בחינת כדאיות כלכלית למערכות אגירה כחלף גנרטור בבנייני מגורים משותפים

טיוטה להתייחסות הציבור

רקע

כיום, חוק התכנון והבנייה מחייב התקנת גנרטור בבנייני מגורים משותפים. החוק מגדיר את החובה על בניינים רבי-קומות[1], כהגדרתם בתקנות[2]. הגנרטור המותקן בבניין נועד להבטיח רציפות תפקודית של המערכות החיוניות בעת מצב חירום. על פי תקנות התכנון והבנייה, מערכות אלו כוללות בין היתר: תאורת חירום במרחבים המוגנים ובשטחים המשותפים, הפעלת משאבות מים לכיבוי אש, מפוחי יניקת עשן, מערכות האוורור במקלטים ובמעליות, וכן תפעולן של שתי מעליות לפחות[3].

בנוסף, תקנות החשמל מגדירות את משכי הזמן המינימליים להפעלת מערכות החירום[4]. חלק מהמערכות, כגון הגברת לחץ מים לכיבוי, אוורור בחדרי המדרגות, סילוק עשן וחום והמעליות, מחויבות לפעול במשך 90 דקות לפחות.

לצד חובה זו, החוק מאפשר לאשר בתקנות טכנולוגיות חלופיות לגנרטור[5]. בשנים האחרונות, הירידה בעלויות של מערכות אגירה[6] הגבירה את הכדאיות שבהקמתן. לאור זאת, משרד האנרגיה והתשתיות מעוניין לבחון את ההיתכנות הכלכלית של שילוב מתקני אגירה בבנייני מגורים משותפים כתחליף לגנרטור המסורתי.

למהלך כזה ישנם יתרונות רבים. ראשית, הוא מצמצם משמעותית מטרדי רעש, זיהום אוויר ואחסון דלק בסביבה עירונית צפופה המאפיינים שימוש בגנרטור. שנית, לגנרטור חירום קיים סיכון לכשל דווקא בעת הצורך, מאחר שהוא פועל לעיתים רחוקות ותפקודו תלוי בתחזוקה תקופתית ובכשירות רכיבים כגון מצבר ההתנעה, מערכת הדלק והרכיבים המכניים[7]. תקלה יכולה להישאר סמויה עד למועד ההפעלה. לעומת זאת, מערכת אגירה מאפשרת ניטור רציף של מצב הסוללה, הממיר ומערכות הבקרה וזיהוי מוקדם של תקלות. שלישית, למערכת אגירה ישנה היכולת להיות פעילה ולהשיא רווחים באופן יומיומי בתנאים מסוימים.

---

[1] חוק התכנון והבניה, תשכ"ה-1965, (תיקון מס' 55) תשס"א-2001, סעיף 158א (ב).

[2] תקנות התכנון והבנייה (בקשה להיתר, תנאיו ואגרות), תש"ל-1970, סעיף 1 - הגדרות, תק' (מס' 4) תשס"ו-2006: *"בנין שבו הפרש הגובה בין מפלס הכניסה הקובעת לבנין לבין מפלס הכניסה לקומה הגבוהה ביותר המיועדת לאכלוס, שהכניסה אליה דרך חדר מדרגות משותף, עולה על 29 מטרים"*

[3] תקנות התכנון והבנייה (בקשה להיתר, תנאיו ואגרות), תש"ל-1970, סעיפים 3.7.3.11, 3.7.4.1

[4] תקנות החשמל (מיתקן חשמלי ציבורי בבניין רב קומות), תשס"ג-2003, סעיף 13 (א)

[5] חוק התכנון והבניה, תשכ"ה-1965, (תיקון מס' 55) תשס"א-2001, סעיף 158א (ה).

[6] Lazard, Levelized Cost of Energy+, June 2025.

[7] *Marqusee, Ericson & Jenket (2020), Emergency Diesel Generator Reliability and Installation Energy Security, NREL/TP-5C00-76553.*

התקנת קיבולת נוספת להפעלת הסוללה בשגרה מאפשרת לנצל את פערי תעריפי החשמל, ובכך לייצר ערך כלכלי ולחסוך בהוצאות החשמל הציבורי של הבניין.

למען השמרנות, מסמך זה מתמקד בבחינה כלכלית של מתקן אגירה כחלופת גיבוי בלבד (לאורך מחזור חייו), אל מול גנרטור מסורתי. במסגרת זו מוצגים צרכי החירום של טיפוסי מבנים שונים הנגזרים מהתקנות, אשר על בסיסם נאמדות עלויות ההון והתחזוקה הנדרשות לכל מערכת. אומדן עלויות זה מאפשר לערוך השוואה כלכלית בין חלופת הסוללה לחלופת הגנרטור. ניתוח ראשוני של תוספת קיבולת מעבר לנדרש מצביע על כך כי בנסיבות מסוימות ניתן לייצר רווחים עודפים לבעל מערכת האגירה. גובה הרווחים תלוי בגודל מערכת האגירה ובמודל הכלכלי העומד בבסיסה (עלות ההקמה, עלות התפעול, הימצאות מערכת ייצור אנרגיה מקומית). להערכת משרד האנרגיה והתשתיות, לאור המשך מגמת ירידת מחירי הסוללות ושכלול משק החשמל בשנים הקרובות, מערכות אגירה מוגדלות אלה צפויות להפוך להיות כלכליות אף יותר.

מתודולוגיה

הבחינה הכלכלית במסמך זה מבוססת על ניתוח צרכי האנרגיה בחירום של שלושה טיפוסי מבנים, המאפיינים את הבנייה החדשה כיום:

- מבנה 1: מבנה עד 9 קומות, עם חניה עילית
- מבנה 2: מבנה עד 9 קומות, עם חניון תת קרקעי
- מבנה 3: מבנה עד 20 קומות, עם חניון תת קרקעי

עומסי החירום והספק הגנרטור הנדרש לכל טיפוס מבנה נקבעו בהתאם למערכות המותקנות בו ולגובה הבניין, ומלאי הדלק חושב לפי הפעלה של 90 דקות. ככל שהבניין גדול יותר, כך נדרש הספק גנרטור גבוה יותר בשל מספר גורמים: ריבוי מעליות, היקף החניון התת-קרקעי, דרישה להספק גבוה יותר של משאבות מים (כנגזרת מגובה המבנה), ועלייה בהיקף השטחים הדורשים תאורת חירום ומערכות גילוי וכיבוי אש[8].

לצורך בחינת הסוללה כחלופה לגנרטור, הספק מערכת האגירה (kW) נקבע כשווה לעומסי החירום הנדרשים בכל בניין; בשונה מגנרטור, ממירי אגירה מסוגלים לספק עומס-יתר קצר טווח לצורך התנעת מנועים, ולפיכך אינם דורשים רזרבת הספק נוספת. קיבולת האגירה (kWh) מהווה תחליף למלאי הדלק הנדרש לתפעול מערכות החירום למשך זמן זהה. על כן, היא חושבה כמכפלה של הספק עומסי החירום במשך פריקה של שעה וחצי (90 דקות), חלקי נצילות המערכת, ובתוספת מקדם עודף של 20%, המבטיח

[8] על פי נתונים שהתקבלו מאבירם בר-עקיבא, מהנדס ויועץ מומחה לאנרגיה

אספקה מלאה של האנרגיה הנדרשת בחירום גם בתום 20 שנות פעולה, כאשר הקיבולת השיורית של הסוללה צפויה לרדת לכ-80%[9].

על בסיס נתוני הגנרטור והסוללה הנדרשים לחירום עבור כל בניין, חושבו עלויות ההון (CAPEX) ועלויות התפעול השנתיות (OPEX) לכל חלופה. בחינת כדאיות החלופות נערכה לאורך מחזור חיים של 20 שנה על בסיס הערך הנוכחי הנקי (NPV).

חישוב העלויות לכל אחת מהחלופות נערך באופן הבא:

חלופת הגנרטור: עלויות ההון מורכבות מעלות הציוד ומעלות מלאי הדלק הנדרש להפעלה של 90 דקות. עלויות התפעול והתחזוקה מבוססות על ביקורת שנתית על-ידי חשמלאי מוסמך[10] והפעלה יזומה של המערכת בעומס של 30% למשך שעה[11], וכן על יתר הפעולות הנדרשות לשמירה על כשירות הגנרטור לאורך זמן: בדיקה רבעונית על-ידי המפעיל, טיפול שנתי (שמן, מסננים ונוזל קירור), רענון מלאי הדלק והחלפת מצבר ההתנעה[12].

חלופת האגירה: עלויות ההון מבוססות על מחיר הקמה כולל (turnkey) ליחידת קיבולת, הכולל את הסוללה, הממיר, מערכת הבקרה והמארז; עבודות הבניין וחיבור ללוח החירום נדרשים בשתי החלופות ואינם נכללים בהשוואה. עלויות התפעול והתחזוקה נאמדו כ-1.25% מעלות ההון בשנה, בתוספת הצריכה העצמית של המערכת בהמתנה (מיזוג ובקרה). שיעור זה נמוך מהמקובל למתקני אגירה הפועלים במחזורי טעינה ופריקה יומיים (כ-2%–2.5%), משום שמערכת המשמשת לגיבוי בלבד אינה חשופה לבלאי מחזורי, אך הוא כולל את רכיבי העלות הקבועים: ניטור, ביקורת שנתית, בדיקת בטיחות אש וביטוח.

[9] הנחת מומחה – חטיבת אנרגיה מקיימת

[10] הנחת מומחה – חטיבת אנרגיה מקיימת

[11] לפי טיוטת תקנות החשמל (התקנת והפעלת גנרטורים), התשפ״ד–2024, גנרטור חירום נדרש בבדיקה רבעונית על-ידי המפעיל ובביקורת שנתית על-ידי חשמלאי מוסמך, הכוללת הפעלה בעומס של 30% לפחות מההספק הנקוב, למשך שעה לפחות.

[12] אומדן חטיבת אנרגיה מקיימת על בסיס דרישות טיוטת תקנות החשמל (התקנת והפעלת גנרטורים), התשפ״ד–2024, והנחיות יצרנים.

הנחות

טבלה 1 – הנחות כלליות

פרמטר	ערך
שיעור היוון	5%
אורך חיים	20 שנים
שער הדולר (ממוצע 2025)	3.5
נצילות מערכת האגירה	87%
משך פריקה בחירום (שעות)	1.5
מקדם עודף קיבולת לסוף חיים	1.2

טבלה 2 – עלויות מתקני אגירה[13]

פרמטר	ערך
עלות הקמה כוללת (דולר/ קוט"ש)	180
עלות תחזוקה שנתית (% מעלות ההון)	1.25%
צריכה עצמית בהמתנה (קוט"ש/יום)[14]	3

[13] הנחות חטיבת אנרגיה מקיימת על בסיס שיח עם בעלי עניין

[14] הצריכה העצמית מתומחרת לפי ממוצע תעריפי תעו"ז מתח נמוך (פסגה ושפל).

טבלה 3- עלויות גנרטור[15]

פרמטר	ערך	תוספת עלות
עלות הקמה (₪ לק"ו)	1,000 ₪	+ מלאי דלק ל90 דקות חירום
ביקורת שנתית ע"י חשמלאי מוסמך	1,500 ₪	+ הפעלה שנתית לשעה אחת בעומס 30%
בדיקה רבעונית ע"י מפעיל (שווה ערך שנתי)	800 ₪	
טיפול שנתי (שמן, מסננים, נוזל קירור)[16]	1,200 ₪	
רענון מלאי דלק והחלפת מצבר (שווה ערך שנתי)	500 ₪	
צריכת דלק (ליטר לקוט"ש)	0.25	
עלות סולר לגנרטור (₪ לליטר)[17]	7.8	

טבלה 4 - גודל המערכות לפי טיפוסי מבנה[18]

	B1 מבנה עד 9 קומות, חניה עילית	B2 מבנה עד 9 קומות כולל חניון תת"ק	B3 מבנה עד 20 קומות כולל חניון תת"ק
סך עומסי החירום (kW)	116	159	256
הספק גנרטור לחירום (kW)[19]	160	200	315
הספק אגירה נדרש (kW)	116	159	256
קיבולת אגירה לחירום (kWh)[20]	240	329	530

[15] הנחת מומחה – חטיבת אנרגיה מקיימת

[16] אומדן חטיבת אנרגיה מקיימת על בסיס דרישות טיוטת תקנות החשמל (התקנת והפעלת גנרטורים), התשפ"ד–2024, והנחיות יצרנים.

[17] מחיר ממוצע 2025 בתחנות הדלק, כולל מע"מ.

[18] הנתונים התקבלו מאבירם בר-עקיבא, מהנדס ויועץ מומחה לאנרגיה

[19] ההספק הנדרש לאספקת חשמל באמצעות גנרטור לחירום משתנה בהתאם למאפייני המבנה ולצרכיו התפעוליים, ובהם מספר הקומות בבניין, גודל החניון, מספר המעליות ופרמטרים נוספים. במבני רבי קומות ההספק הנדרש עשוי להגיע לכ-1,000 kW ויותר.

[20] עומס חירום × 1.5 שעות ÷ 0.87 × 1.2, ראו פרק המתודולוגיה.

תוצאות

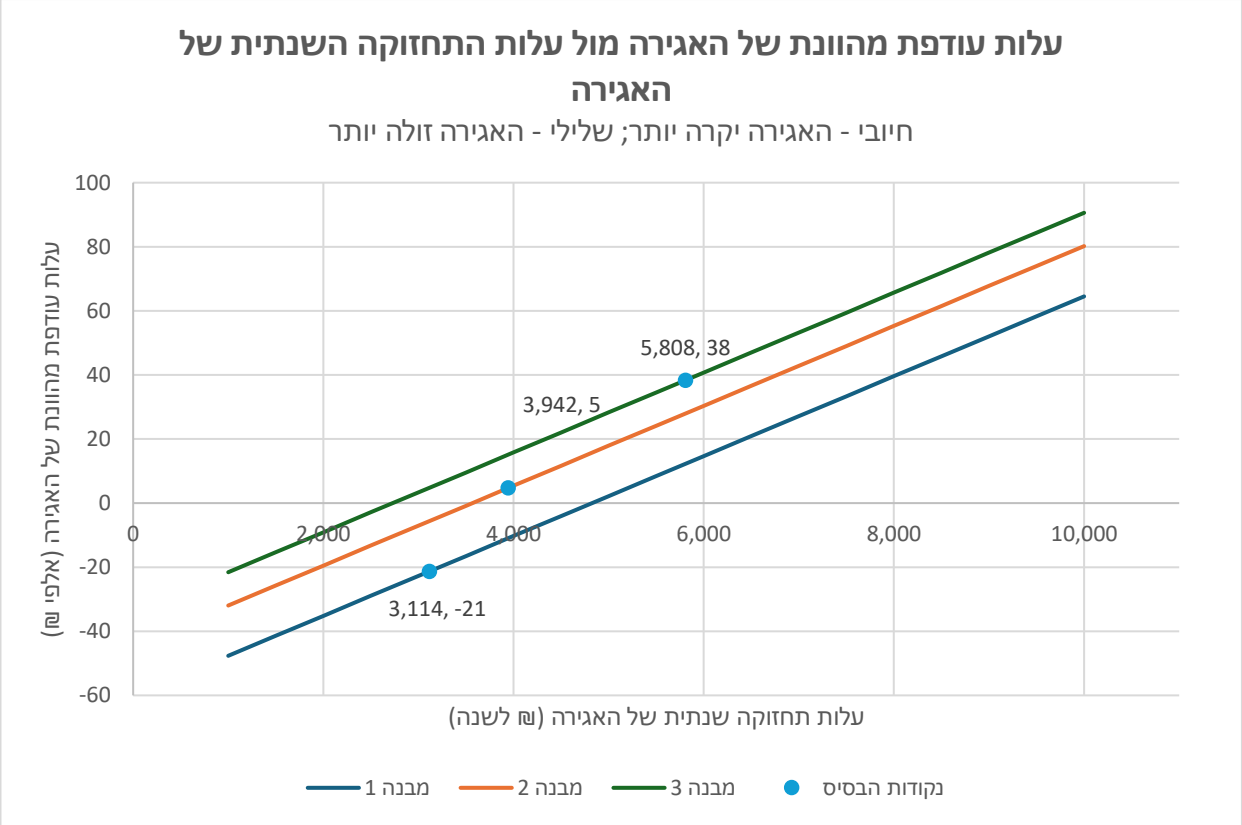
עבור כל טיפוס מבנה חושבו עלויות ההון הראשוניות (CAPEX), עלויות התפעול והתחזוקה השוטפות (OPEX), וכן סך העלויות המהוונות (NPV) לאורך מחזור חיים של 20 שנה (טבלה 5).

טבלה 5 – השוואת העלויות בין חלופות הניתוח

	B1 מבנה עד 9 קומות, חניה עילית	B2 מבנה עד 9 קומות כולל חניון תת"ק	B3 מבנה עד 20 קומות כולל חניון תת"ק
עלות גנרטור			
עלות הון (CAPEX)	160,397	200,496	315,781
עלות תחזוקה שנתית (OPEX)	4,094	4,117	4,184
סך עלות מהוונת ל-20 שנה (NPV)	211,412	251,803	367,926
עלות אגירה			
עלות הון (CAPEX)	151,299	207,383	333,900
עלות תחזוקה שנתית (OPEX)	3,114	3,942	5,808
סך עלות מהוונת ל-20 שנה (NPV)	190,110	256,505	406,277
השוואת חלופות			
עלות עודפת מהוונת של חלופת האגירה (חיובי – האגירה יקרה יותר)	-21,302	4,702	38,351
פער עלות הון (אגירה לעומת גנרטור)	-6%	+3%	+6%
עלות ההון של מערכת האגירה שבה החלופות שוות-ערך (₪ לקוט"ש)	705	618	569
עלות תחזוקה שנתית של מערכת האגירה שבה החלופות שוות-ערך (₪ לשנה)	4,824	3,564	2,730

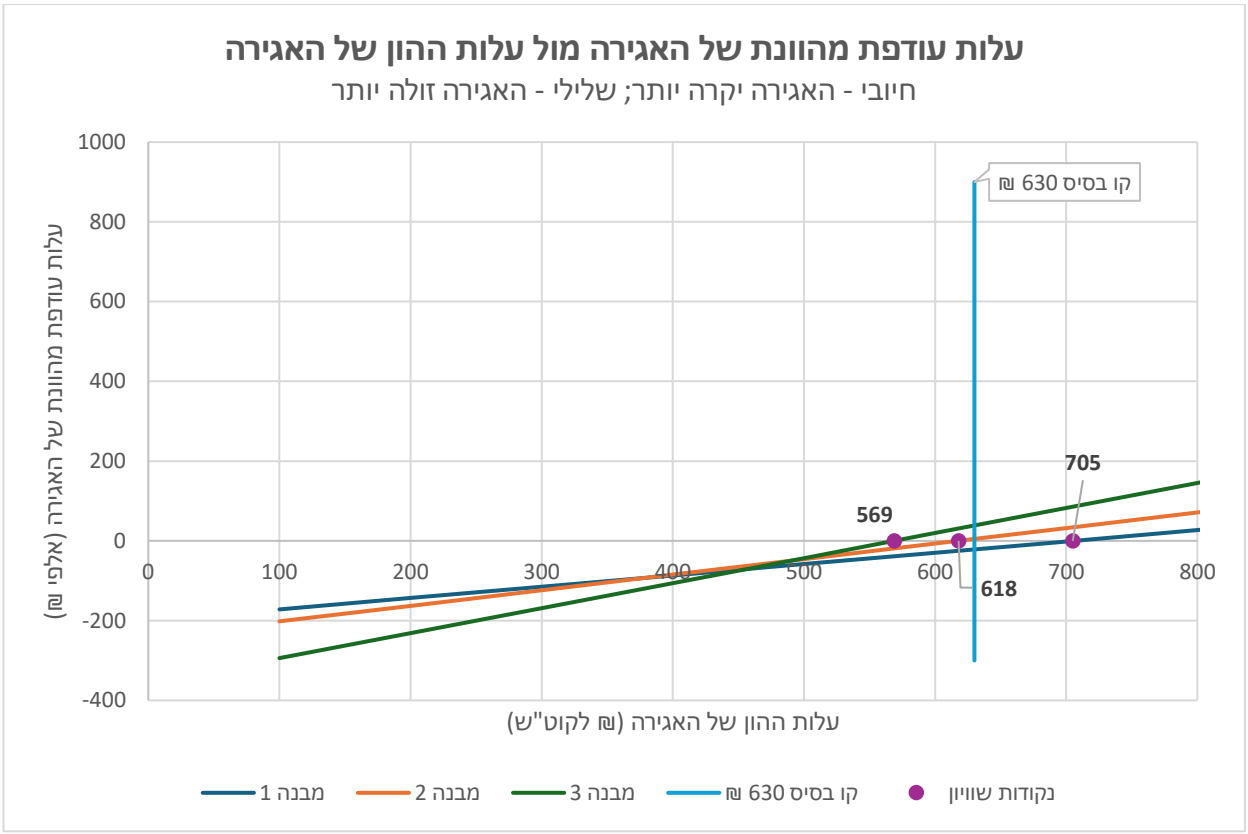
לסיכום, תחת הנחת מחירי האגירה המצויים בשוק כיום, חלופת הגנרטור שקולה מבחינת כלכלית לחלופת האגירה. יחד עם זאת, ככל שמחירי הסוללות ימשיכו לרדת, כצפוי, חלופת האגירה תהפוך לכלכלית יותר באופן מובהק מחלופת הגנרטור. בהקשר זה חשוב להזכיר כי חלופת האגירה היא עדיפה מבחינת אמינות ומבחינה סביבתית ותכנונית. בנוסף, ככל שמתקני האגירה יוקמו בקיבולת גדולה מהנדרש לחירום, מתקנים אלו יכולים להניב לבניין ערך והכנסות יומיומי ולתמוך במגמה של הפיכת הבניין לצרכן אנרגיה מתוחכם ובמדיניות הממשלה למעבר לאנרגיה מקיימת.

איור 1 - עלות עודפת מהוונת של האגירה מול עלות התחזוקה השנתית של האגירה



איור 1 מציג את רגישות הניתוח לעלות התחזוקה השנתית של האגירה. חלופת האגירה זולה יותר לאורך מחזור החיים כאשר עלות זו נמוכה מכ-4,800 ₪ במבנה 1, מכ-3,600 ₪ במבנה 2 ומכ-2,700 ₪ במבנה 3. הנחת הבסיס במודל (כ-3,100, 3,900 ו-5,800 ₪ בהתאמה) נמצאת מתחת לנקודת השוויון במבנה 1, מעט מעליה במבנה 2 ומעליה במבנה 3. ככל שהמבנה גדול יותר, כך רגישה ההשוואה לעלות התחזוקה של האגירה, שכן הפער בעלויות ההון לטובת הגנרטור גדל עם ההספק.

איור 2 - עלות עודפת מהוונת של האגירה מול עלות ההון של האגירה



איור 2 מציג את רגישות הניתוח לעלות ההון של האגירה (₪ לקוט"ש). חלופת האגירה זולה יותר לאורך מחזור החיים כאשר עלות זו נמוכה מכ-705 ₪ לקוט"ש במבנה 1, מכ-620 ₪ לקוט"ש במבנה 2 ומכ-570 ₪ לקוט"ש במבנה 3. הנחת הבסיס של 630 ₪ לקוט"ש (180 דולר) נמצאת מתחת לנקודת השוויון במבנה 1, סמוך לה במבנה 2 ומעט מעליה במבנה 3. ירידה של כ-10% במחיר האגירה, לרמה של כ-570 ₪ לקוט"ש (כ-160 דולר), מספיקה כדי שחלופת האגירה תהיה זולה יותר בשלושת טיפוסי המבנים – ירידה התואמת את מגמת המחירים בשנים האחרונות.