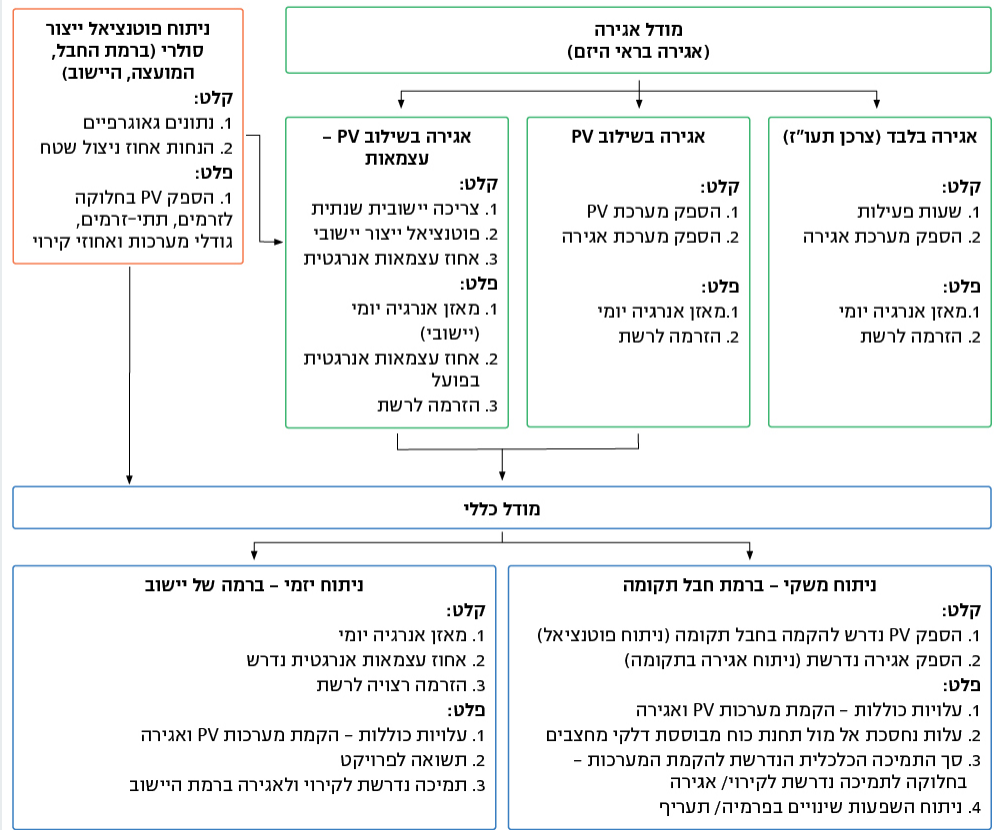
המונחים "עצמאות אנרגטית" ו"חוסן אנרגטי" נעדרים הגדרה מוסכמת<sup>[16]</sup>. העבודה הנוכחית מתמקדת בעצמאות אנרגטית שהוגדרה כיכולת של יישוב לספק לעצמו את כלל הדרישה האנרגטית היממתית באמצעות מערכות סולריות מבוזרות במרחב המבונה ובשימוש בהיקף אגירה המותאם לדרישה בשעות החשכה. בחירום הדרישה האנרגטית צפויה להיות נמוכה משמעותית מהדרישה האנרגטית בשגרה.

**כריית נתונים גאוגרפיים ועיבודם** – מאגרי מידע זמינים המשתמשים בשכבות מידע ארציות מוסכמות ואחידות (בסיס הנתונים הטופוגרפי הלאומי [בנט"ל] של המרכז למיפוי ישראל<sup>[2]</sup>) הותאמו באמצעות מערכת מידע גאוגרפי (GIS) ייעודית לתחום האנרגיה. סוג המבנה משפיע על אחוז הגג הפנוי שלו (ראו [נספח 1](#)), בעוד ששטח הגגות הכולל משפיע על פוטנציאל הייצור, ובהינתן היקפי האגירה מספקים, קובע את מידת העצמאות האנרגטית של היישוב.

1. **המודל האנרגטי (איור 1)** – עבור כל יישוב נבנה מאזן אנרגיה שבחן את צריכת האנרגיה היישובית השעתית אל מול פוטנציאל הייצור השעתי באמצעות המערכות הסולריות ואגירה.
2. **המודל הכלכלי (איור 1)**:
3. ניתוח הכדאיות הכלכלית של המערכות הסולריות (בהתאם לתמהיל פוטנציאל הייצור) ושל מערכות אגירה מייצגות<sup>[7]</sup> מבחינת בעלי הפרויקט.
4. ניתוח ברמת החבל המתייחס לעלות ולתועלת למשק ממעבר לאנרגיה ממקורות מתחדשים, כולל אומדן של העלויות החיצוניות מזהום אוויר וגזי חממה, והערכה של התמיכה הממשלתית הנדרשת להקמת מלוא הפוטנציאל הסולרי ומתקני האגירה.

לפירוט נוסף ראו [נספח 1](#).

**איור 1.** תרשים זרימה של המודל הגאוגרפי-אנרגטי-כלכלי המאפשר ניתוח של מספר רב של פרויקטים סולריים פוטנציאליים קטנים עבור בעל הפרויקט ועבור המשק, וקבלת החלטות באשר לגובה התמיכה הממשלתית הנדרשת בהקמה של עצמאות אנרגטית ברמה היישובית.



## איור 1

**תרשים זרימה של המודל הגאוגרפי-אנרגטי-כלכלי המאפשר ניתוח של מספר רב של פרויקטים סולריים פוטנציאליים קטנים עבור בעל הפרויקט ועבור המשק, וקבלת החלטות באשר לגובה התמיכה הממשלתית הנדרשת בהקמה של עצמאות אנרגטית ברמה היישובית**



שדה סולרי קרקעי סמוך למושב שדה צבי | צילום: ג'ניה גוטמן

## זיתוח כלים גאוגרפיים ואנרגטיים זמינים ומונגשים

תוצאות הניתוח הגאוגרפי עבור חבל תקומה והעיר נתיבות מונגשות באינטרנט, באמצעות "אתר המפות הממשלתי" בשכבת "פוטנציאל להפקת אנרגיה מתחדשת"<sup>[1]</sup> המאפשר תצוגה של שטח, שימוש וגובה לכל מבנה ומכלול (השטח שמסביב לשימוש מסוים ובזיקה אליו, למשל, חצר בית ספר). החלוקה לכמות החשמל שניתן לייצר בחלוקה לסוגי המבנים השונים מונגשת באתר המשרד להגנת הסביבה תחת הכותרת "כלי חישוב פוטנציאל אנרגיה מתחדשת בדו-שימוש – חבל תקומה".

**הפוטנציאל הסולרי הכולל בדו-שימוש בחבל תקומה מסתכם בכ-577 מגה-ואט.** הספק זהגבוה פי שניים מהצריכה העצמית של החבל, ולשם השוואה, שווה לכמחצית מההספק של תחנת הכוח ריינדייר – תחנה מבוססת גז שהקמתה במרכז הארץ אושרה באפריל 2024. 84% מהפוטנציאל הסולרי בחבל תקומה נמצאים מעל מבני תעשייה, מסחר ושירותים (32%), רפתות ולולים (23%), מגרשי ספורט, חצרות מוסדות ציבור וחניונים שדורשים קירוי (17%) ומבני מגורים (12%). לעומת זאת, ברמה הארצית 80% מהפוטנציאל האנרגטי נמצאים דווקא על מבני מגורים<sup>[7]</sup>. כדי לענות על 100% מהצריכה בשעות ללא ייצור סולרי נדרשים קיבולת אגירה (נפח) של כ-856 מגה-ואט שעה והספק של כ-162 מגה-ואט.



פאנלים סולריים בטכנולוגיית BIPV משולבים כמעקה במלון בהולנד | באדיבות חברת Solarinnova ו-BIPV Israel

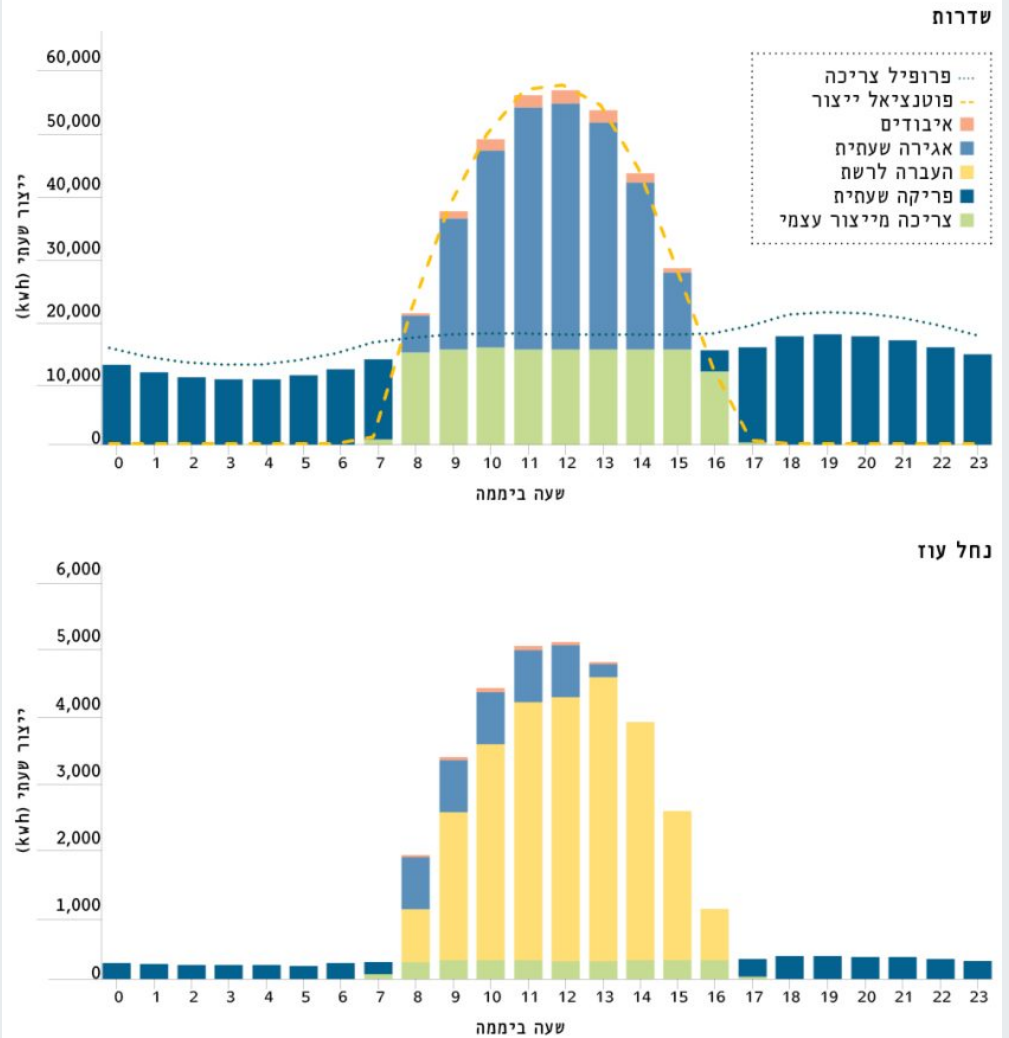
## היתכנות לעצמאות אנרגטית מבוססת 100% אנרגיית שמש ליישובי תקומה

מניתוח מאזן האנרגיה (איור 2) עולה כי 80% מהיישובים בחבל תקומה יכולים להגיע לעצמאות אנרגטית מלאה – לספק לעצמם 100% מהדרישה האנרגטית ללא תלות ברשת, 9% יכולים לספק לעצמם 70% מהדרישה האנרגטית, 8% יגיעו לפחות ל-50%, ו-3% יספקו לעצמם פחות מ-50% מהדרישה (איור 3). נוסף על כך, חשוב לציין כי התמקדנו בייצור חשמל במרחב המבונה בלבד, ולא הבאנו בחשבון ייצור בדו-שימוש בשטחים חקלאיים ועל גדות היישובים, שיכול להוביל לאחוזי עצמאות אנרגטית גבוהים עוד יותר.



**איור 2.** פעילות המערכת הסולרית ומערכת האגירה במודל עצמאי ללא הזנה מהרשת ביום חורף מייצג בחלוקה ל-24 שעות – השוואה בין יישוב עירוני (שדרות) ליישוב כפרי (נחל עוז).

משעות הבוקר ועד אחר הצהריים, 8-16, יש ייצור אנרגיה סולרית שחלקה נצרכת, חלקה טוענת את הסוללה וחלקה מוזרמת לרשת אם יש עודפי ייצור. משעות אחר הצהריים ועד הבוקר, 7-17, הצריכה האנרגטית נמוכה ומסופקת על-ידי פריקה של הסוללה ממערכות אגירה.



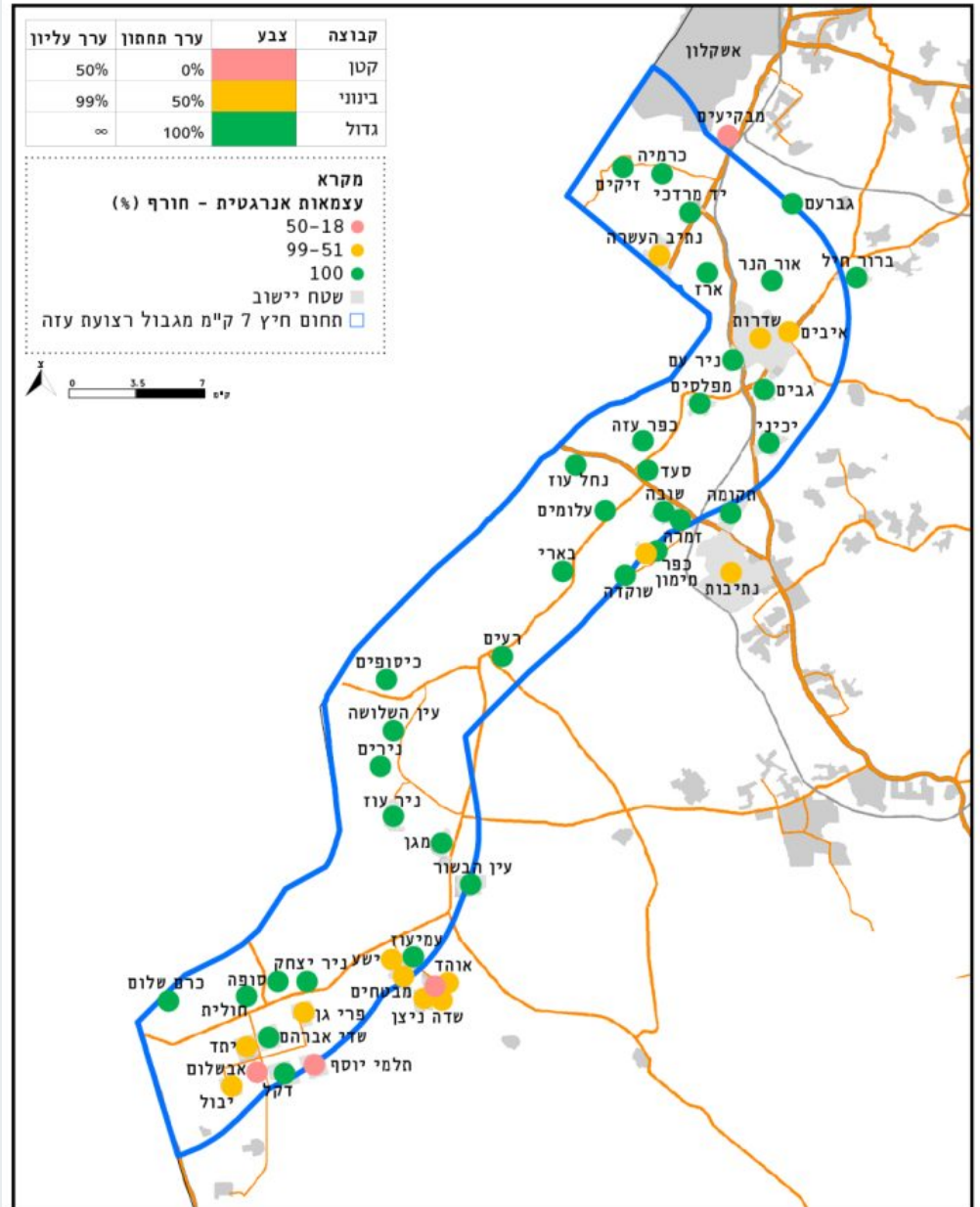
**איור 2**

**פעילות המערכת הסולרית ומערכת האגירה במודל עצמאי ללא הזנה מהרשת ביום חורף מייצג בחלוקה ל-24 שעות – השוואה בין יישוב עירוני (שדרות) ליישוב כפרי (נחל עוז)**

משעות הבוקר ועד אחר הצהריים, 8-16, יש ייצור אנרגיה סולרית שחלקה נצרכת, חלקה טוענת את הסוללה וחלקה מוזרמת לרשת אם יש עודפי ייצור. משעות אחר הצהריים ועד הבוקר, 7-17, הצריכה האנרגטית נמוכה ומסופקת על-ידי פריקה של הסוללה ממערכות אגירה.

## איור 3. אחוז העצמאות האנרגטית לפי יישוב

בירוק יישובים המגיעים ל-100% עצמאות אנרגטית, בצהוב יישובים המגיעים ל-70-100% ובאדום יישובים המגיעים לפחות מ-50% עצמאות אנרגטית. נתוני מיפוי: הבנט"ל, המרכז למיפוי ישראל. עיבוד והפקה: מרכז מידע גאוגרפי. מודל אנרגטי וכלכלי: EcoTraders.



## איור 3

### אחוז העצמאות האנרגטית לפי יישוב

בירוק יישובים המגיעים ל-100% עצמאות אנרגטית, בצהוב יישובים המגיעים ל-70-100%, ובאדום יישובים המגיעים לפחות מ-50% עצמאות אנרגטית.

נתוני המיפוי: הבנט"ל, המרכז למיפוי ישראל. עיבוד והפקה: מרכז מידע גאוגרפי. מודל אנרגטי וכלכלי: EcoTraders.

## מה עולה עצמאות אנרגטית ברמת היישוב?

עלות הקמת כלל המערכות הנדרשות ביישוב תלויה בהתפלגות גודלי המערכת ביישוב, באחוז המערכות הסולריות הדורשות



בנייה של קונסטרוקציה ייעודית (המכפילה את עלות הפרויקט) ובגודל מתקן האגירה המוערך. לדוגמה, בהשוואה בין שדרות לבין נחל עוז, סך פוטנציאל הפקת האנרגיה הוא 96.6 ו-9.3 מגה-ואט, נדרשת אגירה בהספק של 50 ו-0.8 מגה-ואט, השקעת הון של כ-312 וכ-28 מיליון ש"ח במערכות סולריות, כ-346 וכ-6 מיליון ש"ח במערכות אגירה, וכ-89 וכ-6 מיליון ש"ח בקירוי, סך הכול 1,200 ו-3,700 ש"ח לנפש לשנה, למשך 25 שנה, בהתאמה. יתרת העלות נדרשת לאורך חיי המתקנים לצורך תחזוקתם, ועומדת על כ-58 מיליון ש"ח וכ-3.5 מיליון ש"ח למערכות סולריות ועל כ-55 וכ-1 מיליון ש"ח למערכות האגירה, בהתאמה. נמצא כי מערכות הצללה ומערכות אגירה דורשות תמיכה ממשלתית, בעוד שמרבית הפוטנציאל ניתן להקמה ללא תמיכה ממשלתית. התקנת מערכות כך שיספקו 20% אנרגיה בלבד בחירום או בתרחיש העלטה תעלה כ-20% מהסכומים המפורטים, כך שמערכות האגירה עבור שדרות יעלו כ-68 מיליון ש"ח (לעומת 346 מיליון ש"ח) כהשקעת הון בהקמת המערכות, ועלות תחזוקתן לאורך חייהן תעלה עוד כ-11 מיליון ש"ח. את סיכום העלויות עבור כל יישוב, גם ברמה של עלות לנפש למשך שנות הקיים של הפרויקט, ניתן למצוא בנספח 2. ממוצע עלות העצמאות האנרגטית לנפש לשנה עומד על כ-3,000 ש"ח, והחציון על כ-2,200 ש"ח, למשך 25 שנה.

## מה עולה עצמאות אנרגטית ברמת החבל?

תוצאות הניתוח הכלכלי ברמת החבל מראות כי סך עלויות ההקמה והתחזוקה למשך 25 שנה עומדות על כ-4.3 מיליארד ש"ח. עלות המערכות הסולריות במיליארדי ש"ח היא 1.4 (0.4 עבור תחזוקה), עלות האגירה כ-1.3 (0.4 עבור תחזוקה), עלות הקונסטרוקציות 0.4, ועלות ההיתרים והתשתיות כ-0.4. הקמת מערכות סולריות על גגות ששטחם עולה על 70 מ"ר (גודל הגגות שנכנס למודל) כדאית ליזום ואינה דורשת תמיכה ממשלתית. כדי להביא לרווחיות מקובלת – תשואה שנתית של כ-14% למערכות סולריות וכ-10% למערכות אגירה – נדרשת תמיכה ממשלתית בסך 373 מיליון ש"ח בקונסטרוקציות ו-477 מיליון ש"ח באגירה (תמיכה של 40%).



אדניות סולריות וקירות מחופים צמחייה המסייעים בבידוד המבנה. מבנה משרדים בברצלונה | באדיבות חברת BIPV Israel - Solarinnova

## דיון ומסקנות

### בניית תשתית ידע לקראת "תור הזהב" של הערים

## כשחקניות חדשות בתחום האנרגיה

פוטנציאל ההשפעה של הערים בתחום של אנרגיה ממקורות מתחדשים הולך ותופס תאוצה [14]. עם זאת, מחקר מדעי שמתמקד בעיר כשחקנית חדשה בזירה האנרגטית – דל [10]. הפריחה המאפיינת את תחום המודלים והנגשת המידע ברמה של בית פרטי, דוגמת כלי ה-Project Sunroof של חברת גוגל [17] וכלי ה-RVO של ממשלת הולנד [11], טרם מצאה ביטוי מקביל ברמת השלטון המקומי. ב-2022 פותח במשרד האנרגיה מדד [6] המאפשר לעקוב אחר מימוש פוטנציאל בדו-שימוש בכל רשות ורשות, במטרה לדרבן רשויות להגיע למימוש פוטנציאל שטחן. הכלי שמוצג במאמר זה מאפשר, ברמה של הרשות המקומית, תכנון וקבלה של החלטות אופרטיביות בכל הנוגע לעצמאות אנרגטית, כולל היבטים כלכליים.

## טיפולוגיה יישובית כמנבאת עצמאות אנרגטית מבוססת שמש

מחקר בארה"ב הראה כי עד כה יישובים הנשענים על 100% אנרגיה ממקורות מתחדשים (מקורות מגוונים, לא רק שמש) מאופיינים בגודל קטן יחסית של 800–50,000 תושבים [13], סקאלה שמתאימה ברובה לחבל תקומה (היישוב הגדול בחבל, נתיבות, מונה כ-37,000 תושבים, ו-20% מהיישובים הם מתחת ל-800 תושבים). נוסף על כך, מחקר על ישימות כלכלית של עצמאות אנרגטית ביישובים מרוחקים בסין הראה תחשיב כלכלי דומה בנוגע לשנות ההחזר ולגובה התמיכה הממשלתית הנדרשת [9]. שדרות יכולה להגיע ל-87% עצמאות אנרגטית בחורף, כשהצריכה העירונית כוללת גם את הצריכה של אזור התעשייה של העיר, בעוד שנתיות יכולה להגיע ל-100%, בתנאי שתקרה שטחי ציבור משמעותיים שיש בתחומי העיר. חצי מהיישובים שיש להם שטח של 20–50 מ"ר לאדם שניתן להתקין עליו פאנלים סולריים יכולים להגיע לעצמאות אנרגטית שמקורה בשמש, בעוד שכל היישובים בחבל ששטח הגג שלהם לאדם הוא 50 מ"ר ומעלה הם בעלי פוטנציאל לספק לעצמם את כלל הדרישה האנרגטית (שכוללת דרישה של אזורי תעשייה) מהגגות. ברמת החבל, כלל החבל יכול להגיע לעצמאות אנרגטית ולייצא כמחצית מפוטנציאל הייצור מחוץ לחבל. **איור 3** מראה כי טיפולוגיית היישובים שפוטנציאל הייצור הסולרי בדו-שימוש בהם אינו עונה על הדרישה, הם מושבים חקלאיים קטנים בעלי מיעוט מבני ציבור ומבני תעשייה ומסחר.



סככה סולרית, שהוקמה במשתלה טיפולית של עיריית כפר סבא, בשיתוף פעולה עם אוניברסיטת תל אביב ובמימון האיחוד האירופי. לצילי הסככה הותקנה מערכת מתזים, הפועלת באמצעות החשמל הסולרי ומייצרת 'ערפל' לטובת קירור סביבת הסככה | באדיבות חברת BIPV Israel ו-Solarinnova

## עלות חלופת העצמאות האנרגטית בדו-שימוש אל מול חלופת דלקי המחצבים

הכלי שפותח במסגרת המאמר מציג עלות לא מבוטלת עבור הקמה של מערכות סולריות ואגירה ברמה של כל יישוב ויישוב וכן ברמת החבל כולו. בהשוואה לחלופת דלקי המחצבים בהספק 577 מגה-ואט, הקמת המערכות סולריות ואגירה בתקומה תוביל לחיסכון משקי משמעותי העולה על עלויות הקמתן ותפעולן, זאת נוסף על התועלת ליישוב מהעצמאות האנרגטית ועל התועלת לבעלי הפרויקטים מהרווחים הנובעים מהפעלת המערכות, על התועלת לביטחון האנרגטי ומביזור מקורות האנרגיה

והתשתיות. החיסכון נובע מהפחתת הייצור בתחנות הקונבנציונליות, ועומד על 5.2 מיליארד ש"ח – כמעט מיליארד ש"ח יותר מעלות הפרויקטים, מתוכם, כ-0.9 מיליארד ש"ח חיסכון בהשקעות הון בהקמת התחנות, כ-0.1 מיליארד ש"ח חיסכון בתפעול ובתחזוקה של התחנות, 1.8 מיליארד ש"ח בעלויות הדלק ו-2.4 מיליארד ש"ח בעלויות חיצוניות של זיהום אוויר וגזי חממה. החיסכון חושב כך שהאנרגיה הנפרקת ממתקני האגירה מחליפה יחידות המייצרות בשעות הפסגה (מחז"פ) והאנרגיה הנפרקת ישירות לרשת מהמערכות הסולריות מחליפה ייצור ביחידות המייצרות בשעות השפל (מחז"מ).

יישובי חבל תקומה עשויים להוות מודל לחיקוי בשנים הבאות והשראה לנושא של טרנספורמציה במישורים רבים, בהם טרנספורמציה עירונית-אנרגטית ויישום בפועל של מודל הרשויות המקומיות כיצרנים שהם הצרכנים (prosumers)<sup>[15]</sup>. הכלים שפותחו, המשלבים מידע גאוגרפי פרטני עבור כל יישוב ויישוב לצד מידע אנרגטי וכלכלי, מאפשרים לשים על שולחן הדיונים את היכולת של הרשויות המקומיות והיישובים בחבל תקומה לספק לעצמם את הדרישה האנרגטית במלואה, במודל המבטיח את מעורבות הערים והיישובים גם ברווחים הפוטנציאליים. התמיכה הממשלתית הנדרשת תקדם את יישום הפרויקט בפועל, שכדאיותו הכלכלית, בהשוואה לחלופת דלקי המחצבים, הודגמה ועומדת על כמיליארד ש"ח. ניתן לייצר הספק ואף עודפות אנרגטית משמעותית באמצעות שחקנים מקומיים חדשים, תוך שמירה על היצרנות החקלאית והשטחים הפתוחים.

## מקורות

1. גינות י. שכבת [פוטנציאל להפקת אנרגיה מתחדשת](#). אתר המפות הממשלתי.
2. המרכז למיפוי ישראל. 2016. [בנט"ל – בסיס הנתונים הטופוגרפי הלאומי, חוברת הדרכה](#).
3. ויינשטוק ד ואלרן מ. 2016. ביטחון מערכת החשמל בישראל: הצעה לאסטרטגיה רבתי. המכון למחקרי ביטחון לאומי. מזכר 152.
4. מדר ד. 2023. [חוסן אנרגטי בישראל – רשת חשמל ריכוזית אל מול רשת חשמל מבוזרת – סקירת הסיכונים](#). SP Interface.
5. מנהל התכנון ורשות מקרקעי ישראל. 2024. תוכנית אסטרטגית נגב מערבי וחבל התקומה – סקר מצב קיים, הצגה לוועדת עורכים.
6. משרד האנרגיה. 2022. [מדד רשויות מקומיות לאנרגיה מתחדשת בדו-שימוש](#).
7. פרואקטור ג, גינות י, תמיר ע ואחרים. 2020. הערכת פוטנציאל הייצור הסולרי במרחב הבנוי בישראל. המשרד להגנת הסביבה.
8. Burke MJ and Stephens JC. 2017. Energy democracy: Goals and policy instruments for sociotechnical transitions. *Energy Research and Social Science* **33**: 35–48.
9. Byrne J, Taminiau J, Kurdgelashvili L, and Kim KN. 2015. A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with an illustrative application to the city of Seoul. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **41**: 830–844.
10. Capellán-Pérez I, De Castro C, and Arto I. 2017. Assessing vulnerabilities and limits in the transition to renewable energies: Land requirements under 100% solar energy scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **77**: 760–782.
11. Chen X, Xiao J, Yuan J, et al. 2021. Application and performance analysis of 100% renewable energy systems serving low-density communities. *Renewable Energy* **176**: 433–446.
12. Colmenar-Santos A, Reino-Rio C, Borge-Diez D, and Collado-Fernández E. 2016. Distributed generation: A review of factors that can contribute most to achieve a

- scenario of DG units embedded in the new distribution networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **59**: 1130–1148.
13. DeRolph CR, McManamay RA, Morton AM, and Nair SS. 2019. City energysheds and renewable energy in the United States. *Nature Sustainability* **2**(5): 412–420.
  14. [Project Sunroof](#).
  15. Parag Y and Sovacool BK 2016. Electricity market design for the prosumer era. *Nature Energy* **1**(4): 1–6.
  16. Platt R, Straw W, Aldridge J, and Williams J. 2014. City energy: A new powerhouse for Britain. Institute for Public Policy Research.
  17. 2024. [Overzicht geschikte daken voor zonnepanelen per regio](#).
  18. Shaviv E, Parag Y, Teschner N, and Zemah-Shamir S. 2022. [Would you add some kWhs to your food order? A forward-looking perspective on the energy landscape disruption portrayed by future actors in a distributed system](#). *Energy Research and Social Science* **94**: 102877.
  19. Van de Ven DJ, Capellan-Peréz I, Arto I, et al. 2021. The potential land requirements and related land use change emissions of solar energy. *Scientific Reports* **11**(1): 1–12.

## קריאה נוספת

מאמר המציג בצורה קולחת את המעבר משוק אנרגיה היררכי לשוק "שטוח" מרובה שחקנים ומבוזר, שהרשויות המקומיות ממלאות בו תפקיד משמעותי.

Shaviv E, Parag Y, Teschner N, and Zemah-Shamir S. 2022. [Would you add some kWhs to your food order? A forward-looking perspective on the energy landscape disruption portrayed by future actors in a distributed system](#). *Energy Research and Social Science* **94**: 102877.

**דו"ח שמקדם שיח על אודות חוסן אנרגטי ורציפות תפקודית במשק האנרגיה לנוכח איומים ביטחוניים. הדו"ח נכתב טרם אירועי אוקטובר 2023, אך הרלוונטיות נעשתה ברורה הרבה יותר אחריהם.**

מדר ד. 2023. [חוסן אנרגטי בישראל – רשת חשמל ריכוזית אל מול רשת חשמל מבוזרת – סקירת הסיכונים](#). SP Interface.

**מסמך מדיניות המדגים שגם בטרופולין תל-אביב ניתן לוותר על הקמה של תחנת כוח הפועלת על דלקי מחצבים בלב אזור מגורים לטובת מערכות מבוססות אנרגיה ממקורות מתחדשים.**

פרואקטור ג, קדם י, גוטמן ג', ואחרים. 2023. [השגת ביטחון אנרגטי והגנה על בריאות הציבור בגוש דן – תוכנית ליישום פתרון מבוסס אגירה ואנרגיה מתחדשת מבוזרת בגוש דן](#). המשרד להגנת הסביבה.



נספחים (זמינים באתר)

נספח 1. שיטת מידול

[להורדה](#)

נספח 2

[להורדה](#)