

האם אגירת אנרגיה יכולה להוות תחליף לפיתוח הרשת לשם עמידה ביעד 2030?

ד"ר נורית גל
ינואר 2021



I. תקציר

ג. באזורים בהם נדרשת השקעה ברשת החלוקה בלבד לשם חיבור מתקנים סולאריים, העלות הממוצעת מוערכת ב-0.6 מ"ש"ח בלבד לכל מגה-וואט מותקן. לכן, השימוש באגירה כתחליף לפיתוח רשת החלוקה כדאי רק באזורים בהם נדרשת השקעה ברשת ההולכה נוסף להשקעה ברשת החלוקה.

ד. אגירה אשר תוקם כתחליף לפיתוח הרשת עשויה לשמש גם כתחליף להקמת תחנות כח, זאת, משום שעודפי האנרגיה שיאגרו בשעות הצהריים באזורים בהם קיים גודש ברשת, יוזרמו לרשת בשעות הערב בהן צפוי מחסור בכוח יצור בשנים הבאות. תשלום זמינות לאגירה עבור החיסכון שהאגירה מאפשרת בהקמת תחנות כוח, מגדיל באופן משמעותי את כדאיות השימוש באותו מתקן אגירה כתחליף לפיתוח הרשת.

ה. שימושים נוספים באגירה, כגון ייצוב מתח וייצוב תדר, מעלים את כדאיות השימוש באגירה כתחליף לרשת. אולם, קיבולת האגירה שתידרש למשק לשירותים אלו היא קטנה בהשוואה לקיבולת האגירה שתידרש כתחליף לכוח ייצור ולכן ההשפעה הצפויה של שירותים אלו על כדאיות הקמת האגירה היא נמוכה.

ו. מהעבודה עולה כי בטווח הרחוק האגירה איננה מהווה תחליף מלא לפיתוח הרשת, לאור ההספק המשמעותי של המתקנים הסולאריים אותו יש לחבר כדי לעמוד ביעד האנרגיה המתחדשת. כלומר, האגירה מאפשרת לגשר על פרק הזמן הנדרש לתכנון ולפיתוח הרשת, אולם במקביל יש להמשיך ולקדם את תוכנית פיתוח הרשת.

משמעויות והמלצות

פיתוח רשת ההולכה מהווה אתגר מרכזי לעמידה ביעד האנרגיה המתחדשת, לאור פרקי הזמן הארוכים הנדרשים לתכנון ולהקמת הרשת.

מצאנו כי באזור אילת ובנגב יש כדאיות להשתמש באגירה על מנת לאפשר חיבור של עשרות מגה-וואט סולארי נוספים לרשת, כבר ברמת המחירים הנוכחית של האגירה. שימוש באגירה באזורים אחרים בארץ

פיתוח רשת ההולכה הוא אחד האתגרים המרכזיים של ישראל לקראת עמידה ביעד של 30% אנרגיה מתחדשת בשנת 2030. בשנים האחרונות התבססה טכנולוגיית האגירה בסוללות ומתרחשת ירידה מואצת של מחירי האגירה. אגירת אנרגיה עשויה לאפשר חיבור של מתקנים סולאריים נוספים לרשת, באמצעות הסטה של עודפי אנרגיה לשעות בהן הרשת פנויה.

בעבודה זו בחנו תרחישים אפשריים של שימוש באגירה לשם חיבור מתקנים פוטו וולטאיים נוספים לרשת, ובחנו באילו תנאים השימוש באגירה כדאי בהשוואה לפיתוח הרשת¹.

מהעבודה עולות התובנות הבאות:

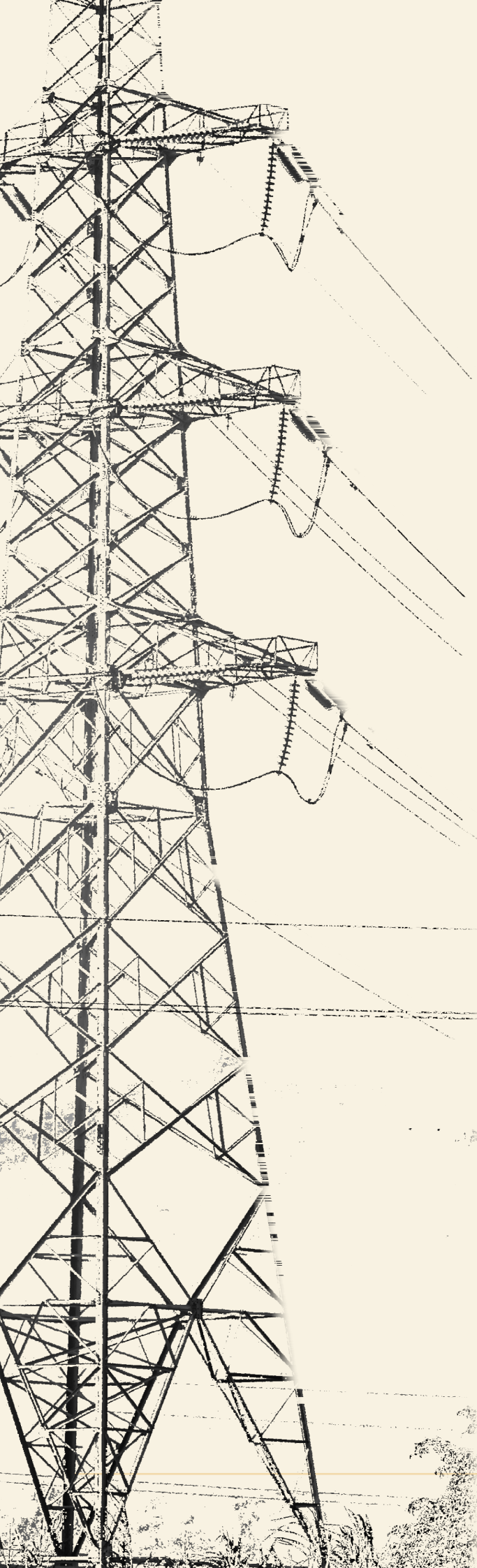
א. השימוש באגירה כתחליף לפיתוח הרשת כדאי יותר ככל שתוספת ההספק הסולארי שתחובר לרשת היא קטנה יותר. תוצאה זו נובעת מכך שהרשת המשמשת את המתקנים הסולאריים גדושה כיום בעיקר בשעות הצהריים, בהן היצור הסולארי מגיע לשיא, ואילו בשעות אחרות עומס היצור הסולארי על הרשת נמוך משמעותית. לכן, כאשר מחברים תוספת קטנה של הספק סולארי לרשת, האנרגיה הנוספת שתיוצר בשעות הבוקר ובשעות אחר הצהריים תוזרם ישירות לרשת, ורק עודפי האנרגיה שיווצרו בשעות הצהריים יטענו למערכת האגירה. ככל שההספק הסולארי המחובר לרשת גדל, חלק משמעותי יותר מהאנרגיה יידרש להיטען למערכת האגירה. כתוצאה מכך, קיבולת האגירה הדרושה, לכל מגה-וואט סולארי נוסף שיחובר לרשת, גדלה באופן לא ליניארי ככל שתוספת ההספק הסולארי עולה.

ב. כדאיות השימוש באגירה גבוהה יותר באזורים מרוחקים בהם ההשקעה הנדרשת ברשת לקליטת האנרגיה הסולארית היא גבוהה יותר, או באזורים בהם נדרשת הטמנה של רכיבי רשת². מצאנו כי העלות הממוצעת של חיבור מתקנים סולאריים לרשת בישראל היא כ-1.5 מיליון ש"ח לכל מגה-וואט סולארי מותקן³. באזור אילת ובאזור הנגב עלות חיבור המתקנים הסולאריים הרשת היא כ-2.2 - 2.3 מ"ש"ח למגה-וואט סולארי מותקן. לאור זאת, הכדאיות של השימוש באגירה באילת ובנגב גבוהה בהשוואה לאזורים אחרים בארץ.

1 העבודה נכתבה על ידי ד"ר נורית גל. ייעוץ חשמלי - ד"ר דני ויינשטוק

2 לפי תעריף הרשת, קו מתח עליון יעלה 3.3 מ"ש"ח/ק"מ ואילו קו מתח עליון מוטמן יעלה 14.72 מ"ש"ח/ק"מ.

3 עלות זו ממצעת את כלל רכיבי הרשת הנדרשים על מנת לחבר מגה-וואט נוסף באזור אילת.



ועבור הספק גבוה יותר של מתקנים סולאריים יהיה כדאי כלכלית אם יתאפשר תשלום נוסף למתקני האגירה כתחליף לתחנת כח במחזור פתוח ("פיקר").

לאור זאת, מומלץ:

א. לאפשר הקמת מתקני אגירה באזורים בהם הגודש ברשת מהווה כיום חסם לחיבור מתקנים סולאריים נוספים בדגש לאתרים מרוחקים, אתרים בהם נדרשת השקעה משמעותית ברשת ההולכה ו/או אתרים בהם נדרשת הטמנה של הרשת. מתקני אגירה אלו ייתנו מענה למתקנים סולאריים הזמינים להקמה בטווח הזמן הקצר.

ב. לקבוע הסדרה תעריפית שתאפשר מתן תשלומי זמינות למתקני אגירה אשר יזרימו אנרגיה בשעות הערב בהן צפוי מחסור בכושר ייצור. המכרז להקמת מתקני האגירה כתחליף לכושר ייצור יתן עדיפות להקמת האגירה באזורים בהם הקמת האגירה יתנו מענה לגודש ברשת.

ג. להמשיך ולתכנן את פיתוח הרשת כדי לתת מענה לחיבור הספקים גדולים יותר של מתקני אנרגיה מתחדשת, ולהשתמש באגירה כמענה זמני עד להשלמת הפיתוח. כך, מתקני האגירה יאפשרו להקדים את הקמת מתקני האנרגיה המתחדשת ולגשר על פער הזמנים עד להשלמת הקמת הרשת. עם הקמת קווי הרשת, ניתן יהיה לנייד את האגירה לאתרים אחרים.

תוכן עניינים

2	I. תקציר
5	II. רקע ושאלות המחקר
7	III. שיטת הניתוח
10	IV. עלות פיתוח הרשת
13	V. הערך הכלכלי של חיסכון בהקמת תחנות כח
14	VI. אגירה כתחליף לפיתוח רשת ההולכה במרחב אילת
17	VII. אגירה כתחליף להרחבת הרשת בנגב המערבי
18	VIII. אגירה כתחליף להרחבת רשת חלוקה
19	נספח א' - עלות פיתוח הרשת
20	נספח ב' - עלות האגירה
21	מקורות

II. רקע ושאלות המחקר

היחידה לתכנון ופיתוח טכנולוגי (תפ"ט) בחנה את ההשקעה שתידרש ברשת החשמל על מנת לחבר את ההספק הסולארי המבוקש. טבלה 1 מפרטת את ההשקעות הנדרשות לפי המלצת תפ"ט, בהשוואה לתוכנית המאושרת כיום לפיתוח הרשת. מהטבלה ניתן לראות שההשקעה הנדרשות בפיתוח הרשת לעמידה ביעד 2030 גבוהה לפחות פי 5 בהשוואה לתוכנית הרשת הנוכחית שאושרה על ידי שר האנרגיה בשנת 2018.

החלטת ממשלה 465 מ-25 באוקטובר 2020, קובעת יעד של 30% אנרגיה מתחדשת בשנת 2030. לפי בחינה מקדימה שנעשתה ברשות החשמל, היעד יושג בעיקר באמצעות אנרגיה סולארית. לשם כך, יותקנו בישראל במהלך העשור הקרוב מתקנים בהספק מצטבר של 13,000 MW, בנוסף לכ 3,000 MW סולארי המותקנים כיום. מתוך ההספק הנוסף, כ- 2,000 MW נמצאים בשלבים שונים של רישום והקמה והיתר יוקמו בעתיד.

העמידה ביעד מציבה בפני ישראל שלושה אתגרים עיקריים:

עבודה זו מתמקדת באתגר של פיתוח רשת ההולכה לעמידה ביעד 2030 ומבקשת לבחון האם ובאילו תנאים שימוש באגירת אנרגיה עשוי למתן או לדחות את הצורך בהקמת תשתית רשת נוספת.

א. איתור שטחים - אנרגיה סולארית מתאפיינת בשימוש גבוה בשטח יחסית לטכנולוגיות יצור אחרות. לאור הצפיפות הגבוהה של ישראל והשאיפה לשמור על השטחים הפתוחים, התוכנית לעמידה ביעד תתבסס במידת האפשר על שימוש דואלי בגגות, שטחים חקלאיים ומאגרי מים. עם זאת, יידרש גם שימוש בקרקעות להקמת ההספק הנדרש. במידת האפשר יעשה שימוש באתרים שאינם "שטחים פתוחים" כגון בסיסי צה"ל, או שימוש דואלי בשטחים חקלאיים.

ב. אגירת אנרגיה - שיעור גבוה של אנרגיה מתחדשת יחייב קליטת עודפי אנרגיה בשעות הצהריים, מיתון קצב עליית העומס בשעות הערב, ייצוב תדר ועוד.

ג. רשת - הקמת מתקנים באזורים מרוחקים מאזורי הביקוש מחייבת הקמה של תשתית רשת משמעותית אשר תקלוט את האנרגיה ותעביר אותה לאזורי הצריכה.

התוכנית	מספר תחמ"שים	מספר תחמ"גים	קווי 161 [ק"מ]	קווי 400 [ק"מ]
תוכנית מאושרת לפיתוח הרשת 2018-2022	17	1	560	90
השקעות נוספות נדרשות ברשת לעמידה ביעד 30% לפי תפ"ט	96	6	810-1130	470-720

טבלה 1: השקעות נדרשות ברשת ליעד 2030 בהשוואה לתוכנית פיתוח הרשת הנוכחית

פיתוח הרשת עשוי להוות גורם מעכב משמעותי בעמידה ביעד האנרגיה המתחדשת, מהסיבות הבאות:

א. הקמת תשתית רשת עשויה להמשך מעל 10-15 שנים, מתוך כך נדרשים לעיתים כ 10 שנים על מנת להשיג תוכנית מאושרת להקמת הקווים.
ב. גם לאחר השגת התוכנית המאושרת חברת החשמל עשויה להתקשות לפנות פולשים מתוואי הרשת וכתוצאה מכך הקמת הקווים מתארכת⁴.

לצד זאת, בשנים האחרונות התפתחה מאד טכנולוגיית האגירה, ולפי ההערכות מחירי האגירה צפויים לרדת משמעותית בשנים הבאות. לאור זאת, נדונה במדינות רבות ובגופי מחקר מובילים האפשרות להשתמש באגירה כתחליף להשקעות ברשת החשמל, או לפחות כאמצעי לדחיית ההשקעות הנדרשות ברשת. עבודה זו מתמקדת באתגר של פיתוח רשת ההולכה לעמידה ביעד 2030 ומבקשת לבחון האם ובאילו תנאים שימוש באגירת אנרגיה עשוי למתן או לדחות את הצורך בהקמת תשתית רשת נוספת

בבסיס העבודה עומדת ההבנה שהרשת המשמשת את המתקנים הסולאריים גדושה כיום בעיקר בשעות הצהריים, בהן היצור הסולארי מגיע לשיא, ואילו בשעות אחרות העומס על הרשת נמוך משמעותית. השימוש באגירה מאפשר לחבר מתקנים נוספים לרשת ולהסיט את השימוש של מתקנים אלו ברשת לשעות בהן הרשת פנויה. כך, ניתן להשתמש בתשתית הרשת הקיימת כדי לחבר מתקנים סולאריים נוספים, מבלי להקים תשתית רשת נוספת.

שאלות המחקר שנבחנו:

א. האם אגירה יכולה להוות תחליף יעיל כלכלית לפיתוח הרשת?
ב. אם כן - באיזה היקף ובאילו תנאים נכון להשתמש באגירה כתחליף לרשת?

4 לדוגמא, תוכנית פינני הבדואים צפונית לקו 31 בקישור

III. שיטת הניתוח

נבחנו אזורים שונים בישראל, הנבדלים בהיבטים הבאים: היקף האנרגיה המתחדשת הקיימת כיום באזור, הקיבולת הנוכחית של הרשת, פוטנציאל ההקמה של מתקנים נוספים באזור וההשקעות הנדרשות ברשת על מנת לקלוט מתקנים נוספים.

האזורים שנבחנו הם:

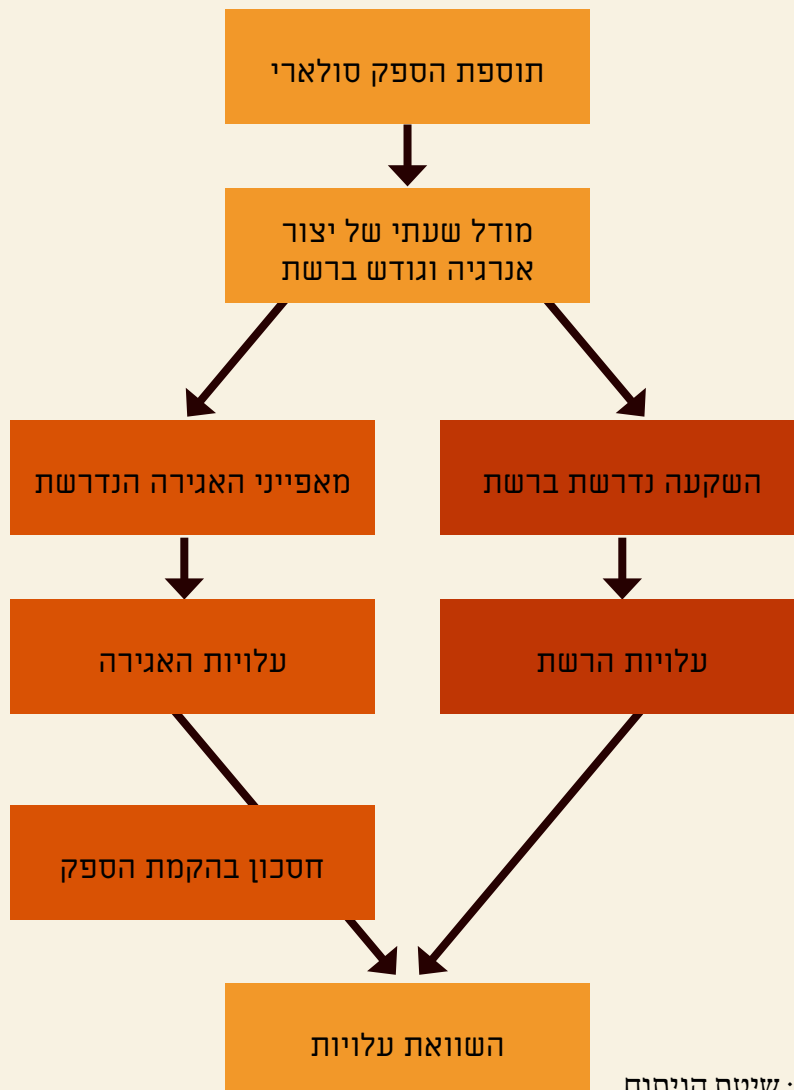
א. מרחב אילת, עד אזור מצפה רמון

ב. מרחב הנגב המערבי

ג. רשת חלוקה אופיינית אליה מחוברים מתקני יצור במתח גבוה ומתוכנן חיבור של מתקנים נוספים. מרבית המתקנים אשר יחוברו בעתיד צפויים להתחבר לרשת החלוקה⁵ מכאן החשיבות של תרחיש זה.

ביחס לכל אחד מהאזורים, הבחינה בוצעה בשני שלבים: א. מודל יצור ואגירה שעתי - ראשית, בנינו מודל שעתי של יצור האנרגיה המתחדשת. הנחנו תוספת הספק סולארי מעבר להספק המותקן הקיים ובחנו את עודפי האנרגיה אשר לא יוכלו להיקלט ברשת הנוכחית. ניתחנו את היקף האגירה שתידרש על מנת לקלוט עודפים אלו. שיטת ניתוח האגירה הנדרשת מפורטת להלן.

ב. ניתוח כלכלי - השווינו בין עלות האגירה הנדרשת לבין העלות של הקמת תשתית רשת באזור הנדון וביצענו בדיקות רגישות על מנת לבדוק באילו מחירים ובאילו היקפים של אנרגיה מתחדשת, הקמת האגירה עדיפה על פני פיתוח הרשת.



תרשים 1: שיטת הניתוח

5 מרבית המתקנים יחוברו לרשת החלוקה משום שנתח משמעותי מהמתקנים יקום על גגות

ניתוח מאפייני האגירה

- ניתוח מאפייני האגירה הנדרשת, בוצע כמפורט להלן:
- בנינו סימולציה שעתיית של יצור האנרגיה הסולארית בהתאם לפרופיל הייצור האופייני לישראל ולהספק המותקן. פרופיל הייצור מבטא את השינויים הצפויים ביצור על פני עונות השנה.
 - בחנו את עודפי היצור הצפויים בכל שעה בכל אחד מימות השנה, בהתאם להספק הסולארי ולקיבולת הנתונה של הרשת באזור.
 - בחנו בכל אחד מהימים את שיא ההספק שיידרש מהאגירה ואת כושר האגירה שיידרש על מנת לקלוט את עודף האנרגיה הצפוי באותו יום.
 - קבענו את קיבולת והספק האגירה הנדרשת:
 - 1) בחנו את כמות האנרגיה המתחדשת העודפת ביחס לקיבולת הרשת על פני כל אחת משעות השנה.
 - 2) בדקנו את ההספק ואת קיבולת האגירה הנדרשים על מנת שכמות האנרגיה שתיקטם לא תעלה על 5% מהאנרגיה המיוצרת. בדקנו את רגישות התוצאות לשינויים באחוז האנרגיה שתיקטם.
 - 3) לכושר האגירה הנדרש הוספנו כושר אגירה נוסף שידרש לאור מגבלת עומק הפריקה והטעינה (DoD).

כך למשל, אם קיבולת האגירה שנדרש כדי להגביל את קיטום האנרגיה ל- 5% הוא 100 MWh, ועומק הפריקה והטעינה הוא 90%, אזי קיבולת האגירה הנדרשת שתידרש היא $111 \text{ MWh} = 100/0.9$

טבלה 2 להלן מסכמת את ההנחות שהנחנו ביחס לאגירה. בהתאם ל- (NREL, 2019). הפרמטרים שנבחרו מייצגים מגוון רחב של דו"חות, כפי שניתן לראות בתרשים 2.

חישוב עלות האגירה

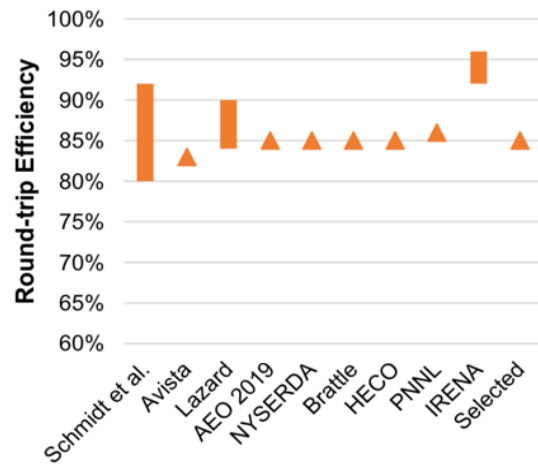
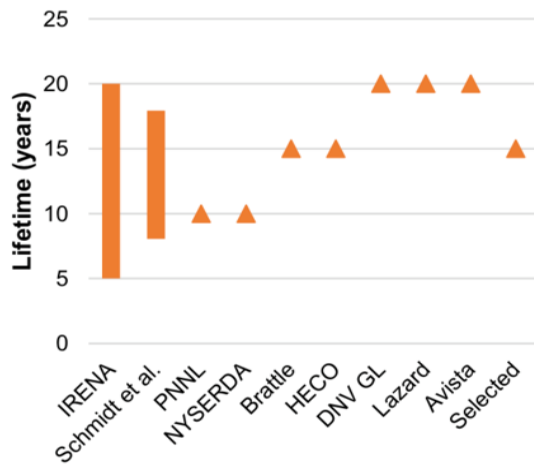
עלות האגירה כוללת את המרכיבים המפורטים להלן: א. עלות הקמה:

1) הנחנו כי מחיר האגירה ירד עד שנת 2030, בהתאם לתחזית המחיר שפורסמה על ידי Bloomberg. עם זאת, תחזית Bloomberg מניחה כי מחיר האגירה יוותר קבוע לאחר שנת 2030, ואילו אנו הנחנו כי מחיר האגירה ימשיך לרדת ב 2% לשנה, בהתאם לקצב הירידה שנחזה על ידי בלומברג לאחר שנת 2030 בתחזיות קודמות. טבלה 3 מסכמת את מחיר האגירה לפי Bloomberg והמחיר ששימש אותנו בעבודה זו⁶.

מאפיין אגירה	הנחת עבודה	הערות
Depth of Discharge [%]	90%	המשמעות היא כי היקף האגירה שתוקם = $1/0.9$ מהאגירה הנדרשת לפי הסימולציה
Round trip Efficiency [%]	87%	87% מהאנרגיה שתיטען למתקן האגירה תוכל להיות מוזרמת לרשת
Lifetime [years]	15	בתום תקופה זו תדרש החלפה של כל הסוללות (battery rack) לפי המחיר שיהיה באותה עת
Maintenance cost [of \$/KW %]	2.5%	האחוז מחושב כאחוז מעלות הספק חדש באותה שנה. לפי דוח NREL אחוז זה נמצא בחלק הגבוה של טווח ההערכות, משום שהוא מבטא גם את עלות חידוש ההספק כתוצאה מדגרדציה

טבלה 2: הנחות עבודה ביחס למתקני האגירה

⁶ בחינה לאחור של תחזיות המחירים מראה כי ירידת המחירים בפועל של האגירה ושל המערכות הסולאריות, היא מהירה יותר מתחזיות בלומברג. במחקר זה, לשם הזהירות, בחרנו להשתמש בתחזיות שמרניות.



תרשים 2 - אורך חיים ונצילות האגירה לפי מגוון דוחות (NREL, 2019)

באותו יום קיימת קיבולת רשת פנויה בה ניתן להשתמש כדי לפרוק את האנרגיה שנאגרה באותו יום. ב. חישבנו את אחוז הימים בשנה בהם קיבולת הרשת תספיק לפריקת האנרגיה שנאגרה. ג. בדקנו מהי תוספת ההספק המותקן שמעבר לו ירד משמעותית אחוז הימים בהם ניתן יהיה לפרוק לרשת את האנרגיה שנטענה לאגירה.

מגבלות הניתוח

מטבע הדברים הסימולציה מציגה באופן פשטני את מורכבות הרשת. כך למשל, הנחנו כי כלל היצור מתרחש בנקודה גאוגרפית אחת וכי כלל האילוצים של קיבולת הרשת מתרחשים גם הם בנקודה גאוגרפית אחת, ולא התחשבנו במגבלות ובאילוצים חשמליים, כגון מתח לאורך הקו. כך למשל, הנחנו כי כלל האנרגיה הסולארית במרחב אילת מיוצרת בנקודה אחת, והחלנו על יצור זה את כלל המגבלות הידועות על הולכת האנרגיה צפונה.

לשם פשטות התייחסנו לצריכה באזור המתקנים הסולאריים כחלק מקיבולת הרשת. כך לדוגמא, באזור אילת מותקנים 190 מגה-וואט סולארי, חלק מהאנרגיה נצרכת באזור אילת והיתר מועבר צפונה באמצעות רשת ההולכה. לשם פשטות התייחסנו לקיבולת הכוללת של רשת ההולכה יחד עם הצריכה המקומית.

למרות זאת, הממצאים בעבודה עשויים בראייתנו לאפשר הבנה של התנאים בהם אגירה עשויה להוות תחליף לרשת. מובן שתכנון בפועל של האגירה והרשת יחייב ניתוח מפורט יותר מעבר לכלים בהם השתמשנו בעבודה זו.

עלות ההקמה חושבה לפי העלות החזויה בשנת ההקמה (2023) מוכפלת בכמות האגירה הנדרשת בתוספת DoD. עלות תחזוקה:

1) השתמשנו בנתוני (NREL, 2019) לפיהם תידרש השקעה של כ- 2.5% אחת לשנה לתחזוקה והחלפה של חלק מהסוללות.

2) עלות זו תומחרה לפי העלות של סוללות חדשות בכל שנה בעתיד והוונה להיום לפי ריבית היוון של 4%.

ג. עלות החלפה בתום החיים:

1) הנחנו כי אורך החיים של הסוללות הוא 15 שנה.
2) בתום משך החיים, תידרש החלפה של הסוללות בלבד (battery rack), בהתאם לעלות הצפויה באותה שנה.

3) עלות זו מהוונת לערך נוכחי לפי ריבית היוון של 4%.

ד. עלות האיבודים:

1) חישבנו את כמות האנרגיה שתאבד באגירה בהתאם לסך כמות האנרגיה שתאגר בכל שעה לאורך השנה ואחוז האיבודים באגירה.

2) עלות האיבודים חושבה לפי העלות של קוט"ש אנרגיה מתחדשת במתקן סולארי המחובר למתח עליון אשר יקום בשנת 2023.

3) עלות האיבודים חושבה לאורך שנות חי מתקן האגירה והוונה להיום לפי ריבית היוון של 4%.

ניתוח מגבלת השימוש באגירה כתחליף לרשת

א. עבור הספק מותקן נתון של מתקנים סולאריים בדקנו, באמצעות המודל השעתי, בכל אחד מימות השנה האם

7 שיעור היוון זה נבחר משום שהוא משמש את רשות החשמל בניתוח כדאיות של פרויקטים מנקודת הראות המשקית.

8 משך חיים זה אופייני למתקן אגירה שבו צפוי מחזור יומי של טעינה ופריקה.

9 בפועל יתכנו עלויות נוספות לגריטת הסוללות, ותועלות משימושים אחרים בסוללות לאחר הגריטה.

IV. עלות פיתוח הרשת

פיתוח הרשת בתוכנית 2030

טבלה 3 מפרטת את תוכנית פיתוח הרשת שגובשה על ידי תפ"ט עבור כל אזור בישראל לשם עמידה ביעד 2030. העלויות בטבלה מחושבות לפי מפתח העלויות המפורט בנספח א. העמודה השמאלית מסכמת את עלות פיתוח הרשת לכל מגה-וואט של הספק סולארי נוסף מותקן.

ניתן לראות כי העלות הגבוהה ביותר לחיבור מתקנים סולאריים היא באזור אילת (2.26 מ"ש"ח למגה-וואט) ובאזור הנגב (2.14 מ"ש"ח למגה-וואט). בעוד שבאזור השרון המרכז וירושלים לא נדרשות כלל השקעות לפיתוח רשת ההולכה לשם קליטת הספק נוסף.

תוכנית הרשת המאושרת לאזור אילת

טבלה 4 מסכמת את ההשקעות המבוצעות כיום באזור מצפה רמון - פארן, אשר צפויות להשפיע על קליטת אנרגיה סולארית נוספת באזור אילת, לפי תוכנית פיתוח הרשת שאושרה בשנת 2018. השקעות אלו צפויות לאפשר חיבור של 300 MW סולארי נוסף, לפי עלות ממוצעת של 2.14 מ"ש"ח ל MW.

בדקנו את עלות פיתוח הרשת שתידרש על מנת לקלוט את פוטנציאל ההספק הסולארי הנוסף באזורים שונים בארץ, בהתאם לפרסומי תפ"ט ורשות החשמל.

לשם כך השתמשנו במקורות הבאים:

א. תוכנית לפיתוח הרשת לשם עמידה ביעד 2030 (תפ"ט, 2020) - במסגרת התוכנית, ניתחה היחידה לתכנון ופיתוח טכנולוגי בחברת החשמל (תפ"ט) את הקף ההשקעות שידרש באזורים שונים בארץ, על מנת לקלוט את פוטנציאל האנרגיה הסולארית אותו ניתן להקים בכל אזור.

ב. תוכנית הרשת המאושרת לאזור אילת¹⁰ - ריכזנו את הפרויקטים הרלבנטיים לאזור זה מתוך תוכנית הרשת שאושרה בשנת 2018 והערכנו את כמות ההספק הסולארי הנוסף שניתן יהיה לחבר לרשת לאחר השלמת הפרויקטים.

ג. ניתוח השקעות אופייניות נדרשות לחיבור מתקנים לרשת החלוקה - התייחסנו למקרה מייצג בו נדרשת הקמת קווי חלוקה ותוספת שנאי בתחמ"ש קיים על מנת לקלוט מתקנים סולאריים נוספים ברשת החלוקה.

עלות ההשקעות הנדרשות ברשת חושבו בהתאם לתעריף המאושר על ידי רשות החשמל (פרוט בנספח א')

תוכנית הרשת של תפ"ט ליעד 2030												
עלות ל MW [מ"ש"ח]	הספק סולארי נוסף MW	עלות כוללת [מ"ש"ח]	עלות תחזוקה רב שנתית מחוץ להיום [מ"ש"ח]	קווי 400			תחמ"ג: 161/400		קווי 161			אזור
				[מ"ש"ח]	ק"מ	[מ"ש"ח]	כמות	[מ"ש"ח]	ק"מ	[מ"ש"ח]	כמות	
1.57	2648	660	252.3	0	120	450	1	300	100	360	6	צפון
		840		0				360	120	480	8	
		2400		0				390	130	600	10	
0.00	1227	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	שרון מרכז וירושלים
1.47	1398	1970	84.3	320	40	450	1	360	120	840	14	שפלה ואיתן
1.41	1783	2020	127.5	400	50	450	1	450	150	720	12	נגב מערבי
		360		0	0	120	40	240	4			
2.14	3272	6630	378.9	2880	360	900	2	1050	350	1800	30	נגב
2.26	1261	2730	121.9	1200	150	450	1	360	120	720	12	אילת
1.6	11589	17610	965									סך הכל

טבלה 3 - עלות פיתוח רשת לעמידה ביעד 30% בשנת 2030

10 רשות החשמל, החלטה מס' 4 (1287) חובת היועצות בנושא עדכון תוכנית פיתוח למערכת המסירה לשנים 2018-2022

רבים תידרש בנוסף גם השקעה ברשת ההולכה.

טבלה 5 מסכמת את העלויות של שדרוג הרשת במקרה מייצג זה. ניתן לראות כי ההשקעה הנדרשת לכל מגה-וואט בתרחיש בו לא נדרשת השקעות ברשת ההולכה היא 0.6 מ"ש"ח למגה-וואט מותקן.

סיכום – עלות שדרוג הרשת לחיבור מתקנים סולאריים

תרשים 3 משווה את עלות שדרוג הרשת למגה-וואט מותקן בתוכניות השונות שנבחנו. ניתן לראות כי חיבור לרשת החלוקה, אם אינו כרוך בהשקעות נוספות ברשת ההולכה, הוא זול משמעותית ביחס לתוכניות פיתוח רשת ההולכה. טווח העלות של ההשקעות ברשת ההולכה הוא בין 1.5 ל 2.3 מ"ש"ח למגה-וואט סולארי מותקן, בעוד שבמקרה בו נדרשת השקעה ברשת החלוקה בלבד העלות הצפויה היא 0.6 מ"ש"ח למגה-וואט מותקן.

השקעות אופייניות נדרשות לחיבור מתקנים לרשת החלוקה

ברשת החלוקה לא נקבעה תוכנית פיתוח כוללת והפיתוח נעשה בהתאם לבקשות החיבור של המתקנים הסולאריים בכל אזור. לצורך הניתוח התייחסנו למקרה מייצג בעל המאפיינים הבאים:

א. **השנאה** – הנחנו כי חיבור הספק נוסף מחייב תוספת שנאי לתחמ"ש קיים. הנחנו כי העומס המירבי על שנאי זה הוא MVA 55 והוא יועמס עד 60% מהעומס המירבי.

ב. **קווי רשת חלוקה** – הנחנו כי המתקנים יחוברו בקווי רשת שאורכם הוא 10 ק"מ. הקיבולת המירבית של קו מתח גבוה היא MVA 16 ולכן בתרחיש זה ידרשו 2 קווים באורך מצטבר של 20 ק"מ.

ג. **קווי רשת הולכה** – התייחסנו למקרה בו לא תידרש השקעה נוספת ברשת ההולכה, על מנת לבחון תרחיש קצה של השקעה ברשת החלוקה בלבד. בפועל, במקרים

רכיב	פרוט	אורך/הספק	סוג יחידה	עלות ליחידה [מ"ש"ח]	עלות כוללת [משח]	שנת הקמה
קו 161 דו מעגלי	פארן מצפה רמון	38	ק"מ	3.87	147.0	2021
קו 161 מטמן	מצפה רמון	7	ק"מ	14.7	102.9	
קו 161 דו מעגלי	איתן דימונה	70	ק"מ		340.0	2027
השנאה	<u>שדרוג 3 שניאים בתחמ"ש</u> פארן	150	MVA		21.0	
תחזוקה	רב שנתי מהוון להיום				29.9	
סה"כ עלות					640.8	
עלות ל MW	300 MW				2.136	

טבלה 4 – עלות פיתוח רשת במרחב אילת לפי תוכנית הפיתוח המאושרת

רכיב	פרוט	אורך/הספק	סוג יחידה	עלות ליחידה [מ"ש"ח]	עלות כוללת [משח]
קו 22		20	ק"מ	0.60	12.0
השנאה	תוספת שנאי בתחמ"ש קיים	55	MVA		7.0
תחזוקה	רב שנתי מהוון להיום				5.1
סה"כ עלות					24.1
עלות ל MW בהנחה של שימוש ב 60 אחוז מהשנאי					0.6

טבלה 5 – עלות אופיינית לחיבור מתקנים ברשת החלוקה

עלות רשת למגהוואט סולארי מותקן



תרשים 3 - עלות פיתוח רשת לכל מגה-ואט סולארי באזורים שונים בארץ

V. הערך הכלכלי של חיסכון בהקמת תחנות כח

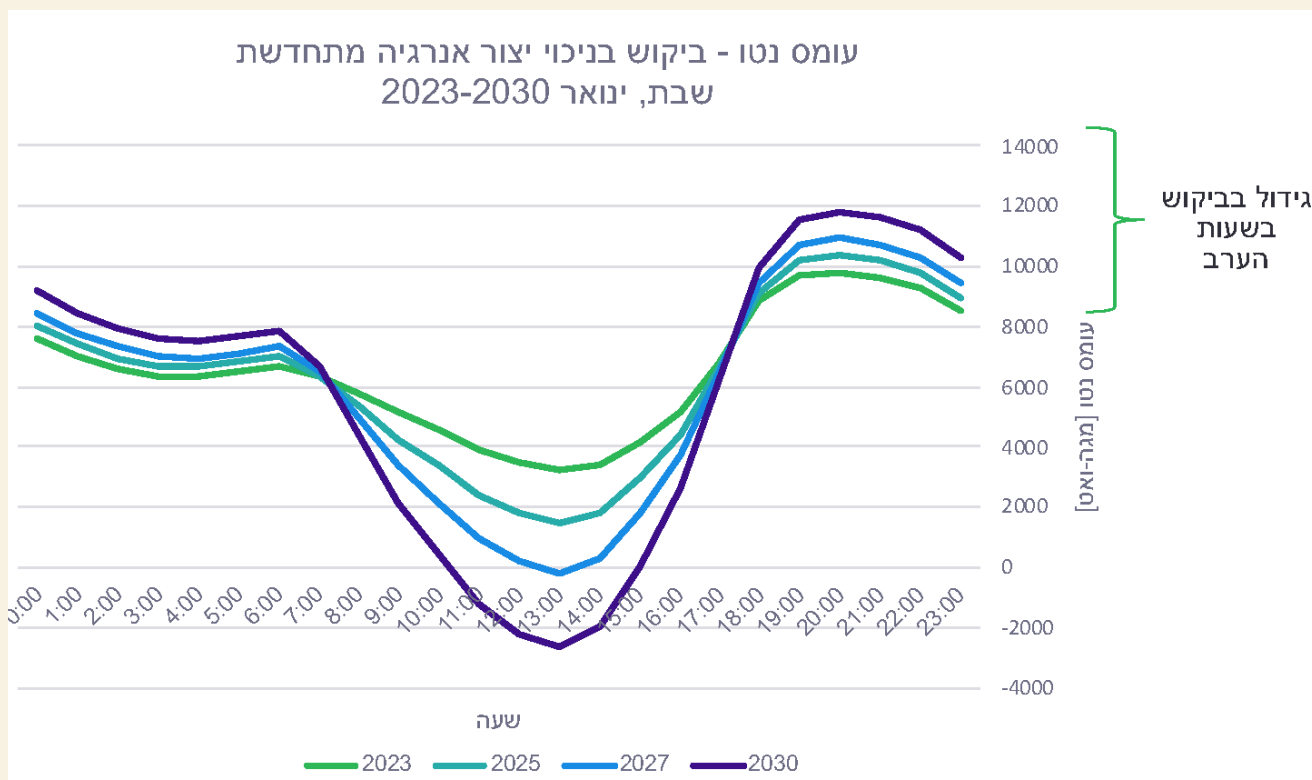
למתקן במחזור פתוח ("פיקר") לפי החלטה 914 מינואר 2014¹¹, משום שהעלות בהחלטה זו נקבעה ללא מכרז. לפי הנחה זו החיסכון למשק משימוש באגירה כחיסכון לפיקר הוא 2.6 מ"ש"ח ל MWh.

כמו כן, הנחנו כי מתקן אגירה יידרש בעתיד להעמיד 4 שעות אגירה ביחס לגודל ההספק על מנת להנות מתשלומי הזמינות, לפיכך, התשלום לאגירה עבור החיסכון בהחלפת תחנת הכח הוא 0.65 מ"ש"ח ל MWh. לדוגמא, אם מצאנו כי נדרש כושר אגירה של 100 MWh על מנת לאפשר חיבור הספק סולארי נוסף לרשת, כושר אגירה זה יהיה זכאי תשלום נוסף בערך נוכחי של 65 מ"ש"ח¹². תשלום זה יפרס וישולם למתקן האגירה כתשלום זמינות לאורך חיי המתקן בדומה לתשלום הזמינות לתחנת הכוח.

הגידול בביקוש, לצד הגידול ביצור האנרגיה המתחדשת, צפוי להביא לכך שבשנים הבאות יהיה בישראל מחסור בכושר ייצור בעיקר בשעות הערב. בימים אלו נדונה האפשרות לתת מענה למחסור זה באמצעות מתקני אגירה, אשר יטענו עודפי אנרגיה מתחדשת בשעות הצהריים ויפרקו את האנרגיה בשעות שיא הביקוש בערב.

האגירה אשר תקום לשם דחיית פיתוח הרשת, צפויה לפרוק את האנרגיה בשעות הערב, בהן עומס הייצור הסולארי יורד. לכן, מתקנים אלו עשויים לשמש במקביל גם כתחליף להקמת תחנת כוח.

לצורך הניתוח, הנחנו כי מתקני אגירה אשר יקומו בעתיד כדי לשמש תחליף לתחנות כח ייהנו מתשלומי זמינות עבור שרות זה. הנחנו, הנחה מחמירה, כי גובה תשלומי הזמינות יקבע לפי 80% מהעלות המוכרת



תרשים 4: הצורך בכושר ייצור נוסף בשעות הערב.

11 העלות המוכרת לפיקר לפי החלטה 914 היא 3290 ש"ח לקילוואט מותקן. אנו הנחנו הנחה שמרנית כי תשלום הזמינות לתחליף הספק יעמוד בעתיד על 80% מערך זה, קר- 2600 ש"ח לקליווט מותקן.

12 לפי תעריף הרשות, הפיקר יהיה זכאי בנוסף גם לתשלום עבור תחזוקה בסך 167 ש"ח לקילו ואט לשנה. הנחנו הנחה מחמירה כי האגירה לא תקבל תשלום זה, שכן עלות התחזוקה של האגירה חושבה בעלות הבסיסית של האגירה כתחליף לרשת.

VI. אגירה כתחליף לפיתוח רשת ההולכה במרחב אילת

במרחב אילת מותקנים כיום מתקנים סולאריים בהספק (DC) של כ-190 MWp, בכלל זה גם מתקן סולארי בתמנע אשר החל לפעול לאחרונה. החברה לאנרגיה מתחדשת אילת-אילות מבקשת לקדם הקמה של 400 MWp (DC) במרחב זה, על מנת למצות את פוטנציאל הקרקע והקרינה הגבוהה האופייניים לאזור.

כיום לא מתאפשרת הקמה של הספק נוסף במרחב אילת בשל מגבלות רשת ההולכה. פיתוח הרשת למרחב זה נעשה בשני שלבים:

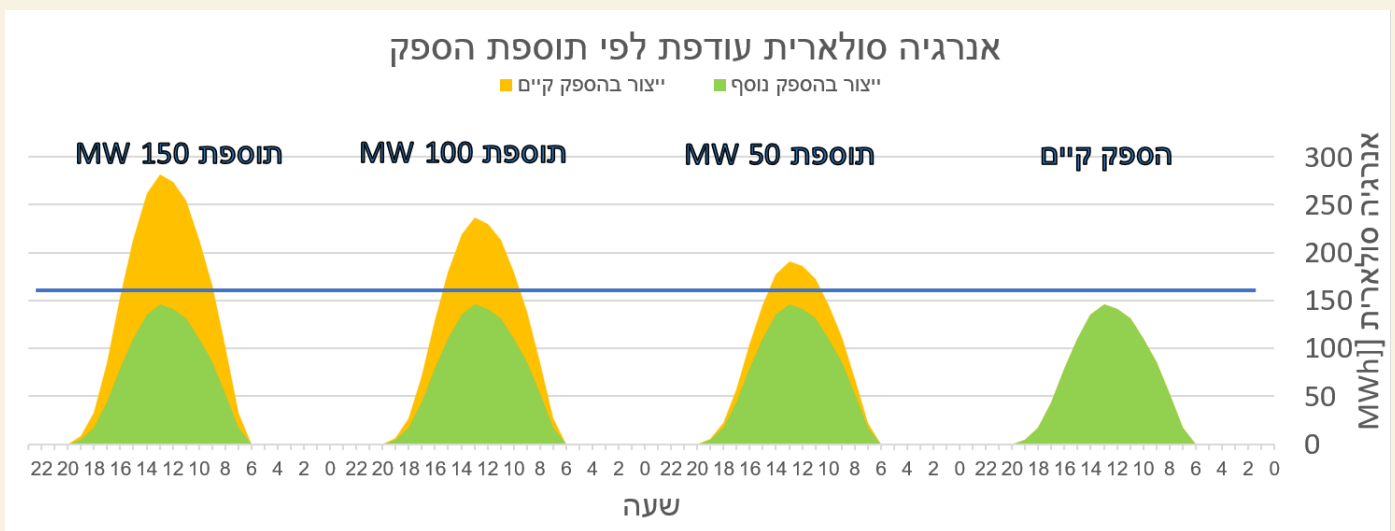
א. תוכנית פיתוח הרשת המאושרת לשנת 2022 - לפי תוכנית זו יוקמו קווי 161 קילו-וולט ותחמ"ש במרחב פארן. התוכנית תאפשר להערכתנו תוספת הספק של 300 MWp בעלות רשת של כ-2.1 מ"ש"ח ל-MWp

סולארי מותקן.

ב. תוכנית 2030 - לפי תוכנית זו יוקמו קווי 161, קווי 12,400 תחמ"שים ותחמ"ג ויתאפשר חיבור של מתקנים סולאריים נוספים בהספק מצטבר של כ-1260 MWp בעלות של כ-2.3 מ"ש"ח ל-MWp. הערכת תוספת הספק גבוהה יותר מהערכת אילת-אילות משום שהיא מתייחסת להקמת מתקנים קרקעיים נוספים.

בחנו את היקף ועלות האגירה עבור רמות שונות של הספק מותקן, בהנחה ש-5% מהאנרגיה תיקטם.

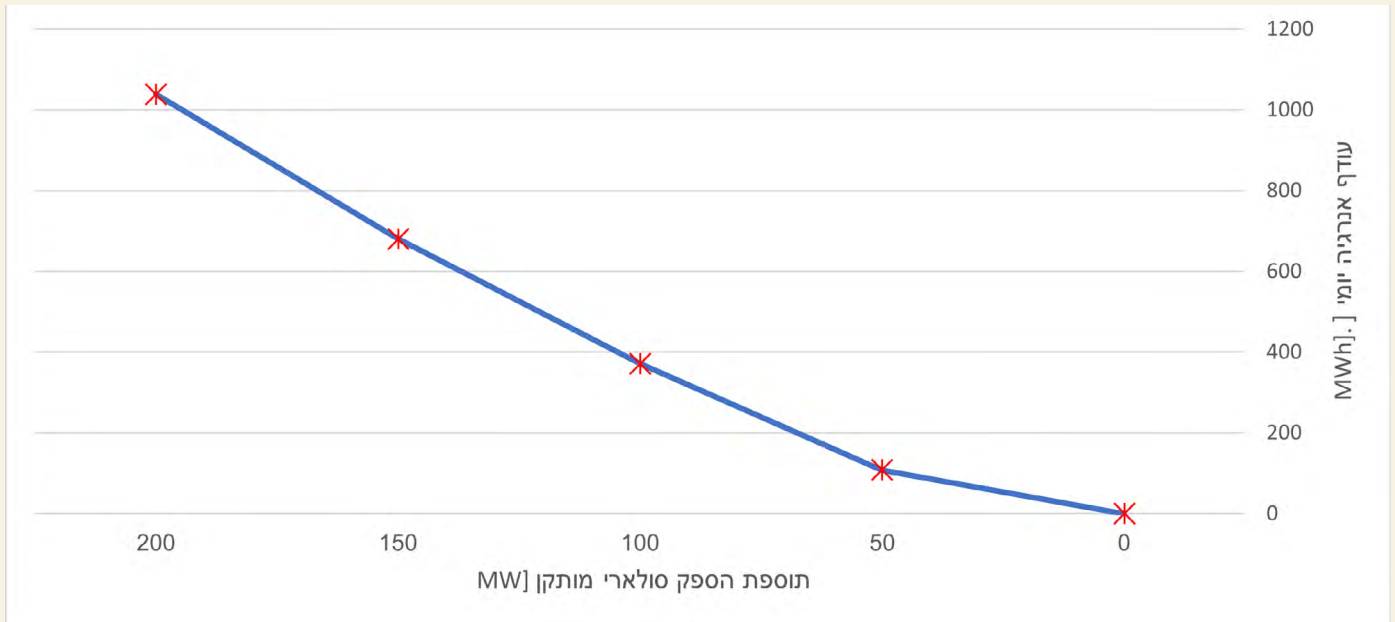
תרשים 5 מציג דוגמא לעודפי האנרגיה ביום אופייני בהתאם להספק המותקן במרחב אילת עד לתוספת של 150 MW.



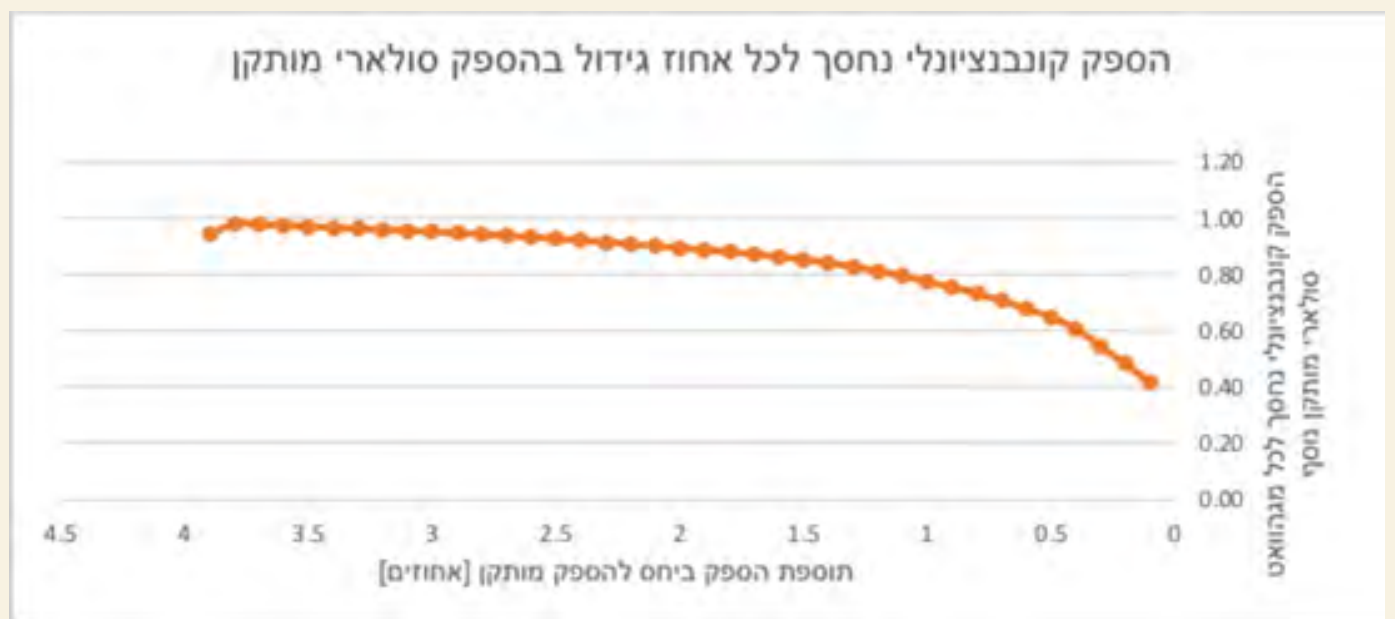
תרשים 5: עודפי אנרגיה במרחב אילת לפי הספק מותקן - יום אופייני.

תרשים 6 מציג את כושר האגירה שידרש עבור כל תוספת הספק מעבר ל 190 MWp הקיימים במרחב. ניתן לראות כי כושר האגירה הנדרש גדל פי 4, אף שתוספת ההספק גדלה פי 2. תוצאה זו נובעת מפרופיל היצור הסולארי, אשר מביא לכך שמספר השעות בהן קיים עודף יצור גדל מאוד ככל שההספק המותקן גדל.

תרשים 7 מציג את ההספק הקונבנציונלי שייחסך באמצעות האגירה שתוקם לקליטת עודפי האנרגיה. מהתרשים ניתן לראות כי כאשר התוספת הסולארית נמוכה, עודף האנרגיה המופנה לאגירה הוא קטן, ולכן התרומה להחלפת הספק בשעות הערב היא נמוכה, ככל שתוספת ההספק הסולארי גדלה, מרבית האנרגיה המיוצרת היא אנרגיה עודפת המופנית לאגירה ולכן התרומה להחלפת כושר הייצור גדלה.



תרשים 6 - כושר אגירה נדרש במרחב אילת לעומת תוספת הספק סולארי מותקן.



תרשים 7: תרומת תוספת הספק סולארי במרחב אילת להחלפת הספק קונבנציונאלי.

כל עוד תוספת ההספק אינה עולה על עשרות מגה-וואט. אם יתקבל תשלום נוסף עבור האגירה כתחליף ההספק, יש כדאיות לשימוש באגירה כתחליף לרשת גם עבור הספק גדול משמעותית.

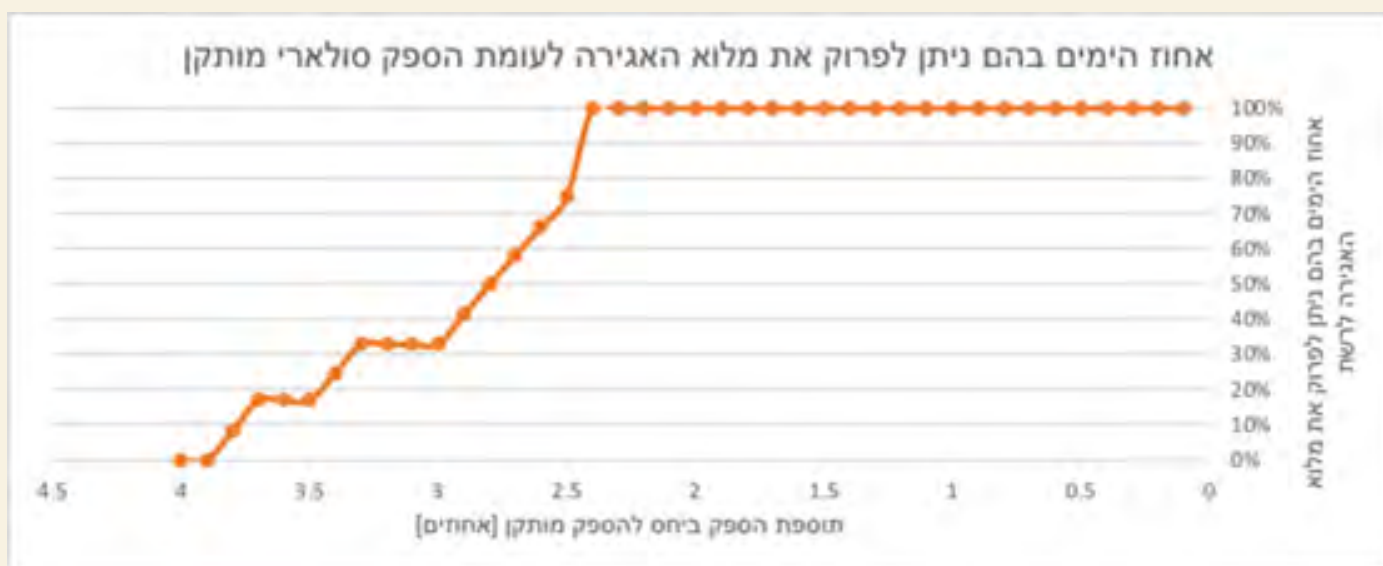
תרשים 9 מציג את אחוז הימים בהם קיבולת הרשת תהיה פנויה לפריקת האגירה, כפונקציה של כמות ההספק הנוסף באזור אילת. ניתן לראות כי קיבולת הרשת תגביל את השימוש באגירה רק לאחר שתוספת ההספק באזור אילת תעלה על 250% מעבר להספק המותקן הנוכחי (קרי, ההספק המותקן יכול להגיע ל 475 מגה-וואט לפני שקיבולת הרשת תגביל את פריקת האגירה).

תרשים 8 מסכם את עלות האגירה לכל מגהוואט סולארי נוסף באזור אילת בהתאם למחיר לקוט"ש אגירה ובהתאם להספק הסולארי הנוסף שיותקן באזור. סקלת הצבעים בטבלה, נקבעה כך:

- א. **ירוק** - השימוש באגירה כתחליף רשת כדאי, גם ללא תשלום נוסף כתחליף הספק.
 - ב. **צהוב** - השימוש באגירה כתחליף רשת כדאי רק אם בנוסף יתקבל תשלום עבור האגירה כתחליף הספק.
 - ג. **אדום** - השימוש באגירה כתחליף רשת אינו כדאי גם אם בנוסף יתקבל תשלום עבור האגירה כתחליף להספק.
- ניתן לראות כי ברמת המחירים הנוכחית (250 דולר לקוט"ש), עלות האגירה זולה בהשוואה לעלות הרשת,

עלות אגירה לתוספת ההספק [מש"ח/MW]							
2.3	עלות רשת במרחב [מש"ח/MW]	190	הספק קיים [MW]:	אילת	מרחב:		
תוספת הספק סולארי MW							
570	380	190	95	38	19		
300%	200%	100%	50%	20%	10%		
2.8	2.6	2.2	1.7	1.1	0.7	50	
3.5	3.3	2.8	2.2	1.5	0.9	100	
4.3	4.0	3.4	2.7	1.8	1.1	150	
5.1	4.7	4.0	3.2	2.1	1.3	200	
5.8	5.4	4.6	3.7	2.5	1.5	250	
כדאי ביחס לרשת		כדאי רק בהינתן גם חיסכון בהספק			לא כדאי גם בהינתן חסכון בהספק		

תרשים 8 - עלות אגירה לתוספת הספק - מרחב אילת.



תרשים 9 - אחוז הימים בהם קיבולת רשת ההולכה תאפשר פריקת אגירה במרחב אילת.

VII. אגירה כתחליף להרחבת הרשת בנגב המערבי

כח (הספק), תהיה כדאיות לשימוש באגירה כתחליף לפיתוח הרשת במחירי האגירה הנוכחיים, עבור הכפלה של ההספק המותקן.

גם בתרחיש זה, יש קיבולת פנויה ברשת לפריקת האגירה עד לתוספת הספק סולארי של 250% מעבר להספק הקיים.

אין בידינו נתונים מדוייקים על ההספק הסולארי המותקן במרחב הנגב המערבי, לצורך הניתוח הערכנו כי כיום מותקנים באזור זה כ-200 MWp. להערכת תפ"ט יש במרחב זה פוטנציאל ל-450 MWp נוספים (תפ"ט, 2020).

בפרק IV בחנו את עלות הרחבת הרשת במרחב זה לפי תוכנית 2030, והראינו כי העלות הממוצעת באזור הנגב המערבי היא כ-1.4 מ"ש"ח למגה-וואט סולארי מותקן.

בחנו האם יש כדאיות כלכלית להקים אגירה כתחליף לרשת במרחב זה. תרשים 10 מציג את עלות האגירה למגה-וואט מותקן בהתאם לתוספת ההספק באזור ולעלות לקוט"ש אגירה. מהתרשים עולה כי במחירים הנוכחיים, השימוש באגירה כתחליף לרשת כדאי רק עבור תוספת הספק של 10% בלבד. אולם, אם ישולמו תשלומי זמינות עבור השימוש באגירה כתחליף לתחנת

עלות אגירה לתוספת ההספק [מ"ש"ח/MW]							
מרחב:	נגב מערבי	הספק קיים [MW]:	200	עלות רשת במרחב [מ"ש"ח/MW]	1.4		
תוספת הספק סולארי MW							
	20	40	100	200	400	600	
	10%	20%	50%	100%	200%	300%	
מחיר \$/KWh האגירה	50	1.1	1.7	2.2	2.6	2.8	
	100	0.9	2.2	2.8	3.3	3.5	
	150	1.1	2.7	3.4	4.0	4.3	
	200	1.3	3.2	4.0	4.7	5.1	
	250	1.5	3.7	4.6	5.4	5.8	
לא כדאי גם בהינתן חסכון בהספק			כדאי רק בהינתן גם חיסכון בהספק			כדאי ביחס לרשת	

תרשים 10 - עלות אגירה ל-MW - מרחב נגב מערבי.

VIII. אגירה כתחליף להרחבת רשת חלוקה

בתרשים 11 ניתן לראות את עלות האגירה שתידרש לשם חיבור מתקנים נוספים סולאריים ברשת החלוקה. מהתרשים עולה כי האגירה מהווה תחליף כלכלי להקמת שנאי נוסף לשם חיבור מתקנים סולאריים לרשת החלוקה, רק אם המחיר לקוט"ש ירד מתחת ל 100 דולר. אולם, אם ישולמו תשלומי זמינות עבור שימוש באגירה כתחליף לתחנת כח (הספק), תהיה לשימוש באגירה כתחליף לרשת כבר במחירים הנוכחיים של האגירה, עד לתוספת הספק של 50% מעבר להספק הנוכחי.

גם בתרחיש זה, יש קיבולת פנויה ברשת לפריקת האגירה עד לתוספת הספק סולארי של 250% מעבר להספק הקיים.

מרבית המתקנים הסולאריים מתחברים כיום לרשת החלוקה. במקרים רבים השנאי מועמס עד לעומס המירבי שנקבע (60%) וחיבור מתקן סולארי נוסף מחייב תוספת שנאי. בדקנו האם ניתן לחבר מתקני יצור נוספים לשנאי הקיים מבלי לחרוג ממגבלת העומס באמצעות שימוש באגירה. בתרחיש זה הנחנו כי לא נדרשות השקעות נוספות ברשת ההולכה.

הנחנו כי לשנאי בהספק של 60 MVA, יועמס עד לעומס מירבי של 60% ויחוברו אליו מתקנים בהספק של 36 MW.

בפרק IV הראנו כי עלות הקמת קווי מתח גבוה נוספים ושנאי נוסף לשם חיבור מתקנים סולאריים ברשת החלוקה צפויה לעלות כ 0.6 מ"ש"ח לק"מ.

עלות אגירה לתוספת ההספק [מ"ש"ח/MW]								
0.6	עלות רשת במרחב [מ"ש"ח/MW]		42.12	הספק קיים: [MW]	חלוקה	מרחב:		
תוספת הספק סולארי MW								
126	84	42	21	8	4			
300%	200%	100%	50%	20%	10%			
2.6	2.4	2.0	1.6	1.0	0.6	50	מחיר \$/KWh האגירה	
3.2	3.0	2.5	2.0	1.3	0.8	100		
3.9	3.7	3.1	2.4	1.6	1.0	150		
4.6	4.3	3.6	2.9	1.9	1.2	200		
5.3	4.9	4.2	3.3	2.2	1.4	250		
כדאי ביחס לרשת		כדאי רק בהינתן גם חיסכון בהספק			לא כדאי גם בהינתן חיסכון בהספק			

תרשים 11 - עלות אגירה ל MW - רשת חלוקה

נספח א' - עלות פיתוח הרשת

עלות הקמה

טבלה 6 מציגה את עלות רכיבי הרשת, לפי תעריף הרשת שאישרה רשות החשמל בשנת 2018. תעריף זה שימש אותנו לחישוב העלות הכוללת של ההשקעות.

עלות תחזוקה

עלות התחזוקה של הרשת מחושבת לפי נוסחת ההכרה בתעריף שקבעה הרשות בשנת 2018 כמפורט להלן. בחישוב עלות התחזוקה של רשת החלוקה השתמשנו בתעריף תחזוקת רשת ההולכה ולא בתעריף המופיע בהחלטת תעריף הרשת, משום שתעריף הרשת מתייחס לתחזוקת רשת חלוקה לצרכנים. חישובנו את העלות הרב שנתית של התחזוקה בהנחה שהתעריף ישמר לאורך 25 שנה והיוונו אותו לערך נוכחי לפי ריבית היוון של 4%.

7. עלויות תפעול הולכה וחלוקה

1. עלויות התפעול במקטעי ההולכה והחלוקה יחושבו בהתאם לנוסחאות להלן:
1.1. עלויות התפעול במקטע הולכה:

(1)

$$Opex_i + NNCapex_i = 0.006186 \times len_i^{0.7829} \times cus_i^{0.3951}$$

כאשר:

$Opex_i + NNCapex_i$ – הוצאות תפעול במקטע ההולכה לרבות הוצאות הונית על

הרכוש המשותף המיוחס להולכה בשנה i , במיליוני ₪.

len_i – אורך רשת הולכה בשנה i , בק"מ;

cus_i – היקף ההשנאה המותקנת בשנה i , במגווא"א.

1.2. עלויות התפעול במקטע החלוקה:

$$(2) Opex_i + NNCapex_i = 9.5257 \times len_i^{0.2976} \times cus_i^{0.5540}$$

כאשר:

$Opex_i + NNCapex_i$ – הוצאות תפעול במקטע החלוקה לרבות הוצאות הונית על

הרכוש המשותף המיוחס לחלוקה של חברת החשמל בשנה i , במיליוני ₪.

len_i – אורך רשת החלוקה בשנה i , בק"מ;

cus_i – מספר הצרכנים המחוברים לרשת החלוקה בשנה i .

	עלות ליחידה	רכיב רשת
מש"ח / ק"מ	3	קו 161
מש"ח / ק"מ	8	קו 400
מש"ח	60	תחמ"ש
מש"ח	450	תחמ"ג
מש"ח / ק"מ	0.5	קו 22
מש"ח	7	תוספת שנאי בתחמ"ש קיים

טבלה 6 – עלות ההקמה של רכיבי הרשת לפי תעריף רשות החשמל¹³

13 רשות החשמל, ינואר 2018, בסיס תעריף הרשת עלויות מוכרות למקטעי ההולכה, החלוקה ושירותי הצרכנות במשק החשמל ותימחורן לשנים 2018-2022.

נספח ב' - עלות האגירה

טבלה 7 מציגה את תחזית מחיר האגירה לפי בלומברג. התחזית עודכנה בין השנים 2030-2040 כדי לשקף ירידה נוספת בשנים אלה.

Estimated total cost, assuming 2% reduction per year after 2030 (\$/KWh)	Bloomberg forecasted cost (\$/KWh)			שנה
	Total cost (\$/KWh)	Other costs (\$/KWh)	Battery rack (\$/KWh)	
278	278	146	132	2020
262	262	142	120	2021
246	246	136	110	2022
229	229	128	101	2023
215	215	122	93	2024
206	206	120	86	2025
193	193	113	80	2026
184	184	109	75	2027
175	175	105	70	2028
169	169	104	65	2029
161	161	100	61	2030
153	161	100	61	2031
145	161	100	61	2032
138	161	100	61	2033
131	161	100	61	2034
124	161	100	61	2035
118	161	100	61	2036
112	161	100	61	2037
107	161	100	61	2038
101	161	100	61	2039
96	161	100	61	2040

טבלה 7 - תחזית מחיר האגירה לפי שנה

רשות החשמל, 2020. הגדלת יעדי יצור אנרגיה מתחדשת לשנת 2030.

תפ"ט, 2020. הגדלת יעדי הייצור באנרגיה מתחדשת ל 30% בשנת 2030 - פרק הולכה,

791-180-20 מיום 31/3/2020

IEA 2020, [Energy Storage](#), IEA, Paris

IRENA, 2019. Innovation Landscape for a Renewable-Power Future: Solutions to integrate variable renewables. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi (ISBN 978-92-9260-111-9).

Fitzgerald, Garrett, F., Mandel, J., Morris, J., Touati H., 2015. The Economics of Battery Energy Storage: How multi-use, customer-sited batteries deliver the most services and value to customers and the grid. Rocky Mountain Institute.

Lazard 2020 - [Levelized Cost of Storage Analysis. version 6.0](#), Oct 19,2020

NREL 2019 - Cole, W., Frazier, W., Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage, *National Renewable Energy Laboratory*