



בחינה כלכלית וסביבתית לשיטות שונות לאגירת אנרגיות מתחדשות בערבה

ד"ר טלי זוהר¹, פרופ' איתי סנד², אייל ששון², דורית בנט³

דוח מסכם – שנה שלישית

יוני, 2024

le

¹ מו"פ מדבר וים המלח.

² החוג למדיניות ציבורית, אוניברסיטת תל אביב.

³ אילת-אילות אנרגיה מתחדשת.

תקציר

בעשורים האחרונים, תחום האנרגיות המתחדשות צבר תנופה משמעותית. הסיבות העיקריות לצמיחת השוק הן ירידה מתמשכת בעלויות הייצור, היתרונות הבריאותיים והסביבתיים הגלומים בהפקת חשמל באמצעות מקורות מתחדשים, הסכמים בינלאומיים הקוראים להגברת השימוש באנרגיה חלופית והמעבר הצפוי לשימוש במכונות חשמליות.

המעבר של משק האנרגיה לשימוש באנרגיות מתחדשות מציב אתגרים גדולים, כגון התמודדות עם הזמינות של משאב הטבע, כמו מהירות הרוח, כיוונה ואופי זרימתה במקרה של אנרגית רוח או שעות יום ושמים בהירים במקרה של אנרגיה סולארית; שונות בכמות החשמל המיוצרת ומוזרמת למערכת: כמויות גדולות של אנרגיה בשעות השיא לעומת מופעי שפל תדירים, וחוסר יציבות התדר במערכת ההולכה. למרות מגוון הפתרונות הטכנולוגיים שקיים היום לאגירת אנרגיה, היכולת לאגור אנרגיה בכמויות גדולות עדיין לא ממש נמצאת בהישג יד.

מחקר זה התמקד בהיבטים סביבתיים, חברתיים וטכנו-כלכליים של פתרונות אגירה שונים בערבה הדרומית (חבל 'אילת-איילות') מתוך מטרה לקבוע מהו התמהיל של מתקני האגירה שיבטיח עצמאות אנרגטית באמצעות: (1) היכולת ליצור זמינות מלאה של החשמל המיוצר באמצעות מקורות אנרגיה מתחדשת; (2) היכולת לווסת את העומסים של החשמל המיוצר באמצעות מקורות אנרגיה מתחדשת; וכן (3) היכולת לשמור על יציבות התדר במערכת ההולכה.

המחקר לא השיג את מטרתו לביצוע הערכה טכנו-כלכלית של טכנולוגיות האגירה השונות כיון הטכנולוגיות שנבחנו נמצאו כבעלות יעילות נמוכה מאד ולא הבשילו לכדי ישימות טכנולוגית. התרומה העיקרית של מחקר זה נובעת מהתובנות שהושגו לגבי החסמים החברתיים המשמעותיים ליישום טכנולוגיות אגירה בישראל. הממצאים מדגישים את התפקיד המכריע של היתרונות הכלכליים בהטמעת טכנולוגיות אגירה ועיצוב תפיסת הציבור לעידוד טכנולוגיות אלה. שיווק היתרונות הכלכליים לקהילה המקומית באמצעות יצירת דיאלוג פתוח עם התושבים ועידודם להשתתף בשלבים המוקדמים של תהליך התכנון, עשוי להגביר את נכונות הציבור לאימוץ טכנולוגיות אגירה. בנוסף, אנו מוצאים שיש צורך ביוזמות חינוכיות ממוקדות כדי לצמצם תפיסות מוטעות ולחזק את תפיסת הציבור בנוגע להטמעת טכנולוגיות אגירה. מצאנו כי תוכניות חינוך לא פורמליות בקנה מידה קטן (למשל, כחלק מתוכנית הלימודים בבית הספר או יוזמות ברמת הקהילה) יעילות במיוחד לחיזוק תפיסת הציבור ביחס לאימוץ טכנולוגיות אגירה. לפיכך, שילוב של אסטרטגיות חינוכיות הוא הכרחי כדי להבטיח התקדמות לקראת אימוץ נרחב של טכנולוגיות אגירה. ממסקנות אלו נגזרות מספר השלכות מדיניות. ראשית, ראשי ערים ומקבלי ההחלטות צריכים להגביר באופן פעיל את המודעות הציבורית לחשיבותן של טכנולוגיות אגירה בהפחתת שינויי האקלים ובמעבר לכלכלה ללא פחמן. שנית, בעלי עניין ומקבלי החלטות צריכים לעודד מעורבות אזרחית בתוכניות בית ספר ובפרויקטים קהילתיים תוך התמקדות ביתרונות הסביבתיים והכלכליים. שלישית, על בעלי העניין ומקבלי החלטות להשקיע משאבים בהגברת הנגישות ובסיוע טכני כדי להקל על הבירוקרטיה הכרוכה בהתקנת מערכות אגירת אנרגיה מקומיות.

מקבלי החלטות ובעלי עניין שרוצים לקדם פרויקטים כאלה בצורה מיטבית נדרשים לפתח אסטרטגיה להשגת תמיכה ציבורית. יצירת דיאלוג פתוח עם הציבור ושיווק היתרונות הכלכליים יהפכו את תהליך היישום של טכנולוגיות האגירה ליעיל יותר וישיג ביצועים טובים יותר.

Abstract

Energy storage technologies (ESTs) play an important role in integrated, decentralized renewable energy systems. However, the lack of public acceptance and awareness of ESTs can significantly delay or block the implementation of renewable energy projects. This study aims to identify the societal and legislative barriers to implementing ESTs using the southern Arava region in Israel as a case study. This research involves semi structured interviews with decision-makers, such as government officials, stakeholders, and business owners. Additionally, an online survey is conducted to understand the knowledge and awareness of residents of this region about energy transition and the various types of ESTs. The findings indicate that while 83% of respondents supported EST installations outside their residential areas or workplaces, 27% opposed having them within their residential areas. Approximately 11% of respondents stated that ESTs negatively impact the landscape, and approximately 6% expressed concern about the health-related hazards caused by local energy storage facilities. Our findings not only highlight that decision-makers consider the economic benefits to the local community as the main driving factor for public acceptance of such installations but also show that ESTs are a critical step toward achieving energy independence and increasing urban resilience to cope with unexpected crises.

תוכן עניינים

5	1. מבוא
6	1.1 אגירת אנרגיה
6	1.2 מיקרוגריד וניהול רשת חשמל חכמה
7	1.3 שוק חשמל משוכלל
9	1.4 עצמאות אנרגטית בישראל
10	1.5 שאלת המחקר, הנחות העבודה ומטרות המחקר
11	2. חבל אילת-אילות
13	3. הערכה טכנו-כלכלית
13	3.1 אגירה בטכנולוגיה של אויר דחוס בקיבוץ יהל
13	3.2 אגירה באמצעות גלגלי תנופה בקיבוץ יוטבתה
13	3.3 אגירה בסוללות מלח בקיבוץ קטורה
13	3.4 אגירה בסוללות סודיום חנקתי בקיבוץ אליפז
14	4. הערכת חסמים חברתיים
14	4.1 סקר חברתי
17	4.2 ראיונות
17	4.3 תוכניות להתייעלות אנרגטית
18	5. סיכום ומסקנות
20	ביבליוגרפיה

1. מבוא

במהלך העשורים האחרונים, שוק האנרגיה המתחדשת צומח בהתמדה. בשנת 2021 הושג שיא התקנת מתקני אנרגיה מתחדשת בעולם, בהספק כולל של למעלה מ-314 גיגה-וואט (REN21, 2023). השיפורים הטכנולוגיים וההפחתה המשמעותית בעלויות הייצור של פאנלים סולאריים וטורבינות רוח הביאו לתחילתו של עידן חדש שבו ייצור חשמל באמצעות אנרגיית שמש ורוח זול משימוש בדלק מאובנים או גז טבעי (UN Environment, 2020; IRENA, 2021; Bloomberg, 2021). עם זאת, הזמינות והיציבות של ייצור החשמל מעניקות יתרון לדלקים מאובנים ולגז טבעי על פני מקורות אנרגיה מתחדשים. אנרגיה סולארית, לעומת זאת, תלויה בזמינות השמש ובשמים בהירים. באופן דומה, אנרגיית הרוח תלויה בזמינות הרוח. בנוסף, אנרגיית השמש והרוח יוצרות שונות בין-יומית בייצור החשמל: כמויות חשמל גדולות המופקות בשעות השיא בהשוואה לשעות שפל בהפקה נמוכה.

המשבר הכלכלי שהתפתח בעקבות נגיף הקורונה גרם לירידה חדה בביקוש לאנרגיה, הדומה בהיקפה לירידה בביקוש לאנרגיה שנצפתה במהלך המשבר הכלכלי העולמי של שנות ה-30 ובאירופה לאחר מלחמת העולם השנייה. הביקוש העולמי לאנרגיה צפוי להישאר נמוך בשנת 2021 עקב אילוצי תחבורה וההאטה בפעילות הכלכלית העולמית (International Energy Agency, 2020). עם זאת, בעשור הקרוב צפויה עלייה בביקוש העולמי לאנרגיה, בין היתר, בשל ההתפתחות המואצת של כלכלות מתפתחות, הגידול באוכלוסייה העולמית, הביקוש למים לחקלאות והגידול בביקוש לרכבים חשמליים. הביקוש לאנרגיות מתחדשות צפוי אף הוא לגדול, בעיקר בשל עלויות תפעול נמוכות ועלייה מתמדת ביעילות מתקני האנרגיה המתחדשת. מחקר של סוכנות האנרגיה הבינלאומית (IEA) ב-30 מדינות באירופה, אסיה וצפון אמריקה, מראה ירידה ממוצעת של כ-25% בביקוש לאנרגיה מאמצע מרץ עד אמצע אפריל 2020 הירידה בביקוש נצפתה בכל מקורות האנרגיה (כולל גז טבעי ואנרגיה גרעינית), למעט מקורות אנרגיה מתחדשים - שם נצפתה עלייה בביקוש, בעיקר לאנרגיית רוח ואנרגיה סולארית.

משבר האנרגיה שפוקד את אירופה על רקע המחסור בדלקים בעקבות המלחמה שפרצה בין רוסיה ואוקראינה, הוכיח את החשיבות של עצמאות אנרגטית. סוכנות האנרגיה העולמית מזהירה כי המשבר שאיתו העולם מתמודד כעת הינו רק רמז לבאות – ההשפעות הגלויות והסמויות של שינוי האקלים (IEA, 2022). לדעת סוכנות האנרגיה העולמית הפלישה של רוסיה לאוקראינה עשויה להיות נקודת מפנה היסטורית לאימוץ מערכת אנרגיה נקייה ובטוחה יותר. יותר ויותר מדינות שאנרגיות מתחדשות המבוססות על ניצול של משאבי הטבע המקומיים מהוות אמצעי להשגת עצמאות אנרגטית והפחתת התלות בדלקים פוסיליים.

בעוד שמדינות רבות רואות באנרגיות המתחדשות כאמצעי לפתרון לשתי הבעיות המרכזיות: השגת עצמאות אנרגטית ומעבר למשק מאופס פליטות גזי חממה, מדינות אחרות נוטות להקמת מתקני ייצור חשמל גרעיניים. כך למשל, מדווחת סוכנות האנרגיה העולמית שארה"ב, בריטניה, צרפת, סין, פולין והודו הכריזו לאחרונה על שינוי אסטרטגי בתמהיל מקורות אנרגיה לייצור חשמל, הכוללות ייצור חשמל משמעותי באמצעות תחנות כח גרעיניות, תוך קידום של רגולציה שתאפשר פיקוח ונהלי בטיחות נאותים במתקני הגרעין (IEA, 2022).

1.1 אגירת אנרגיה

אגירת אנרגיה היא המפתח להשלמת המעבר למשק חשמל דל פחמן. מערכות אגירת אנרגיה מאפשרות לייצב את אספקת החשמל ולהביא לשילוב אופטימלי של מקורות אנרגיה מתחדשת ברשת החשמל. ברוב מדינות אירופה, הביקוש לפתרונות אגירה עולה עם העלייה ביעדים הלאומיים לייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשים. במדינות מסוימות (כגון דנמרק), היקף ייצור החשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת עולה על 50% (סוכנות האנרגיה הבינלאומית, 2020). ככל ששוק האנרגיה המתחדשת גדל יותר, כך גדל הביקוש לפתרונות אגירה.

למתקני אגירה תפקיד מרכזי ביצירת עצמאות אנרגטית מקומית. מערכות אגירה בקנה מידה קטן מאפשרות יצירה של מערכות מיקרו-גרید (Micro-Grid) בהיקפים שונים, שעשויות להוות תחליף להרחבת תשתית ההולכה והחלוקה או חיזוק התשתית הקיימת. כך, למשל, כחלק מאחד מפרייקטי אגירת האנרגיה הגדולים ביותר שמקדמת טסלה באי טאו שבאוקיינוס השקט, הותקנה מערכת מיקרוגרید מתקדמת של פאנלים סולאריים וסוללות ליתיום-יון (PCREEE, 2016). המערכת מספקת חשמל המיוצר באמצעות סוללות נטענות תוך 7 שעות ואספקת חשמל רציפה למשך שלושה ימים רצופים ללא שמש ל-800 תושבי האי.

קיימים חמישה סוגים של טכנולוגיות אגירת אנרגיה: מכנית, אלקטרוכימית, חשמלית, כימית ותרמית (Zhou et al., 2015; Anastasovski et al., 2024). טכנולוגיות אגירה מכניות משתמשות באנרגיה פוטנציאלית (למשל, אגירה שאובה ואוויר דחוס) או אנרגיה קינטית (למשל, גלגלי תנופה) כדי לאגור את האנרגיה ולהמירה לאנרגיה חשמלית לפי דרישה, במיוחד בתקופות של שיא הביקוש (Mahmoud et al., 2020). אגירה אלקטרוכימית ממירה את האנרגיה הכימית האצורה בחומרים הפעילים שלה לאנרגיה חשמלית באמצעות תהליך אלקטרוכימי המבוסס תגובות כימיות של חמצון וחיזור (Costa et al., 2020). טכנולוגיות אגירה חשמליות יכולות לאגור אנרגיה חשמלית באופן ישיר, כגון קבלים חשמליים דו-שכבתיים ומוליכי-על בעלי תכונות מגנטיות. סוג זה של טכנולוגיה מתאפיין בנצילות גבוהה, צפיפות אנרגיה נמוכה, יעילות גבוהה ודגרציה נמוכה לאחר מחזורים חוזרים ונשנים של טעינה ופריקה (Rasmussen et al., 2013). טכנולוגיות אגירה כימיות כוללות בעיקר דלקים ביולוגיים וכימיקלים מתחדשים (כגון מימן, תאי דלק ופחמימנים) (Anastasovski et al., 2024). טכנולוגיות אגירה תרמיות אוגרות אנרגיה באמצעות חימום של חומרים בעלי צפיפות מסוימת לטמפרטורות גבוהות. טכנולוגיות אלו מסתמכות על העובדה שכל התגובות הכימיות סופגות או משחררות חום, ולכן תגובה הפיכה שסופגת חום כאשר היא פועלת בכיוון אחד תשחרר חום בכיוון השני (Rasmussen et al., 2013).

1.2 מיקרוגרید וניהול רשת חשמל חכמה

רשת חשמל חכמה היא רשת חשמל המתבססת על טכנולוגיות תקשורת ויישומים המאפשרים ניהול יעיל של ייצור חשמל, הפצה וצריכה של חשמל במגמה להביא לשיפור באמינות רשת החשמל, חיסכון עלויות ושילוב של אנרגיות מתחדשות. רשת חכמה מחייבת שימוש במונים חכמים, המודדים את צריכת החשמל כל מספר דקות ומשדרים את קריאת המונה לחברת החשמל ברשת קווית או אלחוטית. מידע זה מאפשר לחברת החשמל לנטר במדויק את צריכת החשמל של כל צרכן ולזהות ניתוקים בזמן אמת. כמו כן, רשת חכמה מצריכה ציוד המאפשר ניטור ובקרה של ניתוב החשמל ברשת כדי לשפר את זמינות החשמל לצרכנים. שילוב של אנרגיה מתחדשת ההופכת אנרגיה

נקייה, כגון אנרגיית השמש ואנרגיית רוח, לחשמל. בעולם קיימים פרויקטים רבים של רשת חכמה בעולם וזאת לאור הרצון לנהל ולתחזק ביעילות את רשתות החשמל, ובנוסף כדי לעמוד ביעדים של הקטנת פליטת גזי החממה. כך למשל, התוכנית 20/20/20 באיחוד האירופי נועדה להביא לשימוש של 20% בייצור חשמל באנרגיות מתחדשות עד שנת 2020 ולהפחתה של 20% בפליטת גזי החממה (European Environment Agency, 2021). כדי לתמוך ביעד זה הותקנו מונים חכמים במספר מדינות באירופה והותקנו טורבינות לייצור חשמל באמצעות רוח. ברשתות חשמל שאינן נחשבות "חכמות" ניטור ההתרחשויות ברשת המיושנות הוא מוגבל, ולא מסופקים נתונים מדויקים ונקודתיים אודות עומסים או תקלות הנובעות מפגעי טבע או עומסי יתר. מגבלה זו גורמת לכך שנדרש זמן רב לאיתור ותיקון תקלות ברשת החשמל וכתוצאה מכך נגרמים לתעשייה נזקים כלכליים וחוסר נוחות לצרכנים. בנוסף, הגידול המתמיד בצריכת החשמל דורש הקמת תחנות כוח חדשות אשר חלקן גורמות לזיהום ובאות בניגוד ליעדים גלובליים של הקטנת פליטה של גזי חממה.

במקרים בהם מדובר במערכות חשמל מאד גדולות ועל מנת לנהל אותן ביעילות יש לחלקן למיקרוגרידים כך שמערכת תנוהל ביעילות תוך אופטימיזציה של מתקני היצור, אגירה וצריכת אנרגיה בגבולות גיאוגרפיים מסוימים (Hirsch et al., 2018). למעשה, מדובר ברשתות חשמל מקומיות שיכולות לתפקד כ"אי אנרגטי" עצמאי של ייצור, חלוקה וצריכה (פרג & לוי, 2018). רשת חשמל כזו יכולה לכלול שכונת מגורים, מחנה צבאי, בית חולים, מוסד אקדמי, אזור תעשייה, קניון וכו'. צרכן ברשת המקומית יכול לייצר חשמל באמצעות אנרגיה מתחדשת, לצרוך את החשמל המיוצר באופן עצמי ולמכור את העודפים לצרכנים אחרים ברשת. המחירים גמישים ומאפשרים ניהול מיטבי של עומסי הרשת תוך עידוד לחיסכון בצריכה. היתרון הסביבתי הוא כפול – הגדלת היקפי הייצור באמצעות אנרגיה מתחדשת וצמצום אובדן האנרגיה בהולכת החשמל למרחקים ארוכים. מחקר חדש שבחן את היתרונות של המעבר של 90% ממשק החשמל בארה"ב לרשתות חכמות בשילוב עם סוללות אגירה עד לשנת 2035 מצביע על חיסכון משמעותי בעלויות האנרגיה, ירידה משמעותית בפליטת גזי חממה ומזהמים ועליה במספר מקומות התעסוקה (באופן ישיר ובאופן עקיף) ביחס למצב של 'עסקים כרגיל' (University of California Berkeley, 2020).

1.3 שוק חשמל משוכלל

כיום ישנו מספר מצומצם של משקי חשמל בעולם הפועלים כמשקי חשמל תחרותיים. המעבר לשוק תחרותי מחייב תכנון, רגולציה מתאימה ותשתית טכנולוגית מתקדמת. שוק החשמל של קליפורניה למשל, נחשב לאחד מהשווקים המשוכללים והמפותחים בעולם. חברת הניהול של קליפורניה (The California ISO) אחראית על ניהול המערכת בכל מערב ארצות הברית ומנהלת את זרימת החשמל עבור הרשת המשרתת כ-80% מאוכלוסיית קליפורניה וחלק מנבאדה. שוק החשמל הסיטונאי בקליפורניה מהווה שוק התחרותי המספק חשמל לכ-30 מיליון צרכנים (EPSA, 2021).

בשוק האנרגיה הסיטונאי של קליפורניה, חשמל נקנה ונמכר בשוק האנרגיה בדומה לבורסה – יצרני חשמל מציעים לשוק את המחיר הנדרש כדי לכסות את עלויות ייצור החשמל, ולאחר מכן המספקים מציעים מחיר עבור החשמל המוצע כדי לענות על ביקוש האנרגיה של הלקוחות שלהם. לאחר מכן ההצעות מדורגות מההצעה הנמוכה ביותר לגבוהה ביותר, ומחיר שיווי המשקל נקבע היכן שהיצע והביקוש נפגשים. היצרנים מקבלים את מחיר הסליקה שנקבע מהמספקים.

בניגוד למודל התחרותי המתואר לעיל, בישראל, השוק העיקרי של החשמל מנוהל אחרת, כך שחברת ניהול המערכת – נגה, רוכשת חשמל מהיח"פ בהתאם לתעריף שהוסכם עליו בחוזה האסדרה שנחתמו מולם. בנוסף לכך, בשוק משני, מתקיימות עסקאות בזירה יומית שבה מנהל המערכת רוכש חשמל מהיח"פ בהתאם לביקוש היומי. רכישה זו נעשית במסגרת אסדרות מול יצרני חשמל המציעים מידי יום מחיר מכירה ברמה חצי שעתית ולפי זה מנהל המערכת מחליט אם הוא רוכש חשמל מהיצרן (ההעמסה מתבצעת מההצעה הנמוכה ביותר לגבוהה ביותר). בנוסף, רוכשת נגה חשמל מהחברה בהתאם לביקושים שלא סופקו על ידי היח"פ על פי תעריף בלעדי שנקבע לה על ידי רשות החשמל.

כחלק משורת צעדים שנועדו להגדיל את התחרות במקטע האספקה, קבעה הרשות בהחלטה מס' 61611 מיום 13 באוקטובר, 2021 עקרונות לפרישת מונים חכמים בקרב הצרכנים הביתיים שיאפשרו להם להיחשף לתחרות בתחום האספקה ולקבל שירותים נוספים (רשות החשמל, 2021א). ביום 29 ביוני 2022 פרסמה רשות החשמל עדכון להחלטה זו, אשר מאשרת הגדלת מכסת הפעימה הראשונה לשיוך מהיקף של 500 מגה-וואט להיקף של 540 מגה-וואט ככל שמנהל המערכת יאשר ניווד לכלל בקשות השיוך שהוגשו (רשות החשמל, 2022א). במהלך שנת 2022 וכחלק מפתיחת מקטע האספקה לתחרות פרסמה רשות החשמל מספר החלטות לפיהן מוענקים רישיונות אספקה לתאגידים אשר אין בבעלותם מתקני ייצור, כך שליום 31 בדצמבר 2022 ניתנו בסה"כ כ-37 רישיונות אספקה לתאגידים אשר אין ברשותם אמצעי ייצור.

בנוסף, עדכנה רשות החשמל ביום 23 בדצמבר 2021 את אמות המידה ליצירת אבחנה והפרדה בין מקטעי חלוקה ואספקה עבור סוגי הצרכנים השונים המידה (רשות החשמל, 2021ב). בחודש ינואר 2022, הגדילה רשות החשמל למספקים המורשים את מכסת האספקה (רשות החשמל, 2022ב) וביום 17 במרס, 2022 פרסמה רשות החשמל הצעת החלטה לאסדרת כללים לפעילותם של מתקני ייצור מבזורים, ובפרט מתקנים סולאריים ומתקני אגירה. החלטה זו באה על רקע המדיניות שמקדם משרד האנרגיה לפתיחה של מקטע האספקה לתחרות מלאה. על פי עקרונות האסדרה שפורסמה, יצרנים המקימים מתקני ייצור ואגירה מבזורים, קרי המחברים לרשת חלוקת החשמל, יוכלו למכור חשמל לצרכנים באמצעות מספקים פרטיים או לחברת החשמל לפי בחירתם. כך יוכלו המספקים להציע לצרכן חבילות שונות, המבוססות על מקורות אמצעי הייצור מהם הם רוכשים את החשמל, למשל חבילות המבטיחות רכש מאנרגיות מתחדשות בשיעור כזה או אחר, לצרכנים שמעוניינים בכך.

ביום 7 בספטמבר 2022 פרסמה רשות החשמל את החלטה מס' 63704 בנושא מודל שוק בחלוקה המסדירה את פעילותם של מתקני הייצור המחברים או משולבים ברשת החלוקה ובפרט את האפשרות שלהם למכור חשמל בעסקאות בילטרליות למספקים פרטיים ללא אמצעי ייצור, תוך הסרת המכסות למספקים, כחלק מפתיחת שוק האספקה לתחרות (רשות החשמל, 2022ג). ביצוע עסקאות בילטרליות בין יצרנים ומספקים פרטיים יתאפשר החל מיום 1 בינואר 2024. שוק חשמל זה מתבסס ברובו על יכולות אגירה טכנולוגיות ניטור רשת של רשתות חכמות.

יצוין כי מספקים פרטיים יכולים לספק חשמל רק לצרכנים שהתקינו מונים חכמים. במהלך שנת 2021 נפתח מקטע האספקה ליזמים פרטיים. בחודש ספטמבר 2021 הוענקו לראשונה 22 רישיונות למספקים מורשים להפצת חשמל ובסך הכל הוענקו 37 רישיונות עד ליום 31 בדצמבר, 2022. החל

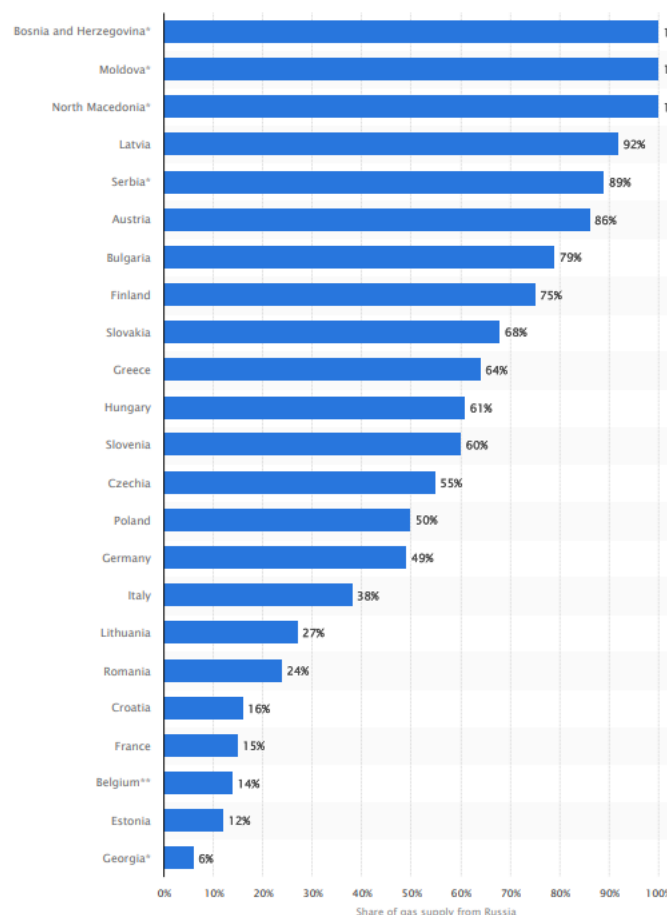
ממועד מתן רישיונות למספקים, עלה רשות החשמל להגביר את התחרות בשוק, בין היתר, הגדלת שיעורי ההתקנה של מונים חכמים בקרב משקי הבית והגדלת המכסות למספקים המורשים.

1.4 עצמאות אנרגטית בישראל

בניגוד מדינות רבות החברות ב-OECD (כגון, דנמרק, גרמניה ואנגליה) אשר מבקשות להבטיח בטחון אנרגטי באמצעות תמהיל מגוון של אנרגיות מתחדשות, מדינת ישראל סימנה את הגז הטבעי כסמל לעצמאות אנרגטית. תכנית העבודה של משרד האנרגיה לשנת 2019 קובעת כי הגז הטבעי יביא לחיזוק החוסן הלאומי באמצעות הבטחת אמינות וזמינות אספקת האנרגיה למשק בשגרה ובחירום (משרד האנרגיה, 2019). 64% מהחשמל בשנת 2019 יוצר באמצעות גז טבעי. החל מיום 1.1.2020 החלה הפעלתו של מאגר "לוויתן", מאגר הגז הטבעי הגדול ביותר שהתגלה בישראל. על פי תחזית שערכה רשות החשמל, נתח השימוש בגז טבעי צפוי לעלות בצורה משמעותית ולעמוד על כ 83% בשנת 2025 (רשות החשמל, 2022ד).

ייצור החשמל ממקורות מתחדשים מפגר משמעותית אחרי יעדי ממשלת ישראל - היעד הנוכחי עומד על 30% מכלל צריכת החשמל עד שנת 2030. בפועל, ייצור החשמל ממקורות מתחדשים בישראל נכון לתום שנת 2021 עמד על 8% בלבד (רשות החשמל, 2022ד). שילוב של יעדי האנרגיה המתחדשת של המדינה לצד ההחלטות על מעבר משק חשמל למודל של שוק תחרותי משוכלל, מחזקים מאד את חשיבות האגירה כשחקן מרכזי במשק החשמל העתידי.

יצוין כי למדינות רבות באירופה שפיתחו תלות ביבוא גז טבעי מרוסיה (תרשים 1), בישראל קיימות עתודות גז טבעי שיבטיחו רמת מחירים מאוזנת בטווח הבינוני-ארוך (מבקר המדינה, 2021). עתודות אלו מבטיחות לישראל עצמאות אנרגטית בתקופת המעבר למשק דל פחמן המבוסס על אנרגיות מתחדשות משולבות אגירה.



תרשים 1: שיעורי יבוא גז טבעי מרוסיה במדינות האיחוד האירופאי בשנת 2021 (Statista, 2022)

מחקר זה מציע הערכה השוואתית של מערכות שונות לאגירת אנרגיה שהוקמו בישראל או נמצאות בשלבי הקמה, תוך התמקדות בהיתכנות טכנולוגית וכן ביתרונות הכלכליים והסביבתיים של כל אחת מהטכנולוגיות. המטרה היא לזהות את סל פתרונות האגירה האידיאלי למשק הישראלי. המחקר מבקש לבחון את ההיתכנות הטכנית של פתרונות האגירה הקיימים כיום, תוך התמקדות בשלושה היבטים מרכזיים: (1) עמידה בביקושים לאנרגיה במהלך כל היממה, בכל תנאי מזג אוויר ולטווח ארוך; (2) וויסות תנודות בין-יומיות בביקוש; ו-(3) היכולת לשמור על יציבות התדר במערכת ההולכה. מיפוי היתרונות והחסרונות הטכנולוגיים של כל מערכת, לצד יתרונותיה הכלכליים והשפעתה הסביבתית, נחוצים לזיהוי הפוטנציאל ההתפתחותי הפנימי ולבחירת מתקן האגירה המיטבי ובר-הקיימא ביותר. התוצאות גם יסייעו למקבלי החלטות, יזמים וחוקרים כאחד, להתמודד עם אתגרים שונים בתחום הקיימות והסביבה, שינויי אקלים ועיולות אנרגטית. השגת הבנה עמוקה של פתרונות אגירת אנרגיה בקנה מידה קטן תסייע לגבש הנחיות מעשיות למערכות אגירה גדולות בהרבה ותפתח צוהר לדיון בנושא הפיכתם של ערים, מועצות ומבני ציבור למיקרו גרידים בעלי עצמאות אנרגטית.

1.5 שאלת המחקר, הנחות העבודה ומטרות המחקר

מחקר זה נועד לגשר על פער הידע בתחום האגירה באמצעות ניתוח המאפיינים הטכניים, הכלכליים והסביבתיים של טכנולוגיות האגירה השונות הנמצאות בשלבי תכנון והרצה בערבה הדרומית, במטרה לקבוע תמהיל אופטימלי התואם את צריכת האנרגיה בישראל. **שאלת המחקר** היא: מהם

פתרונות האגירה שיביאו למיצוי מקסימלי של התועלת הסביבתית, הכלכלית והטכנולוגית עבור משק האנרגיה בישראל?

מטרות המחקר

- א. לבחון את התועלות הסביבתיות, הכלכליות והטכנולוגיות של פתרונות אגירה שזוהו כבעלי פוטנציאל גבוה ליישום והטמעה בקנה מידה גדול וקטן בערבה.
- ב. לבחון דרכי התמודדות עם החסמים האפשריים ליישום והטמעה של פתרונות אגירה בקנה מידה גדול בישראל.
- ג. להציע מודל אופטימלי לשילוב טכנולוגיות אגירה בהתאם לפרופיל הצרכנים ומאפייני הצריכה שלהם.
- ד. בחינת ההיתכנות של עצמאות אנרגטית בערבה הדרומית (המועצה האזורית חבל אילת-אילות) והקמתו של מיקרו גריד אזורי והאם ניתן יהיה להעתיק את המודל הזה לאזורים דומים אחרים בישראל.

הנחות העבודה

1. אין טכנולוגיה אחת מנצחת - פתרונות אגירה יאפשרו זמינות ונגישות טובים יותר של החשמל המיוצר באמצעות מקורות אנרגיה מתחדשת. שילוב של טכנולוגיות אגירה מגוונות יספק אמינות וישמור על יציבות התדר ברשת ההולכה, באמצעות התאמה של כמות החשמל המוזרמת לרשת ובהתאם לביקוש.
2. אגירה מהווה צעד חשוב והכרחי בהתייעלות של משק החשמל הישראלי והשגת ביטחון אנרגטי בר-קיימא. השילוב של ייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשת בשילוב אגירה מהווה תחליף לאנרגיה המיוצרת ללא הפסקה מטורבינות המוזנות מגז. שילוב זה צפוי לצמצם באופן משמעותי את עלויות האנרגיה בטווח הארוך.
3. פתרונות שהינם יעילים כיום, לא בהכרח יהיו יעילים מחר – המחקר הוא מחקר דינמי. המיקוד משתנה לאורך תקופת המחקר מטכנולוגיות שעשויות להימצא כלא יעילות לטכנולוגיות חדשות אשר מתפתחות בשוק.

2. חבל אילת-אילות

אילת-אילות הינו חבל ארץ הנמצא בערבה הדרומית ומשתרע על שטח של כ-2.3 מיליון דונם (תרשים 2). בחבל ארץ של אילת-אילות מתגוררים כ-57,000 תושבים, מתוכם כ-52,000 בעיר אילת¹. האזור נהנה מעצמאות אנרגטית מלאה במהלך שעות היום באמצעות ייצור חשמל משדות סולאריים מקומיים. המעבר לעצמאות מלאה תלוי בפתרונות אגירה, שמאפשרים שימוש בחשמל שיוצר בשעות היום למשך שעות הלילה ולימים של עננות. נכון להיום, על מנת שהאזור יגיע ל-100% עצמאות אנרגטית יש צורך בשדרוג תחנות משנה בערבה בהשקעה כוללת של כ-4-5 מיליון ש"ח על ידי המגזר הפרטי, עם סבסוד ממשלתי.

¹ הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2021). אוכלוסייה ביישובים שבהם 2,000 תושבים ויותר - אומדנים ארעיים לסוף אוקטובר 2021; הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2019) פרופיל מקומי אילת. הרשויות המקומיות בישראל 2019 פרסום מס' 1835.



תרשים 2: חבל אילת-אילות, ערבה דרומית.

אנרגיה סולארית באזור אילת-אילות מספקת למעלה מ-120% מצריכת האנרגיה האזורית בשעות היום. השגת עצמאות אנרגטית אזורית עד 2025 דורשת יישום מאסיבי של טכנולוגיות אגירת אנרגיה (ILGBC, 2021). המועצה האזורית איילות מנצלת כיום 38% מפוטנציאל הפקת האנרגיה המתחדשת שלה - פי שניים אילת (משרד האנרגיה והתשתיות, 2017). מדד הרשויות המקומיות לאנרגיה מתחדשת בדו-שימוש מודד את הפוטנציאל של כל רשות להתקנת מתקני אנרגיה מתחדשת בחלוקה למגורים, תעשייה, מסחר ותיירות, חקלאות, ציבורית ועוד. המערכת מכמתת את הפוטנציאל בכל סיווג, בתרגום לאחוז פוטנציאל הקיבולת בכל עיר. ניצול אנרגיה מתחדשת גבוה יותר באזורים כפריים מכמה סיבות. ראשית, בניגוד למבנים הרב-משפחתיים בעיר, הישובים הכפריים מתאפיינים במבנה חקלאי עם בתים צמודי קרקע הממוקמים רחוק מאזורי מגורים, המתאימים יותר להצבת פאנלים סולאריים על הגגות. כמו כן, החלטות לגבי ניצול הקיבוץ מתקבלות בדרך כלל בשדרה המנהלית ואינן מערבות את כל תושבי הקיבוץ. דיור רב-משפחתי מצריך הסכמה של כל הדיירים, מה שמניב בירוקרטיה רבה וכדאיות כלכלית מוגבלת (Zohar et al., 2020).

3. הערכה טכנו-כלכלית

המחקר התמקד בארבע טכנולוגיות אגירה שונות בארבעה קיבוצים בערבה:

3.1 אגירה בטכנולוגיה של אויר דחוס בקיבוץ יהל

אגירה של 1 מגה ואט שעה משדה סולארי מקומי והסטת האנרגיה לשעות הערב. הפרויקט תוכנן לספק 100% מהאנרגיה הנדרשת לצריכת הקיבוץ. הפרויקט לא הבשיל כיוון שהטכנולוגיה לא הראתה ישימות טכנולוגית. תוצאות הפיילוט הצביעו על נצילות של 35% ולא 81%, כפי שהיה מצופה. נכון להיום, מתבצע פיילוט שני בקנה מידה גדול יותר בגרמניה בשיתוף עם חברה ותיקה של משאבות וטורבינות. אגירת האויר מתבצעת במאגרי הגז התת קרקעיים שאגרו בעבר גז שהתקבל מרוסיה. הארכיטקטורה החדשה של המתקן המשלבת את הטורבינות החדשנות הביאו את המערכת לנצילות של 50%, כאשר השאיפה היא להגיע לשיעור נצילות של 80% - מדד שיכול להכניס את הטכנולוגיה לשוק של אגירה ארוכת טווח.

3.2 אגירה באמצעות גלגלי תנופה בקיבוץ יוטבתה

מדובר בטכנולוגית אגירה המותקנת בעמדת טעינה מהירה לרכבים חשמליים. התקבלה תמיכה חלקית של משרד האנרגיה, להשתתפות בהקמה של עמדת הטעינה. על פי תוצאות הפיילוט ביוטבתה, גלגלי תנופה נמצאה לא יעילה. בתחילת חודש ינואר 2023, השיקה חברת "זוז פאוור" (צ'קרטק לשעבר) תחנת טעינת רכב חשמלית אולטרה מהירה בזיכרון יעקב. טכנולוגיה זו אמינה, יציבה וירוקה ומאפשרת לטעון את סוללת הרכב תוך דקות ספורות בלבד. יתכן וטכנולוגית אגירה באמצעות גלגלי תנופה תמצא יעילה לטעינת רכב חשמלי מהיר באזורים בהם קיימות תשתיות רשת חשמל המתאימות להטמעת הטכנולוגיה.

3.3 אגירה בסוללות מלח בקיבוץ קטורה

בפרויקט זה נעשה שימוש במלח מותך לאגירה ביתית. האגירה יכולה להיות מכל מקור שהוא. אגירה בסוללות מלח כפי שנוסו בקטורה, נמצאו לא יעילות והמחקר של טכנולוגיה זו הופסק.

3.4 אגירה בסוללות סודיום חנקתי בקיבוץ אליפז

פרויקט זה יאפשר לקיבוץ להגיע לעצמאות אנרגטית מלאה, ללא תלות בחברת החשמל. סוללות סודיות חנקתי מבוססת על תהליך אלקטרוכימי הממיר את האנרגיה הכימית האצורה בחומרים הפעילים שלה לאנרגיה חשמלית. תהליך הטעינה והפריקה נעשה ביעילות רבה בטמפרטורה של מעל 300 מעלות באמצעות מערכת חימום תרמו-סולארית (הפועלת כתחליף לגוף חימום). היתרון המשמעותי ביחס לסוללות הליתיום-יון, במידה והפיילוט יבשיל לכדי ישימות טכנולוגית, הוא העדר הצורך בקירור הסוללות. יתרון זה בולט במיוחד כאשר מדובר באזורים מדבריים, שבהם צפויה הקמה של שדות סולאריים בקנה מידה גדול. כלומר, היתרון הוא כפול: (1) סוללות אלו הינן בעלות פוטנציאל גבוה להוות תחליף לשימוש בליתיום – חומר שתהליך ההפקה שלו מזהם, וכן (2) חיסכון משמעותי באנרגיה לקירור הסוללות. בימים אלה מתקבלים האישורים מחברת חשמל ורשות התכנון והצפי הוא שעד לתום שנת 2024 המתקן יוקם בקיבוץ אליפז ויהפוך את הקיבוץ למיקרוגרید המספק את מלוא הצריכה המקומית.

4. הערכת חסמים חברתיים

חוקרים רבים רואים בחסמים חברתיים מגבלה משמעותית בהגדלת חלק האנרגיה המתחדשת מכלל מקורות האנרגיה (Wustenhagen, 2007; Joskow, 2022). בעלי עניין ומקבלי החלטות מתמקדים לעתים קרובות בהתכנות הטכנולוגית בעת יישום פרויקט אנרגיה מתחדשת חדשה, בעוד ששיקולי ההסכמה החברתית ושיתוף הפעולה מצד התושבים לרוב אינם זוכים לתשומת הלב הראויה (Wustenhagen, Wolsink, & Burer, 2007). למשל, התנגדות של תושבים להקמת פרויקטים סולאריים מתוך חשש להשפעות בריאותיות פוטנציאליות או השפעות שליליות אחרות מהווה חסם חברתי משמעותי (Joskow, 2022).

זיהוי חסמים חברתיים להטמעת אנרגיות מתחדשות בישראל

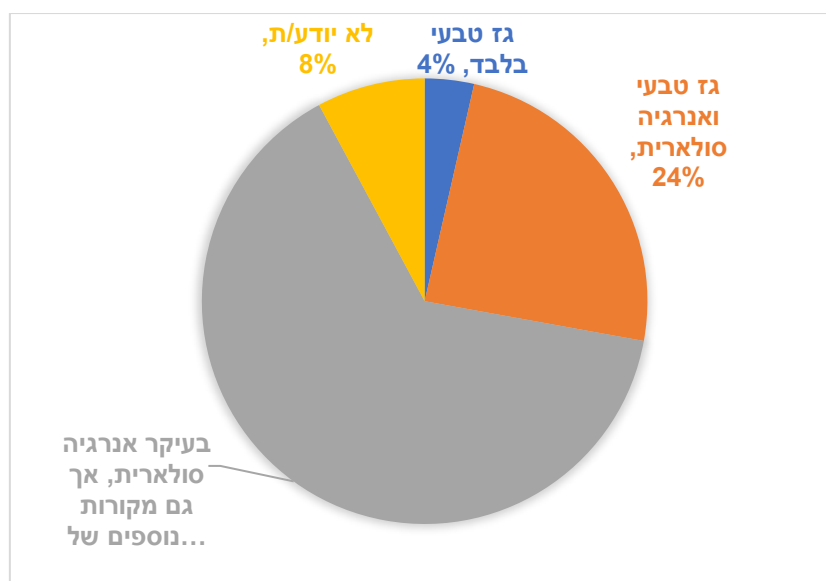
הבנת חסמים חברתיים כאמור הכרחית כדי לקדם בצורה טובה יותר אנרגיות מתחדשות ומתקני אגירה. דוח זה מתמקד בזיהוי החסמים בישראל וכולל ניתוח מקיף של תוצאות סקר תושבים וראיונות עם בעלי עניין בחבל אילת-אילות והעיר אילת (יחידה סביבתית אילת-אילות, ראשי רשויות, מרכזי משק בקיבוצים, אילת-אילות אנרגיה מתחדשת).

4.1 סקר חברתי

בחודש דצמבר 2021 ערכנו סקר מקוון בקרב תושבי הערבה שמטרתו לזהות חסמים חברתיים להטמעת מערכות אגירת אנרגיה ולהבין עד כמה ציבור התושבים תומך או מתנגד להקמת מתקני אגירה בקנה מידה מקומי בסמוך למקום מגוריהם. בסקר השתתפו 140 נשאלים בטווח הגילאים 20-65, מתוכם 122 נשאלים (87%) הם תושבי העיר אילת והיתר תושבי מועצה אזורית איילות (13%). 20% מהמשיבים היו גברים והיתר נשים.

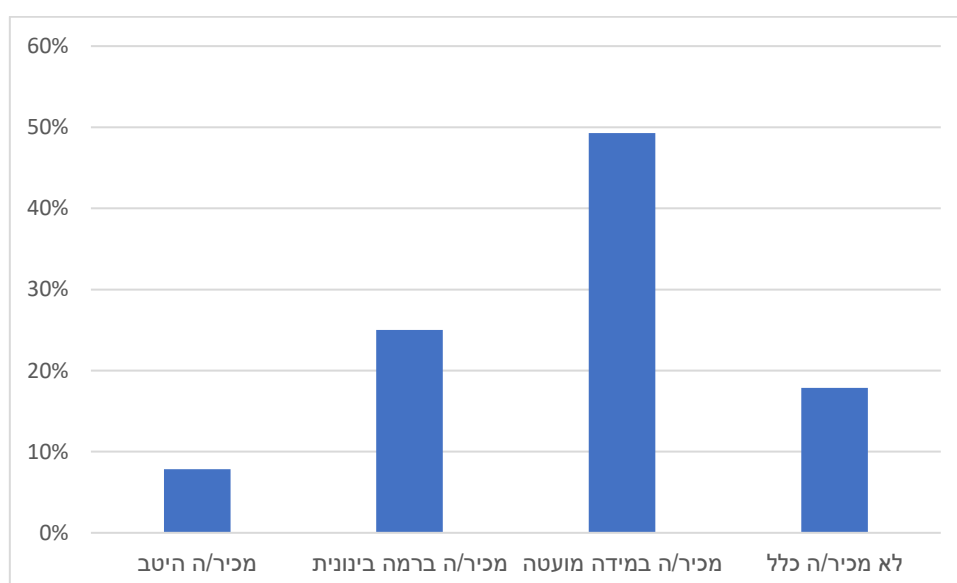
בחלק הראשון של הסקר, המשיבים התבקשו לענות על שאלות כלליות הנוגעות לאנרגיות מתחדשות ואגירת אנרגיה כדי לאפיין את מידת היכרותם וההבנה של המשיבים עם טכנולוגיות אגירת אנרגיה, השפעתן הסביבתית ותורמתם להפחתת שינויי האקלים. בחלק השני התבקשו המשיבים לציין באיזו מידה המשתתפים מסכימים או לא מסכימים עם הצהרות מסוימות הנוגעות לטכנולוגיות אגירת אנרגיה ורמת הנכונות הכוללת שלהם להתקין מערכות אגירה בקרבת אזורי מגורים או עבודה בסולם מדידה בין 1 ל-5, כאשר 1 מציין "מסכים מאוד" ו-5 המציין "מסכים מאוד". השאלון מבוסס על סולם Likert (Likert, 1932).

התוצאות מצביעות על פערים בידע של הציבור בנוגע לחשיבותן של אנרגיה מתחדשת וטכנולוגיות אגירה להשגת יעדים לאומיים והאצת המעבר למשק חשמל דל פחמן. איור 3 מתאר את התפיסה הציבורית לגבי מקורות האנרגיה שעל ישראל לקדם בעשור הקרוב. 64% מהמשיבים סבורים שיש לקדם אנרגיות מתחדשות, בעיקר אנרגיה סולארית, בעוד שרק 24% ציינו כי על ישראל לקדם גם טבעי ואנרגיה סולארית. 4% מהמשיבים ציינו כי יש לקדם גם טבעי בלבד.



תרשים 3: אנרגיות שיש לקדם בעשור הקרוב

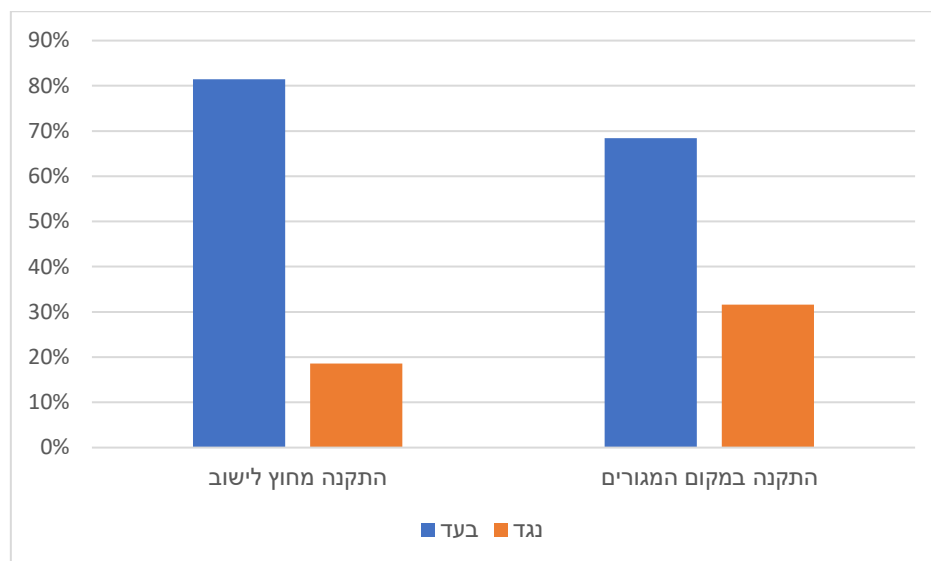
תרשים 4 מתאר את מידת ההיכרות של הנשאלים עם המושג 'אגירת אנרגיה'. כפי שניתן לראות, כ-50% העידו על עצמם שמכירים את המושג במידה מועטה, בעוד ש-25% ענו שמכירים את המושג במידה בינונית ורק 8% במידה רבה. 18% מהנשאלים כלל לא יודעים מהי אגירת אנרגיה. כאשר נדרשו לציין טכנולוגית אגירה מסוימת שהם מכירים, אף נשאל לא ידע לענות.



תרשים 4: היכרות המושג 'אגירת אנרגיה'

81% מהנשאלים הביעו תמיכה שהתקנת מתקני אגירת אנרגיה מחוץ לישוב המגורים, אולם רק 68% תמכו בהתקנת מערכות אגירה במקום המגורים [תרשים 5]. תוצאות אלו עקביות עם מחקרים אחרים המראים כי תושבים רבים אינם מתנגדים לאנרגיות מתחדשות, אלא מתנגדים להקמתן באזור מגוריהם. במקרים רבים תושבים יוצאים במחאה כנגד התקנה של מערכות סולאריות או טורבינות רוח באזור מגוריהם ומבקשים להעתיק את תוכניות הפיתוח למקומות אחרים. חוקרים מסויימים מציינים כי נמב"י (Not In My Back Yard) מהווה אחת הסיבות המרכזיות להתנגדותם

של תושבים להקמת מערכות ייצור מאנרגיה מתחדשת (Joskow, Facilitating Transmission Expansion to Support Efficient Decarbonization of the Electricity Sector, 2022).



תרשים 5: בעד או נגד התקנת מתקני אגירת אנרגיה מחוץ ליישוב ובסמוך למקום המגורים

בהתאם לממצאים שעלו מהסקר, כ-54% מהנשאלים טענו שלטכנולוגיות אגירה ישנה השפעה שלילית על הנוף. מחקר חדש שבחן פתרונות לצמצום חסמים חברתיים בגין הקמת מערכות סולאריות בהרים האלפים בשווייץ מצא כי צמצום ההשפעה החזותית של פרויקטים סולאריים בנוף המקומי מפחיתים את התנגדות התושבים (Vuichard, Stauch, & Wüstenhagen, 2021). לטענתם, התאמת צבע הפאנלים לסביבה הטבעית למשל, עוררה התנגדות מתונה יותר מצד התושבים.

מסכים במידה רבה מאד	מסכים במידה רבה	מסכים במידה בינונית	מסכים במידה מועטה	לא מסכים כלל	
16%	26%	38%	18%	2%	ללא אגירת אנרגיה, לא נוכל להשתמש באנרגיות מתחדשות בלילה
5%	14%	33%	28%	20%	אני מודע היטב ליתרונות והחסרונות של טכנולוגיות לאגירת אנרגיה
1%	9%	43%	29%	18%	אני חושב שלטכנולוגיות אגירת אנרגיה ישנה השפעה שלילית על הנוף של האזור
0%	8%	31%	31%	30%	אני חושש שטכנולוגיות אגירת אנרגיה יכולות להוות סכנה לבריאות שלי

טבלה 1: חששות מהקמת מתקני אגירה.

כ-39% מהנשאלים טענו כי הם חוששים שמתקני אגירה עשויים להוות סכנה לבריאותית עבורם.

4.2 ראינות

בנוסף לסקר החברתי, נערכו ראינות חצי מובנים עם מקבלי החלטות שונים ברמה המקומית (כגון בעלי תפקידים בעיריית אילת ומועצה אזורית איילות וחברי הנהלה בקיבוצים) התמקדו בנושאים הבאים:

- 1) המניעים מאחורי ההחלטה לאמץ טכנולוגיות אנרגיה.
- 2) המטרות והתוכניות לאימוץ טכנולוגיות אנרגיה.
- 3) מידת הנכונות הציבורית לקחת חלק בתהליך הטמעת פתרונות אנרגיה.
- 4) חסמים משפטיים, טכנולוגיים וחברתיים איתם הם מתמודדים בתהליך התכנון וההתקנה, וחששות נוספים לגבי מתקני אנרגיה במהלך התכנון ולאחר ההתקנה.

מצאנו מספר המניעים העומדים מאחורי אימוץ טכנולוגיות לאנרגיה.

1. מנוע צמיחה – המניע הכלכלי הינו המניע העיקרי והוא מאפיין גם את העיר אילת וגם את הקיבוצים. מקבלי ההחלטות רואים בפרויקטים הסולאריים וטכנולוגיות האנרגיה במקור הכנסה משמעותי ולכן פועלים לקידום של פרויקטים אילו באזור. ממצא זה עקבי עם מחקר נוסף שמצא כי במקומות שבהם התושבים נהנים מתמריץ כלכלי ישיר מאותן מערכות סולאריות, מידת שיתוף הפעולה וההסכמה החברתית של התושבים עולה בצורה משמעותית (Vuichard, Stauch, & Wüstenhagen, 2021).

2. השגת עצמאות אנרגטית - אילת מקדמת פרויקטים שונים במטרה להגדיל את העצמאות האנרגטית והחוסן העירוני. פרויקט מיוזם גרידס למשל עוסק בפתרונות טכנולוגיים שיאפשרו ניתוק איזורים שלמים מרשת החשמל והפיכתם לעצמאיים אנרגטית. באילת מתבצעת סימולציה ראשונית לניתוק אזור המלונות הצפוני מרשת החשמל הארצית.

3. הגדלת החוסן העירוני להתמודדות במצבי משבר גם בהעדר גישה למקורות חשמל ואנרגיה חיצוניים – פרויקט 'ברלין' משמש כפיילוט בתוכנית האסטרטגית של העיר להגדלת החוסן העירוני והתמודדות עם מצבי קיצון כתוצאה ממשבר האקלים. פרויקט ברלין עוסק בפיתוח יכולות טכנולוגיות לניתוק מבני ציבור מרשת החשמל הארצית והפיכתם לעצמאיים אנרגטית (Nano-grid). המטרה היא ליצור חוסן שכונתי וקהילתי על ידי יצירת מרכז שכונתי אשר יוכל לפעול כמרכז חוסן גם בהעדר חשמל ואנרגיה. הפרויקט מתבצע בבית ספר יעלים.

4. צמצום פליטות גזי חממה.

5. מיתוג העיר אילת כעיר חכמה או עיר ירוקה.

4.3 תוכניות להתייעלות אנרגטית

באילת יש מודעות הולכת וגוברת לנושא. בשנים האחרונות עיריית אילת קידמה מספר פרויקטים לקידום התייעלות אנרגטית וצמצום צריכת החשמל:

1. החלפת תאורת רחוב – 40% מתצרוכת החשמל של הרשות המקומית נובעת מתאורת רחוב. עד כה הושקעו כ-13.5 מיליון ש"ח שהחלפת תאורות רחוב. החסכון הכולל נאמד בכ-3.2 מיליון ש"ח בשנה (כ-2 מיליון ש"ח חסכון בחשמל וכ-1 מיליון ש"ח חסכון בהוצאות תחזוקה).

2. התייעלות אנרגטית במבנים ציבוריים – העיריה נקטה בשנים האחרונות צעדים שונים לצמצום צריכת החשמל והתייעלות אנרגטית במבני ציבור, הכוללים בין היתר התקנת פאנלים סולריים על מבנים ציבוריים ומערכות חכמות לניהול החשמל. עד כה הותקנו 12 מערכות בהספק מותקן של 55 קילו-וואט, המספקות כ-20% מצריכת החשמל של הרשות המקומית. בשנים 2022-2023 העיריה צפויה להתקין מערכות נוספות בהספק כולל של כ-2.5 מגה-וואט בכל שנה בשאיפה להביא לייצור עצמי של 100% מתצרוכת החשמל של הרשות המקומית.

3. ניהול חכם של אנרגיה במבנים ציבוריים – החברה בתהליך התקנה של מערכות לניהול אנרגטי חכם ב-140 מבנים ציבוריים בעיר, בשיתוף עם חברת General Electric. תהליך זה צפוי להפחית ב-15% את צריכת החשמל.

בניגוד לעיר אילת, בקיבוצים לא קיימת תכנית מגובשת. ההתייעלות האנרגטית מסתכמת במעבר של תאורה ציבורית לנורות לד.

5. סיכום ומסקנות

ממצאי המחקר מדגישים את החשיבות של הטמעת טכנולוגיות אגירה בערבה כדי להביא את חבל אילת-אייילות לעצמאות אנרגטית. מחקר זה לא השיג את מטרתו העיקרית – הערכה טכנו-כלכלית של אגירה באוויר דחוס, גלגלי תנופה, אגירה באמצעות סוללות מלח ובאמצעות סוללות ליתיום יון. הפרויקט של אגירה באוויר דחוס שהובילה אוגווינד בקיבוץ יהל לא הבשיל כיוון שהטכנולוגיה לא הראתה ישימות טכנולוגית. תוצאות הפיילוט הצביעו על נצילות של 35% ולא 81%, כפי שהיה מצופה. תוצאות פיילוט גלגלי התנופה ביוטבתה הצביעו גם הן על כך שהטכנולוגיה לא יעילה ולכן הפרויקט נגזז. בקיבוץ קטורה נעשה שימוש במלח מותך לאגירה ביתית אשר נמצאו כלא יעילות והמחקר של טכנולוגיה זו הופסק.

התרומה העיקרית של מחקר זה היא התובנות שהושגו לגבי החסמים החברתיים המשמעותיים ליישום טכנולוגיות אגירה בישראל. ממצאי המחקר מלמדים שמקבלי החלטות מכירים בכך שטכנולוגיות אגירת אנרגיה הן המפתח להשגת עצמאות אנרגטית ולהגברת החוסן העירוני להתמודדות עם משבר בלתי צפוי. ראשית, הממצאים שלנו מדגישים את התפקיד המכריע של היתרונות הכלכליים בהטמעת טכנולוגיות אגירה ועיצוב תפיסת הציבור לעידוד טכנולוגיות אלה. שיווק היתרונות הכלכליים לקהילה המקומית באמצעות יצירת דיאלוג פתוח עם התושבים ועידודם להשתתף בשלבים המוקדמים של תהליך התכנון, עשוי להגביר את נכונות הציבור לאימוץ טכנולוגיות אגירה. שנית, אנו מוצאים שיש צורך ביוזמות חינוכיות ממוקדות כדי לצמצם תפיסות מוטעות ולחזק את תפיסת הציבור בנוגע להטמעת טכנולוגיות אגירה והפיכתם מאויב לאוהב. מצאנו כי תוכניות חינוך לא פורמליות בקנה מידה קטן (למשל, כחלק מתוכנית הלימודים בבית הספר או יוזמות ברמת הקהילה) יעילות במיוחד לחיזוק תפיסת הציבור ביחס לאימוץ טכנולוגיות אגירה. לפיכך, שילוב של אסטרטגיות חינוכיות הוא הכרחי כדי להבטיח התקדמות לקראת אימוץ נרחב של טכנולוגיות אגירה.

ממסקנות אלו נגזרות השלכות המדיניות הבאות. ראשית, ראשי ערים ומקבלי החלטות צריכים להגביר באופן פעיל את המודעות הציבורית לחשיבותן של טכנולוגיות אגירה בהפחתת שינויי האקלים ובמעבר לכלכלה ללא פחמן. שנית, בעלי עניין ומקבלי החלטות צריכים לעודד מעורבות

אזרחית בתוכניות בית ספר ובפרויקטים קהילתיים תוך התמקדות ביתרונות הסביבתיים והכלכליים. שלישית, על בעלי העניין ומקבלי החלטות להשקיע משאבים בהגברת הנגישות ובסיוע טכני כדי להקל על הבירוקרטיה הכרוכה בהתקנת מערכות אגירת אנרגיה מקומיות.

מקבלי החלטות ובעלי עניין שרוצים לקדם פרויקטים כאלה בצורה מיטבית נדרשים לפתח אסטרטגיה להשגת תמיכה ציבורית. יצירת דיאלוג פתוח עם הציבור ושיווק היתרונות הכלכליים יהפכו את תהליך היישום של טכנולוגיות האגירה ליעיל יותר וישיג ביצועים טובים יותר.

- Anastasovski, A., Andreucci, M., Kadar, J., & Paoli, M. (2024). Energy Storage in Urban Areas: The Role of Energy Storage Facilities, a Review. *Energies*, 17(5), 1-31.
- Bloomberg. (2021). *Renewable Investment*. Retrieved April 4, 2021, from Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/graphics/climate-change-data-green/investment.html>
- Costa, C., Cardoso, V., Brito-Pereira, R., Martins, P., Correia, D., Correia, V., . . . Lanceros-Méndez, S. (2020). Electroactive Poly(Vinylidene Fluoride)-Based Materials: Recent Progress, Challenges, and Opportunities. In B. Ameduri, & S. Fomin, *Fascinating Fluoropolymers and Their Applications* (pp. 1-43). Elsevier Inc.
- EPSA. (2021). *Competitive Electricity Market Spotlight: California ISO*. California: EPSA. Retrieved from https://epsa.org/wp-content/uploads/2021/08/EPSA_CAISO_onepager-080321.pdf
- European Environment Agency. (2021). *European Environment Agency News*. Retrieved from EU achieves 20-20-20 climate targets, 55 % emissions cut by 2030 reachable with more efforts and policies: <https://www.eea.europa.eu/highlights/eu-achieves-20-20-20>
- Hirsch, A., Parag, Y., & Guerrero, J. (2018). Microgrids: A Review of Technologies, Key Drivers, and Outstanding Issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 402-411.
- IEA. (2022). *Nuclear Power and Secure Energy Transitions*. International Energy Agency. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/016228e1-42bd-4ca7-bad9-a227c4a40b04/NuclearPowerandSecureEnergyTransitions.pdf>
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. International Energy Agency. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c282400e-00b0-4edf-9a8e-6f2ca6536ec8/WorldEnergyOutlook2022.pdf>
- ILGBC. (2021). *Eilat-Eilat Renewable Energy*. Retrieved from Israeli Green Building Council (ILGBC): <https://ilgbc.org/friend/%D7%94%D7%97%D7%91%D7%A8%D7%94-%D7%9C%D7%90%D7%A0%D7%A8%D7%92%D7%99%D7%94-%D7%9E%D7%AA%D7%97%D7%93%D7%A9%D7%AA-%D7%90%D7%99%D7%9C%D7%AA-%D7%90%D7%99%D7%9C%D7%95%D7%AA/>
- International Energy Agency. (2020). *Global Energy Review 2020 - The impacts of the Covid-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions*. Retrieved June 12, 2021, from <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- International Energy Agency. (2020, November 16). *World energy balances and statistics*. Retrieved June 13, 2021, from IEA: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=DENMARK&energy=Electricity&year=2019>
- IRENA. (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2019*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Retrieved April 5, 2021, from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf

- Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Second edition ed* .ISO 14040 .(2006) .Switzerland
- Joskow, P. (2022). Facilitating Transmission Expansion to Support Efficient Decarbonization of the Electricity Sector. *Economics of Energy and Environment Policy*, 10.
- Joskow, P. (2022). Facilitating Transmission Expansion to Support Efficient Decarbonization of the Electricity Sector. *Economics of Energy and Environment Policy*, 10, 1-54.
- A .(2015) . 'Schlegl, T & , 'Jülch, V', Telsnig, T', Schulz, M', Hartmann, N', Thomsen, J', Eltrop, L holistic comparative analysis of different storage systems using levelized cost of storage and life cycle indicators .(73) *Energy Procedia* .18-28
- .(140) *Archives of Psychology* .A technique for the measurement of attitudes .(1932) . 'Likert, R ענ' 5-55
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*(140), pp. 5-55.
- Mahmoud, M., Ramadan, M., Olabi, A.-G., Pullen, K., & Naher, S. (2020). A Review of Mechanical Energy Storage Systems Combined with Wind and Solar Applications. *Energy Conversion and Management*, 210, 1-50.
- PCREEE. (2016). *SolarCity and Tesla: Ta'u Microgrid - American Samoa*. Retrieved June 17, 2021, from <https://www.pcreee.org/publication/solarcity-and-tesla-tau-microgrid-american-saTmoa>
- Petrilloa, A., De Feliceb, F., Jannellia, E., Autorinoa, C., Minutilloa, M., & Lavaderaa, A. (2016). Life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC) analysis model for a stand-alone hybrid renewable energy system. *Renewable Energy*(95), pp. 337-355.
- Rasmussen, C., Altiparmakis, A., & Daumling, M. (2013). Electromagnetic and Electrostatic Storage. In P. Sonderberg, & H. Larsen, *DTU International Energy Report 2013: Energy storage options for future sustainable energy systems* (pp. 37-41). Technical University of Denmark.
- REN21. (2020). *Renewables 2020: A global Status Report*. Paris: REN21. Retrieved June 18, 2021, from https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf
- REN21. (2023). *Renewables 2022: Global Status Report*. REN21. Retrieved October 5, 2023, from https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf
- Statista. (2022). *Statista*. Retrieved from Dependence on Russian gas in Europe 2021, by country: <https://www.statista.com/statistics/1201743/russian-gas-dependence-in-europe-by-country/>
- UN Environment. (2019). *Global Trends in Renewable Energy Investment*. Frankfurt: Frankfurt School of Finance & Management. Retrieved April 4, 2021, from <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/29752>

- University of California Berkeley. (2020). *Plummeting Solar, Wind and Battery Costs Can Accelerate Our Clean Electricity Future*. Retrieved from <https://www.2035report.com/downloads/>
- Vuichard, P., Stauch, A., & Wüstenhagen, R. (2021). Keep it local and low-key: Social acceptance of alpine solar power projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138.
- Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Burer, M. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, 35, 2683-2691.
- Zhou, X., Lin, Y., & Ma, Y. (2015). The Overview of Energy Storage Technology. *2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* (pp. 43-48). Beijing, China: IEEE.
- Zohar, T., Parag, Y., & Ayalon, O. (2020). Strategizing Demand Management from the Middle Out: Harnessing Middle Actors to Reduce Peak Electricity Consumption. *Energy Research & Social Science*, 61, 1-10.
- מבקר המדינה. (2021). *התועלות מישום מתווה הגז. בתוך: דוח מבקר המדינה 72א - חלק שני*.
- משרד האנרגיה. (2019). אוזר מתוך https://www.gov.il/BlobFolder/reports/work_plans_2019/he/work_plans_2019.pdf
- משרד האנרגיה והתשתיות. (12 11 2017). *מגזר ציבורי: רשויות מקומיות וממשלה*. אוזר מתוך מדד רשות לאנרגיה מתחדשת בדו-שימוש: https://www.gov.il/he/pages/municipal_authorities?chapterIndex=4
- פרג, י', & לוי, נ'. (2018). אוזר מתוך <https://www.idc.ac.il/en/schools/sustainability/documents/mikrogrid0israel.pdf>
- רשות החשמל. (2021א). *החלטות, שימועים וקולות קוראים*. אוזר מתוך החלטה מספר 61111 - עקרונות לפרישת מונים חכמים בקרב הצרכנים הביתיים: https://www.gov.il/BlobFolder/policy/61111/he/Files_Hachlatot_61611nn.pdf
- רשות החשמל. (2021ב). *החלטות, שימועים וקולות קוראים*. אוזר מתוך החלטה מספר 61906 - עדכונים, שינויים ותוספות לאמות מידה צרכנות לצורך פתיחת מקטע האספקה: https://www.gov.il/BlobFolder/policy/61906/he/Files_Hachlatot_61906.pdf
- רשות החשמל. (2022א). *החלטות, שימועים וקולות קוראים*. אוזר מתוך החלטה מספר 63401 - הגדלת מכסת אספקה למספקים שאין ברשותם אמצעי ייצור: https://www.gov.il/BlobFolder/policy/63401/he/Files_Hachlatot_63401.pdf
- רשות החשמל. (2022ב). *החלטות, שימועים וקולות קוראים*. אוזר מתוך החלטה מס' 62207 - הגדלת מכסת אספקה למספקים שאין ברשותם אמצעי ייצור: <https://www.gov.il/he/departments/policies/62207>
- רשות החשמל. (2022ג). *החלטות, שימועים וקולות קוראים*. אוזר מתוך החלטה מס' 63704 - מודל שוק למתקני ייצור ואגירה המחוברים או משולבים ברשת החלוקה: https://www.gov.il/BlobFolder/policy/63704/he/Files_Hachlatot_63704.pdf

רשות החשמל. (2022). דו"ח מצב משק החשמל לשנת 2021. אוצר מתוך
[https://www.gov.il/BlobFolder/reports/doch_meshek_hachashmal_2021/he/Files_Hada
shot_press_doch_2021_n.pdf](https://www.gov.il/BlobFolder/reports/doch_meshek_hachashmal_2021/he/Files_Hada_shot_press_doch_2021_n.pdf)