אקולוגיה וסביבה 2022; 13(3): 57-66

גם בישראל 'לא הבניינים צורכים אנרגיה, אלא אנשים': ניתוח סגנונות חיים כבסיס להבנת מאפייני צריכת החשמל של משקי בית והפוטנציאל לצמצום פליטות גזי החממה

דיאנה בוגין, מידד קיסינגר ואביתר אראל*
המחלקה לגאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן־גוריון בנגב
* erell@bgu.ac.il

חדירת המחקר

"משקי הבית בישראל צורכים כ־32% מאספקת החשמל... במדינות המפותחות האנרגיה המוקדשת לחימום ולקירור עשויה להוות חצי מסך הצריכה הכולל ואף למעלה מכך"

תקציר

בניינים המגורים צורכים כ־32% מהחשמל המופק בישראל, והביקוש גדל בשיעור של כ־3% לשנה בעשור האחרון. המשך גידול האוכלוסייה והביקוש לדיור, לצד השימוש הגובר במכשירי חשמל, יביאו ככל הנראה להמשך מגמה זו. בישראל, כמו במרבית המדינות המפותחות בעולם, מושקעים מאמצים רבים בניסוח ובהטמעה של תקנים 'לבנייה ירוקה', המיועדים בין השאר להביא לייעול צריכת האנרגיה ולצמצום ההשפעה של בניינים על הסביבה, לרבות הפחתה בפליטות של גזי חממה. ניתוח ממצאי מדגם מייצג של אוכלוסיית ישראל מלמד כי הגורמים המשפיעים ביותר על צריכת החשמל הכוללת של משק הבית הם שטח הדירה ומספר הנפשות המתגוררות בה – אולם גם כי קיימת שונות גבוהה מאוד בצריכה בין דירות דומות. בין היתר, נמצא כי גורמים כגון השכלה, מודעות סביבתית או גיל הדיירים, משפיעים מעט מאוד על הצריכה, ולכן ניתן להסביר את השונות רק בהבדלים בין־אישיים ובהרגלי השימוש במכשירי חשמל. לכן קידום מדיניות אפקטיבית לצמצום הפליטות הקשורות למשקי בית צריך להביא בחשבון לא רק מאפיינים פיזיים־מבניים אלא גם מאפיינים אנושיים־התנהגותיים המתבטאים בסגנונות חיים שמשפיעים על דפוסי צריכת החשמל של משקי הבית.

מילות מפתח: סקר · צריכת חשמל לנפש · צריכת חשמל סגולית · תקן לבנייה ירוקה

רקע

הדו"ח של המשרד להגנת הסביבה לבחינת הפוטנציאל להפחתת פליטות גזי חממה, שיש בו גם המלצה ליעד לאומי לישראל [18], מייחד פרק נרחב לבניינים בשל חשיבותם הרבה כצרכני אנרגיה. ואכן, משקי הבית בישראל צורכים כ־32% מאספקת החשמל [3]. זאת ועוד, הביקוש לחשמל של משקי בית נמצא במגמת עלייה של כ־3% בשנה [4] בעקבות תהליכים דמוגרפיים, הביקוש הגדל לדירות והשימוש הגובר במכשירי חשמל שונים במשקי הבית. ההכרה בחלקם המשמעותי של בניינים בצריכת אנרגיה בכלל וחשמל בפרט והמשמעויות של צריכה זו להיקפי הפליטה של גזי חממה לסביבה, יצרו עניין בקידום צעדים להתייעלות בצריכת החשמל כאמצעי לצמצום הפליטות. צעדים אלה כוללים אימוץ תקני בנייה שנועדו להבטיח תנאי מחיה ראויים לצד חיסכון בצריכת אנרגיה לאקלום (חימום וקירור) ולתאורה. התקנים הרלוונטיים בישראל הם התקן לבידוד תרמי של בניינים (ת"י 1045), תקן אנרגיה בבניינים (ת"י 5280), תקן לדירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה (ת"י 5282) ופרק האנרגיה בתקן לבניינים שפגיעתם בסביבה פחותה – בנייה ירוקה (ת"י 5281).

בעוד עיקר המאמץ כיום מתמקד בשיפור ההיבטים הפיזיים של הסביבה הבנויה, מחקרים רבים מראים כי צריכת החשמל בבניינים מושפעת במידה רבה מהתנהגות הדיירים, או כפי שניסחה זאת Janda "לא הבניינים צורכים אנרגיה, אלא אנשים" [16]. המשמעות היא שצמצום צריכת האנרגיה של מבנים והקטנת הפליטות הכרוכות בהפקת החשמל יחייבו גם שינויים בדפוסי ההתנהגות וצריכת האנרגיה של הדיירים. חיזוק לטענה הזו נמצא במחקר שנערך בארץ, ולפיו הקשר בין הדירוג האנרגטי של הדירה וצריכת האנרגיה לאקלום חלש מאוד [2]. אותו מחקר גם דיווח כי אף על פי שצריכת האנרגיה מושפעת במידה רבה מאוד מהתנהגות הדיירים, קשה מאוד להביא לשינוי בהרגלים שיתבטאו בחיסכון [10].

צריכת החשמל של משקי הבית מושפעת ממגוון גורמים, וניתן לחלק אותם לשלוש קבוצות:

מאפייני הבניין: מחקרים רבים מצאו כי צריכת האנרגיה בדירות גדולות גבוהה יותר מאשר בדירות קטנות [6], וצריכת האנרגיה בדירות בבניינים משותפים נמוכה יותר מאשר בבניינים צמודי־קרקע חד־משפחתיים [21].

גורמים חברתיים־כלכליים: השימוש במכשירי חשמל מושפע בין היתר מהכנסה [8], גם באופן עקיף, משום שהכנסת משק הבית משפיעה על גודל הדירה ועל איכות הבניין [17]; גם השכלה משפיעה על כושר ההשתכרות ובעקיפין על גודל הדירה [22].

מאפייני התנהגות: ישנן תאוריות לא מעטות המסבירות את התנהגות בני האדם בבניינים במונחים חברתיים, פסיכולוגיים, טכנולוגיים וכלכליים [15]. תאוריות מוקדמות הציעו תפיסות שלפיהן ההתנהגות רציונלית, ולפיכך מעשים, נעשים מתוך כוונה ותוך בחינה של ההשלכות הנובעות מהם, כדי להשיג תוצאה רצויה [12]. עם זאת, התנהגות עשויה להיות גם אלטרואיסטית או מונעת מנורמות חברתיות, כך שפעולה מסוימת אינה מונעת בהכרח מרצון ברווח מיידי ומוחשי [19]. נורמות כאלה, למשל, עשויות לבטא מודעות לנושאים סביבתיים ולהנחות פעולה שמיועדת לסייע להשגת קיימות במובן הרחב [9]. עם זאת, מחקרים אמפיריים רבים מראים כי דפוסי צריכת האנרגיה בבניינים, כמו דפוסי התנהגות בתחומים אחרים, אינם בהכרח רציונליים. כלומר, הם אינם משרתים בצורה מיטבית את האינטרסים הכלכליים או את הערכים של בני הבית [13]. התנהגות זו מוסברת

צריכת החשמל של משקי הבית מושפעת בעיקר מהמאפיינים הפיזיים של הבניין, מגורמים חברתיים־כלכליים, ממאפייני התנהגות ומהבחירות של הדיירים | צילום: מוסי כץ

בהטיות קוגניטיביות שונות, ובמידה רבה גם בהשפעות חברתיות.

בעוד הבנת התרומה של גורמים בודדים חשובה, הלכה והתבססה ההכרה שיש צורך לבחון את החיבור שבין הגורמים השונים ואפיון 'סגנונות חיים' של משקי הבית, המוגדרים כדפוסי שימוש שמושפעים מהרגלים, מנורמות וממבנה חברתי, ומעצבים את היקף השימוש בחשמל ואת מאפייניו [14]. צריכת האנרגיה בבניין המגורים משרתת אפוא סגנון חיים, הקובע לאילו מטרות היא מופנית [20].

את צריכת האנרגיה בבנייני מגורים ניתן לאמוד בעזרת מדדים שונים, שפותחו למטרות מגוונות. המדד הנפוץ ביותר הוא **צריכת האנרגיה הכוללת** למשק בית, לרוב בחישוב שנתי. לעומת זאת, תקני הבנייה בישראל (ת"י 5282 – דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה) ובעולם מדרגים את הבניינים וקובעים דרישות לתפקוד אנרגטי לפי הצריכה לאקלום למ"ר רצפה, גם כן בחישוב שנתי. מדד זה – **צריכת האנרגיה הסגולית** (EUI – Energy Use Intensity), הנמדדת ביחידות של קוט"ש למ"ר לשנה – מאפשר לקבוע דרישות לדירות בגדלים שונים באמצעות מספר אחד פשוט. לפי התקינה, ככל שערכו של המדד הזה נמוך יותר, כך הדירה נחשבת יעילה יותר בצריכת האנרגיה לאקלום. לבסוף, ניתן לאמוד את **צריכת האנרגיה לנפש**, שמקובל לחשוב כי היא מבטאת 'רמת חיים', אם כי היא שונה ממדינה למדינה ומושפעת מגורמים רבים, לרבות סגנון החיים. הצריכה לנפש מבטאת בצורה מיטבית את מִדרַך האנרגיה של הפרט ואת תרומתו לפליטת גזי החממה (כתלות במקור האנרגיה הראשונית).

שלא כמו במרבית מדינות אירופה, שם החשמל הוא רק 24.8% מצריכת האנרגיה הכוללת במשקי הבית [11], חשמל הוא מקור האנרגיה העיקרי של משקי הבית בישראל. מאמר זה מציג ניתוח של צריכת החשמל במבני מגורים בישראל תוך התייחסות למגוון גורמים המעצבים צריכה זו. המחקר בוחן שורה של גורמים אנושיים שידוע מהספרות כי הם משפיעים על צריכת החשמל במקביל למאפייני הסביבה הבנויה, ומנתח את צריכת החשמל והפליטה לסביבה של משקי הבית בישראל כפי שהיא מתבטאת בסגנונות חיים שונים.

דגש מיוחד ניתן להבנת צריכת החשמל לאקלום הדירות, משום שבמדינות המפותחות האנרגיה המוקדשת לחימום ולקירור עשויה להוות חצי מסך הצריכה הכולל ואף למעלה מכך. באיחוד האירופי, למשל, חימום הבתים היווה בשנת 2020 62.8% מהצריכה הכוללת של משקי הבית [11], וההוצאה לקירור פחות מאחוז אחד. בישראל אין נתונים מוסמכים לגבי חלקה של הצריכה לאקלום מסך צריכת האנרגיה במשקי הבית, אך אומדנים שונים מצאו כי היא עשויה להיות בין 22% [1] ל־30% [5] – ובכל מקרה היא נמוכה במידה רבה

על קצה המזלג

* כ־2/3 מצריכת החשמל בישראל נעשית בבנייני מגורים – לחימום ולקירור של הבית וכן להפעלת שלל מוצרי חשמל. לפיכך, למגזר זה תרומה גדולה לפליטת גזי חממה.
* כדי להפחית צריכה משמעותית זו מושם דגש ניכר על בנייה ירוקה, שבעזרת כלים תכנוניים והנדסיים משמשת להגדלת יעילות צריכת האנרגיה במבנים.
* לתשתית של מבנים ולטכנולוגיות המוטמעות בהם יש פוטנציאל ממשי לצמצם את צריכת החשמל, אך לעיתים האופן הלא חסכוני שבו האדם משתמשים בטכנולוגיה משפיע יותר מאשר עצם קיום הטכנולוגיה 'הירוקה'.
* במחקר נבחנה השפעת דפוסי ההתנהגות האנושית ומאפיינים סוציולוגיים על צריכת החשמל במבני מגורים, ומתוצאותיו עולה כי בתכנון מבנים ומאפייני צריכת האנרגיה שלהם יש לתת תשומת לב לא רק להיבטים הנדסיים, אלא גם להיבטים סוציולוגיים של צריכת אנרגיה.

המערכת

מהצריכה באירופה. חשוב להדגיש כי הצריכה לאקלום גבוהה יותר בקרב בעלי אמצעים, ונמוכה עד אפסית בקרב מעוטי יכולת [1].

שיטות

מידע מפורט על שימוש ביתי בחשמל ושורה של גורמים מסבירים פוטנציאליים שנבחרו לאחר סקירת ספרות רחבה ומחקר מקדים [7], התקבל בסקר אינטרנטי. את הסקר ערכה חברת סקרים, והוא כלל מדגם מייצג של 822 משקי בית ברחבי ישראל, שקיבלו תשלום מהחברה עבור השתתפותם. המדגם מייצג את אוכלוסיית ישראל בגודל המבנה ובפיזור הגאוגרפי בהתאם לאזורי האקלים בתקן לבידוד תרמי של בניינים (ת"י 1045), שאומץ בכל תקני האנרגיה בבניינים. השאלון כלל 55 שאלות בתחומים שונים: מאפיינים דמוגרפיים של הדיירים (מספר הדיירים במשק הבית, גיל, השכלה, הכנסה, תעסוקה וכיו"ב); מאפיינים פיזיים של הדירה (סוג הבניין, שנת ההקמה, כיוון החזית העיקרית וכו'); פירוט הציוד צורך האנרגיה בדירה (אמצעים לחימום ולקירור של הדירה, חימום מים, ציוד חשמלי וכו'); היבטים התנהגותיים הקשורים לצריכת אנרגיה (הרגלי שימוש בציוד החשמלי, לרבות תדירות ההפעלה של המכשירים שהם צורכי החשמל העיקריים, והמודעות להתנהגות חסכונית כגון כיבוי מזגן בחדר ריק מאנשים); מידת המודעות לנושאים סביבתיים בהיבט הרחב ביותר. את השאלון המלא ניתן לראות בנספח 1 באתר כתב העת. נתוני צריכת החשמל של כל משק בית התקבלו מצילום חשבון החשמל, הכולל תיעוד של הצריכה בתקופה של 14 חודשים שקדמו למועד הסקר.

הניתוח הראשוני של ממצאי הסקר בחן אילו גורמים הם המשפיעים ביותר על צריכת החשמל הכוללת של משקי הבית במדגם באמצעות רגרסיה לינארית מרובת משתנים בצעדים (stepwise). שיטה זו מאפשרת לזהות באופן אוטומטי את המשתנים ללא תלות בהשערת החוקר. המשתנים שנמצאו כבעלי החשיבות הרבה ביותר שימשו בשלב השני לחלוקה לסגנונות חיים שבוצעה על־ידי ניתוח אשכולות K-means, המחלקת תצפיות עם ממדים מרובים לקבוצות בעלות מאפיינים דומים. לאחר החלוקה עברו הקבוצות אפיון וזיהוי של מאפיינים דומים נוספים. השוני בין מאפייני צריכת החשמל השנתית של הקבוצות וכן טיב החלוקה של המודל נעשה באמצעות בדיקת one way-ANOVA ו־Tukey HSD, שאימתו כי אכן קיים שוני מובהק בצריכת החשמל השנתית בין הקבוצות.

תוצאות

צריכת החשמל של משקי הבית בישראל משתנה לאורך השנה בהתאם לשינויים העונתיים, ובחודשים ינואר–פברואר (חורף) ויולי–אוגוסט (קיץ) היא הגבוהה ביותר.

באיור 1 מוצגת התפלגות צריכת החשמל הכוללת הממוצעת לכלל משקי הבית במדגם לאורך השנה. לצד הצגת הצריכה הממוצעת מצביע האיור על השונות הגדולה בין משקי הבית בכל אחד מהחודשים השונים, לרבות חודשים שאופיינו בצריכת חשמל נמוכה לאקלום (אפריל ונובמבר).

כאמור, העונתיות בצריכת החשמל הכוללת בכל דירות המדגם הנראית באיור 1, מיוחסת בעיקר לאקלום. בהתאם לכך, חושבה צריכת החשמל לאקלום לפי אזורי האקלים בארץ, כפי שנקבעו בתקן הבידוד התרמי לבניינים (ת"י 1045). הצריכה לאקלום חושבה עבור כל משק בית מדי חודש בחודשו על בסיס ההפרש בהשוואה לחודש שהייתה בו הצריכה מזערית. ישנם אומנם הבדלים עונתיים גם בצריכת האנרגיה לשימושים אחרים, כגון תאורה או חימום מים, ומאידך גיסא, ייתכן שהיה צורך באקלום גם בחודש שהצריכה בו הייתה מזערית. לכן, בהיעדר נתוני מדידה מדויקים, יש להתייחס לערכים המוצגים בטבלה 1 בזהירות המתבקשת.

טבלה 1. צריכת החשמל הכוללת והצריכה לאקלום (חימום וקירור) בדירות המדגם, בחלוקה לפי אזורי אקלים הנהוגים בתקני הבנייה
צריכת החשמל העודפת בהשוואה לחודש הצריכה המזערית מיוחסת בעיקר לאקלום (חימום או קירור), אם כי ישנה עונתיות גם בגורמים אחרים כגון חימום מים.
הצריכה השנתית לאקלום (חימום וקירור) מחושבת לפי סכום ההפרשים בין הצריכה בחודש נתון לבין הצריכה בחודש עם הצריכה המזערית, לפי אזור האקלים – ולא כסכום אחוזי החימום והקירור בחודשי השיא.

	א – רצועת החוף	ב – השפלה והעמקים	ג – ההר*	ד – הבקעה והערבה	ארצי
צריכה שנתית למשק בית (קוט"ש)	6,623	7,812	6,901 (7,225)	8,515	**7,334**
החודש שבו הצריכה מזערית	אפריל	אפריל	נובמבר	פברואר	**אפריל**
חימום וקירור (% מהצריכה הכוללת)					
שיא החורף (ינואר–פברואר)	41%	43%	48% (50%)	32%	**43%**
שיא הקיץ (יולי–אוגוסט)	52%	48%	31% (30%)	56%	**47%**
סך כל החימום והקירור	35%	35%	32% (31%)	38%	**35%**
מספר משקי הבית	251	445	116 (76)	8	**823**

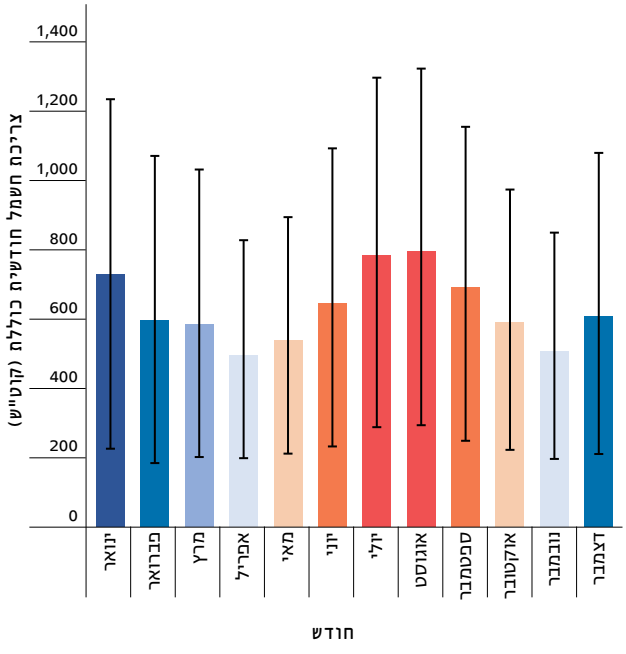
* הערכים המופיעים בסוגריים באזור ההר מציינים צריכת חשמל בדירות שהחימום בהן נעשה רק בחשמל. בשאר הדירות החימום נעשה, כולו או מקצתו, בגז או סולר.

רגרסיה מרובת משתנים מאפשרת לזהות מהם הגורמים המשפיעים ביותר על צריכת החשמל, וכן באיזו מידה הגורמים האלה מצליחים להסביר את צריכת החשמל הביתית. במודל הרגרסיה (טבלה 2) נמצא כי **הגורמים המשפיעים ביותר על צריכת החשמל הכוללת של משקי הבית הם, לפי סדר החשיבות: גודל הדירה, מספר הדיירים, הרגלי הצריכה וסוג הבניין** (צמוד־קרקע או בניין משותף). יחדיו הגורמים האלה מסבירים כ־42% מסך השונות בצריכת החשמל הביתית (R^2). הוספת גורמים נוספים לרגרסיה, לרבות הכנסה והשכלה, הביאו לשיפור זניח בכושר ההסבר של המודל.

גודל הדירה, מספר הדיירים, הרגלי הצריכה, וסוג הבניין, שזוהו כמשפיעים ביותר על צריכת החשמל, הוכנסו כגורמי חלוקה בניתוח אשכולות. באמצעות גורמים אלה חולק המדגם לקבוצות בעלות מאפיינים דומים כדי לנסות ולהסביר את השונות הגדולה בצריכת החשמל הנמדדת לכל אורך השנה, וכדי להבין את הקשרים המורכבים בין הגורמים המסבירים ולזהות סגנונות חיים בולטים בעלי השפעה על הצריכה הביתית. המדגם חולק לשש קבוצות בעלות צריכת חשמל שונה, שנובעת ממאפייני מבנה וממצב חברתי־כלכלי שונים. טבלה 3 מציגה את תוצאות הניתוח.

עיון בטבלה מדגים מספר מגמות ברורות. ראשית, צריכת החשמל **הכוללת** בבניינים צמודי־קרקע (אשכולות 5–6) גבוהה מהצריכה בדירות בבניינים משותפים (אשכולות 1–3). הבניינים צמודי־הקרקע הם בדרך כלל חדשים ובעלי שטח רצפה גדול,

איור 1. צריכת החשמל החודשית הממוצעת של משקי הבית במדגם
ישנה עונתיות ברורה, אבל שונות גדולה מאוד בין דירות המדגם בכל חודשי השנה. צבע העמודות בהתאם לעונת השנה (חודשים חמים – בגוני אדום, חודשים קרים – בגוני כחול). הקו השחור מייצג את סטיית התקן.



ונמצאים בבעלות הדיירים, שהם בעלי הכנסה ממוצעת או גבוהה. דירות בבתים משותפים בממוצע קטנות יותר, ישנות יותר, ומאוכלסות במשפחות קטנות יותר ובעלות פחות אמצעים, וחלק מהן שכורות.

איור 2 נותן ביטוי גרפי לחלק מהממצאים בטבלה 3. באיור ניתן להבחין במגמה כללית של עלייה בצריכת החשמל הכוללת של משק הבית ככל ששטח הדירה גדל. כמו כן ניתן לראות באיור 2 כי מרבית הדירות הגדולות הן בבניינים צמודי־קרקע: בתים אלה מוצגים בשלושת המקבצים המסומנים במשולשים בגוני אדום, בעוד שדירות קטנות יותר בבניינים משותפים מוצגות בעיגולים בגוני כחול.

לצד זאת, איור 2 מראה כי ישנה גם שונות גדולה מאוד בצריכה בתוך כל אשכול. כלומר, הקשר בין גודל הדירה וסוג הבניין לבין צריכת החשמל חלש, ויש לחפש גורמים מסבירים נוספים, כגון הכנסה. שטח הדירה וסוג המבנה מושפעים בין היתר מהכנסת משקי הבית (אם כי היא מושפעת לא רק מההכנסה השוטפת אלא מסך הנכסים בבעלות המשפחה, ומגורמים כגון מיקום). מגמה כללית של עלייה בצריכת החשמל הכוללת ככל ששטח הדירה גדל, עשויה אפוא להיות ביטוי עקיף להשפעת ההכנסה.

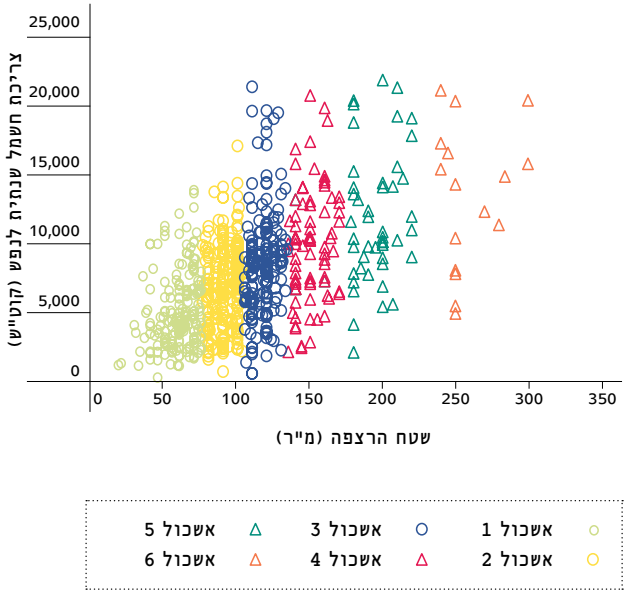
היות שכך, השפעתה של הכנסת משק הבית נבחנה גם בנפרד מההשפעה של הגורמים שנמנו קודם. איור 3 ממחיש כי בחלוקה לחמש דרגות הכנסה ישנה עלייה בצריכת החשמל החודשית הממוצעת ככל שעולה ההכנסה.

את השונות הגדולה בצריכת החשמל במשקי בית בישראל ניתן להסביר בעיקר על־ידי מאפיינים אישיים של הדיירים

מדוע אפוא לא נמצא בניתוח הרגרסיה כי ההכנסה היא הגורם העיקרי המשפיע על צריכת החשמל? בעוד הצריכה **הממוצעת** במשקי בית אמידים אכן גבוהה יותר מאשר במשקי בית בעלי הכנסה נמוכה, ישנה שונות גדולה מאוד בין משקי הבית גם בתוך כל אשכול, הנובעת משילוב גורמים נוספים, כגון מספר הנפשות, גילים, השכלה ועוד. ביטוי לשונות הזו ניתן לראות באיור 4, המציג את הקשר בין שטח הדירה לצריכת החשמל הכוללת, אך הפעם בפילוח לפי קבוצות הכנסה.

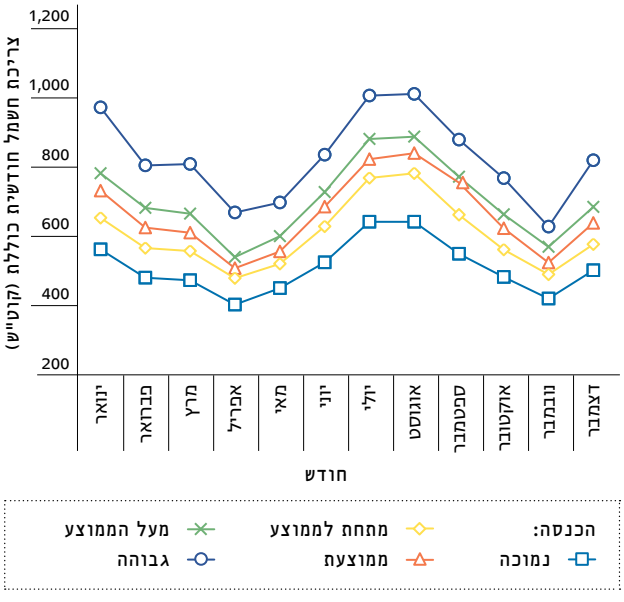
איור 2. הקשר בין שטח הדירה וצריכת החשמל השנתית הכוללת, בפילוח לפי אשכולות סגנון חיים

צריכת החשמל גבוהה יותר בדירות גדולות בכל האשכולות, אבל הפיזור גדול מאוד.



איור 3. הקשר בין ההכנסה הממוצעת לצריכת החשמל החודשית של משקי הבית במדגם

הצריכה עולה ככל שההכנסה גבוהה יותר, בכל חודשי השנה.



כפי שמראה איור 4, הקשר הישיר בין הכנסה וצריכת החשמל חלש למדי: בכל קבוצת הכנסה ניתן למצוא משקי בית הצורכים למעלה מפי שניים מהצריכה הממוצעת (כלומר, למעלה מ־15 אלף קוט"ש בשנה), לצד משקי בית שצורכים פחות מ־5,000 קוט"ש לשנה.

עד כה ניתחנו רק את צריכת החשמל **הכוללת** של משקי הבית. האם זהו המדד המתאים ללימוד הגורמים המשפיעים על הצריכה?

טבלה 3 הציגה גם נתונים עבור צריכת החשמל לנפש וצריכת החשמל למ"ר בשטח הדירה, המושפעות במידה רבה מהאנרגיה הדרושה לאקלום הבית. איורים 5 ו־6 מציגים את צריכת החשמל בדירות המדגם גם לפי שני מדדים אלה.

מאיור 5 עולה בבירור כי הפילוח לאשכולות נעשה בעיקר לפי שטח הדירה. אולם בדומה לצריכת החשמל הכוללת (איור 2), גם כאשר המשתנה התלוי הוא הצריכה לנפש, ישנה שונות גדולה מאוד בתוך כל אשכול. באשכול 2, לדוגמה, שמרבית משקי הבית בו מתגוררים בדירות בשטח של 80–100 מ"ר, צריכת החשמל השנתית לנפש היא בין פחות מ־500 קוט"ש לכמעט 10,000 קוט"ש.

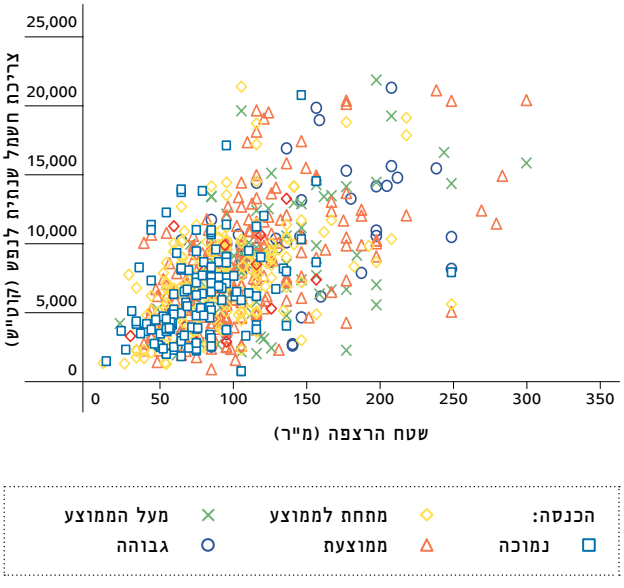
הסבר אפשרי לשונות קשור להבדלים בין־אישיים בהרגלי השימוש בציוד צורך אנרגיה. ככלל, אשכולות 1–3 הראו הרגלי צריכת אנרגיה טובים יותר **בממוצע**. משקי בית אלה נוטים יותר לבדוק תוויות לדירוג אנרגטי של מכשירי חשמל, מכבים את הטלוויזיה בתום השימוש, מפעילים דוד חשמלי רק כאשר תנאי מזג האוויר לא מאפשרים חימום בדוד שמש, משתמשים בתוכנית חסכונית במדיח

טבלה 2. הגורמים המשפיעים על צריכת החשמל הכוללת של משקי הבית: תוצאות רגרסיה לינארית מרובת משתנים בצעדים

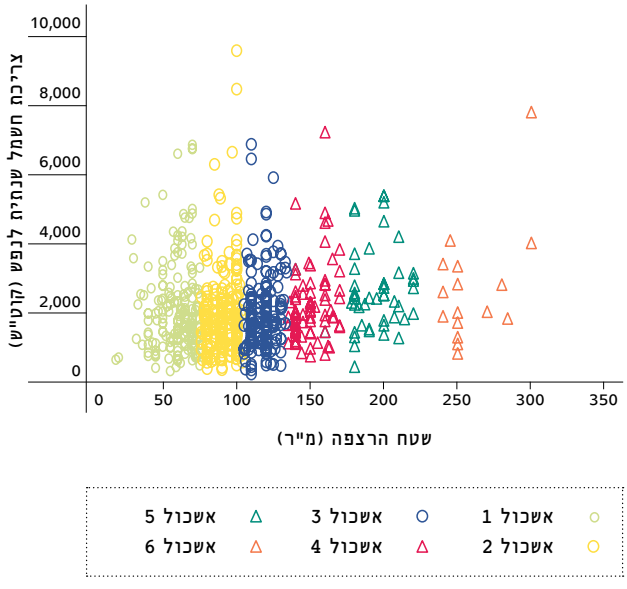
הגורמים	* R^2	** AIC	*** C(p)	**** RMSE
שטח הדירה	0.3050	15,409	158.7188	3,226
מספר הדיירים	0.3742	15,326	64.5311	3,063
הרגלי צריכה	0.4000	15,294	30.6355	3,001
סוג הבניין	0.4235	15,264	0.0154	2,943
גיל ראש המשפחה	0.4299	15,257	−6.8922	2,929
מודעות סביבתית	0.4327	15,255	−8.7349	2,923

* R^2 – מקדם ההסבר: ככל שערכו גבוה, כושר ההסבר של המודל טוב יותר.
** AIC (Akaike Information Criterion) – הקריטריון של אקייקה לבחירת מודל סטטיסטי, המביא בחשבון את פשטותו של המודל ואת איכות החיזוי: ערך נמוך מציין מודל עדיף על החלופות.
*** C(p) – הקריטריון של מלואוס (Mallows) לבחינת איכות המודל: ערך נמוך שקרוב ל־p+1 מציין מודל מדויק יותר, כאשר p הוא מספר המשתנים המנבאים במודל.
**** RMSE – שורש ממוצע ריבועי הטעויות: ערך נמוך מציין מודל מדויק יותר.

איור 4. הקשר בין שטח הדירה וצריכת החשמל השנתית הכוללת, בפילוח לפי הכנסה
צריכת החשמל הכוללת עולה עם הגידול בשטח הדירה, בכל רמות ההכנסה, אך השונות בין משקי הבית גדולה מאוד.



איור 5. הקשר בין שטח הדירה וצריכת החשמל השנתית לנפש, בפילוח לפי אשכולות סגנון חיים
ישנה שונות גדולה מאוד בצריכה לנפש, בכל האשכולות.



הכלים, ומפעילים מכונת כביסה רק כשהיא מלאה. עם זאת, כאשר בוחנים את **השונות** של הרגלי הצריכה, עולה כי ככל שההרגלים של האשכול טובים יותר (בממוצע), כך גדולה גם השונות. שונות זו מסבירה את הבדלי צריכת החשמל בתוך האשכולות.

מאיור 6 עולה כי בדירות המדגם בישראל ישנה מגמה ברורה של ירידה בצריכת החשמל הסגולית לאקלום ככל שהדירה גדולה יותר. כלומר דירות גדולות, לרבות יחידות דיור בבניינים צמודי־קרקע, לכאורה 'יעילות' יותר. במקביל, בדירות קטנות קיימת שונות גדולה מאוד בצריכת האנרגיה הסגולית, שנובעת מהבדלים בהתנהגות הדיירים ובהרגלים שלהם בכל הנוגע להפעלת מכשירי חשמל לקירור ולחימום. מאידך גיסא, כפי שמראה איור 7 – **הצריכה הכוללת** לאקלום גדלה במקביל לשטח הדירה.

דיון ומסקנות

צריכת החשמל במשקי בית בישראל מאופיינת בשונות גדולה מאוד, ומושפעת ממספר גורמים. בעוד שלגורמים מסוימים (כגון הכנסה) ישנה השפעה משמעותית על המאפיינים הפיזיים של הבניינים (לרבות גודל, סוג וגיל המבנה) המשפיעים גם על הצריכה, ישנם הבדלים ניכרים בצריכה, וניתן להסביר אותם רק במאפיינים האישיים של הדיירים, כגון מספר הנפשות בדירה, חלוקת הגילים, השכלה, בעלות על מכשירי חשמל, תפיסות עולם או רמת דתיות. כך לדוגמה, צריכת האנרגיה הכוללת בדירות גדולות, ובייחוד בבניינים צמודי־קרקע, אומנם גבוהה יותר בממוצע מאשר הצריכה בדירות קטנות יותר בבניינים משותפים – אך אינה בהכרח כזו, ולסגנון החיים של הדיירים יש חשיבות רבה. באופן דומה, הכנסה גבוהה מאפשרת צריכת חשמל גבוהה – אך אינה גורמת לה בהכרח.

בדומה למרבית מדינות העולם, ממשלת ישראל נקטה מספר מהלכים שמטרתם להפחית את צריכת החשמל בבניינים, וכפועל יוצא מכך להפחית את פליטות גזי החממה המתרחשות כחלק מתהליך הפקת החשמל. המהלך המשמעותי ביותר עד כה הוא אימוץ התקן לבנייה בת־קיימא (בנייה ירוקה), ת"י 5281, כתקן מחייב החל מהשנה הנוכחית (2022). פרק מרכזי בתקן זה קובע דרישות לתפקוד האנרגטי של יחידת תכנון (דירת המגורים) על בסיס צריכת החשמל הסגולית (Energy Use Intensity – EUI) לאקלום הדירה. דרישה זו קובעת דרגות חיסכון שיש לעמוד בהן, המחושבות לפי צריכת האנרגיה לחימום ולקירור, ביחידות של קוט"ש למ"ר לשנה. המשמעות של המתודולוגיה הזו, הנהוגה במרבית מדינות העולם, לרבות האיחוד האירופי, היא כי הקריטריון לקביעת הדרגה הוא היעילות של הדירה, ולא צריכת החשמל המוחלטת הדרושה לאקלום. לדוגמה, דירה גדולה עשויה להיות 'יעילה' יותר מאשר דירה קטנה, אך החימום והקירור שלה יצרכו הרבה יותר אנרגיה בחישוב הכולל. כפי שמראה איור 6, זו המציאות בפועל בישראל.

כדי לתת מענה לבעיה זו מוצע לשקול שינוי בתקינה, כך שלכל יחידת דיור יינתן 'תקציב אנרגיה' כולל לאקלום (חימום וקירור),

טבלה 3. סגנונות חיים לפי צריכת החשמל בישראל: חלוקה לאשכולות

אשכול	צריכת חשמל שנתית (קוט"ש)*			סוג המבנה	גודל המבנה, תקופת הבנייה	מספר נפשות	הכנסה	מאפיינים חברתיים
	צריכה כוללת	צריכה לנפש	צריכה למ"ר					
1	4,978 (2,602)	2,032 (1,247)	85 (45)	דירות	קטן** וישן***	2.9	נמוכה	שוכרים, צעירים, לא־מועסקים
2	6,664 (2,755)	1,904 (1,143)	73 (30)	דירות	קטן, תקופות בנייה שונות	4.0	ממוצעת־נמוכה	שליש בשכירות, לא־אקדמאים
3	8,140 (3,611)	1,952 (1,050)	69 (30)	דירות	בינוני וחדש	4.6	מגוונת	בעיקר חילוניים ומסורתיים
4	9,531 (3,923)	2,417 (2,292)	63 (26)	צמודי־קרקע ודירות	גדול וחדש	4.6	מגוונת	בעלי הנכס
5	11,260 (4,574)	2,571 (1,180)	58 (23)	צמודי־קרקע	גדול וחדש	4.7	ממוצעת־ גבוהה	הנכס בבעלות, אקדמאים
6	13,009 (4,934)	2,651 (1,626)	50 (19)	צמודי־קרקע	גדול מאוד וחדש	5.5	ממוצעת־גבוהה	הנכס בבעלות, אקדמאים

* המספרים בסוגריים הם סטיית התקן

** מבנה ישן – בנייה לפני 1970; מבנה חדש – אחרי 2010.

*** מבנה קטן – פחות מ־60 מ"ר; מבנה גדול – 150–200 מ"ר; מבנה גדול מאוד – יותר מ־200 מ"ר.

ללא קשר לשטחה. בהתאם לכך, דירות גדולות יותר יידרשו להיות יעילות יותר, כלומר בעלות EUI נמוך יותר לפי צורת החישוב הנהוגה היום, כדי לזכות בדירוג דומה לזה של דירות קטנות יותר אך פחות 'יעילות'. גודלו של תקציב האנרגיה יותאם למספר הנפשות המיועדות להתגורר בדירה, בהתאם למספר חדרי השינה. הסדר דומה קיים כיום בדירוג האמריקאי לבנייני מגורים של LEED (מהדורה 4) המעודד בניית בתים קטנים יותר והגבלה של השטח הממוזג.

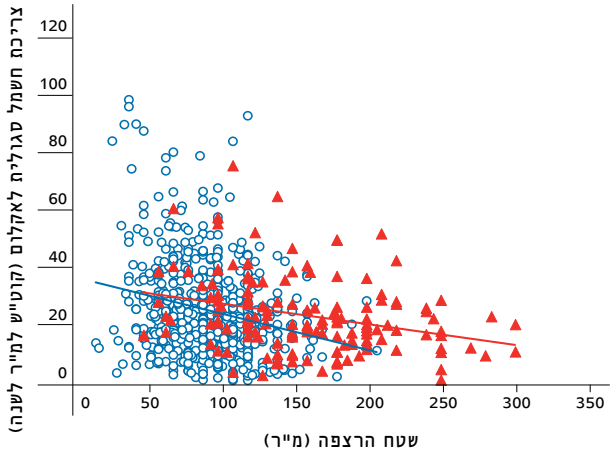
אף כי מספר המבנים העומדים בתקני בנייה מחמירים גדל עם השנים, חשוב לציין כי רוב מבני המגורים נבנו לפני ההכרזה על תקן הבנייה הירוקה כתקן מחייב, וכי התקינה תשפיע בעיקר על הבנייה העתידית (ובמקרים מסוימים על שיפוץ מבנים קיימים הכרוך בהגדלה משמעותית של השטח הבנוי). כמו כן, כפי שעולה ממחקר זה, בעוד צריכת האנרגיה ליחידת שטח (EUI) אכן יעילה יותר במבנים חדשים או בעלי תקן מתקדם, ככל ששטח יחידת המגורים גדל, גדלה גם צריכת החשמל הכוללת.

מניתוח ששת סגנונות החיים שנבחנו במחקר זה עולה תמונה מורכבת. בעוד הכנסת משק הבית לא נמצאה כגורם משמעותי במודל הרגרסיה, נראה כי זהו גורם משמעותי כאשר בוחנים את השפעתו הממוצעת על צריכת החשמל בחלוקה לפי סגנונות החיים. באשר לגורמים אחרים שנבחנו בניתוח האשכולות, לא נמצא גורם חברתי־כלכלי בולט אחר שהסביר את השונות בצריכת החשמל בין הקבוצות. ייתכן כי את השונות הבלתי מוסברת אפשר לייחס רק להבדלים הבין־אישיים בין משתתפי המדגם, אולם אם ברצוננו

מזגן הוא צרכן החשמל המרכזי ברוב הבתים

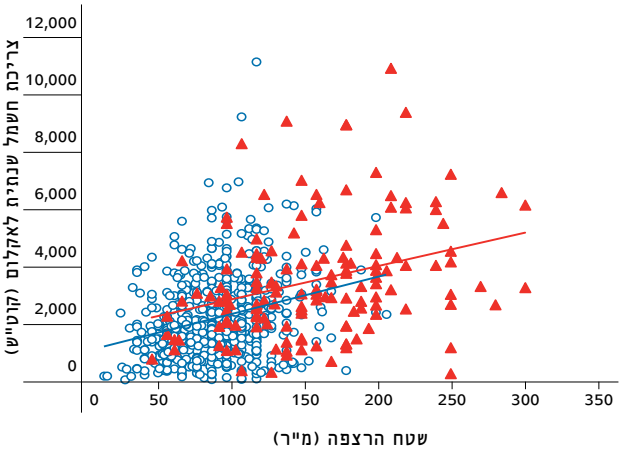
איור 6. הקשר בין שטח הדירה וצריכת החשמל הסגולית לחימום ולקירור

הצריכה הסגולית לאקלום גבוהה יותר בדירות קטנות מאשר בדירות גדולות וצמודי־קרקע, אבל מאופיינת בשונות גדולה מאוד.



○ דירה	Y = -0.12X + 36.59	R^2=0.06
▲ צמוד־קרקע	Y = -0.07X + 34.47	R^2=0.09

איור 7. הקשר בין שטח הדירה וצריכת החשמל הכוללת לחימום ולקירור



○ דירה	Y = 12.84X + 1,020.97	R^2 = 0.08
▲ צמוד־קרקע	Y = 11.47X + 1,659.11	R^2=0.10

לקדם מדיניות של צמצום צריכת החשמל, יהיה עלינו להבין את הנורמות וההרגלים הקשורים לשימוש במכשירי החשמל השונים. לשם כך יש צורך במחקר שימפה בצורה מדויקת את השימוש בצרכני חשמל עיקריים (כגון מזגנים) במדגם גדול של משקי בית, בין היתר באמצעות מוני חשמל חכמים ושיטות מתקדמות לזיהוי אוטומטי של המכשירים (NILM – Non-Intrusive Load Monitoring). לאחר המיפוי נוכל לקשור את דפוסי הצריכה אל ההתנהגות בפועל של משקי הבית בעזרת שאלונים מפורטים, כדוגמת השאלונים ששימשו גם במחקר הזה. מוצע כי מחקר כזה יתמקד בהבנת השונות בתוך כל אחד מהאשכולות שזוהו כאן.

קידום צעדים לייעול צריכת החשמל של משקי בית צריך להתייחס לגורמים הפיזיים והמבניים (גודל הדירה, מיקומה, קומה, EUI) וכן לגורמים האנושיים (הכנסה, מספר נפשות, גילים, השכלה, רמת דתיות). ברור כי לגורמים בודדים, כגון ההכנסה של משק הבית, יש השפעה על עיצוב הצריכה, אך הקשר מורכב, אינו ישיר, ולעיתים קרובות חלש. כדי להבין את מכלול הקשרים יש להביא בחשבון את סגנונות החיים של משקי בית שונים ואת השפעתם על צריכת האנרגיה. אימוץ גישה כזו לקידום ייעול השימוש באנרגיה ולצמצום הפליטות הקשורות לצריכת חשמל יאפשר קידום מדיניות דיפרנציאלית שתותאם למאפיינים של קבוצות אוכלוסייה שונות באמצעות צעדים כגון הסברה מותאמת, סבסוד, ייעול השימוש באנרגיה ותמחור מותאם.

תודות

המחקר "השפעת הבנייה הירוקה על צריכת חשמל בבנייני מגורים בישראל" ממומן על־ידי משרד האנרגיה (תיק מס' 030-11-218). דיאנה בוגין מקבלת תמיכה מקרן המלגות ע"ש קרייטמן של אוניברסיטת בן־גוריון בנגב.

מקורות

ראו באתר כתב העת.

הלכה למעשה

בישראל, כמו ביתר מדינות העולם, נקבעו קריטריונים מינימליים בתקינה של מבנים שמטרתם לספק נוחות תרמית מיטבית תוך הפעלה יעילה וקטנה ככל האפשר של מקורות אנרגיה הנדרשים להשגתה. התקינה הישראלית קובעת את הדרישות שיש ליישם באלמנטים של המבנה המשפיעים על המדדים הללו, כדוגמת הגג וקירות המעטפת ובידודם, תכונות פתחי האור בבניין, כמו חלונות ומכלולי ההצללה שלהם, אספקת אוויר נוחה, מניעת חדירת אוויר לא מבוקרת ועוד.

אין חולק על כך שעמידה בדרישות התקינה אינה מספיקה לבדה כדי להבטיח צריכת אנרגיה נמוכה, אך גם אין ויכוח שאי־עמידה בדרישות תגרום למשתמש לשהות במבנה שאינו מותאם תרמית או כזה שמחייב הפעלה אינטנסיבית של ציוד צורך אנרגיה שיפצה על כך. כפי שמעלה המחקר, הגורם האנושי, אופן תפעולו את המבנה, מאפיינים פיזיולוגיים, הרגלים (צרכניים והתנהגותיים) ומאפיינים סוציולוגיים (הכנסה ומספר נפשות) משפיעים רבות על דפוסי צריכת האנרגיה של משק הבית. יש לבדוק אם ההצעה לקבוע בתקן הבנייה תקציב אנרגטי לנפש אכן יכולה לתרום להעלאת המודעות ולהשפיע על מאפייני הצריכה של משק הבית, והדבר מחייב דיון ציבורי. ייתכן שביטוי שלה יכול להיות מיושם במישורים שאינם בתקינת מבנים, לדוגמה בתעריף החשמל הביתי (בדומה לנהוג בתעריף המים). מנגד, מאפיין פיזי כמו גודל הדירה, ראוי שישפיע יותר על דרישות התֶכֶן הקבועות בתקן המבנים, ויפצה על הצריכה הכוללת ולא היחסית של הנכס, שלא כמו האופן שהדרישות הללו באות לידי ביטוי כיום בתקינה לאנרגיה בבניינים. שני השינויים המוצעים מעוררים מחשבה ודורשים עבודות המשך.

אדריכל רן אברהם,

מנהל אגף בנייה ירוקה תקינה ותיווי במשרד להגנת הסביבה. מכהן כיו"ר הועדה הטכנית לבנייה ידידותית לסביבה 6204 במכון התקנים