



שאלת המחקר:

כיצד יישום כלי מדיניות להתייעלות אנרגטית ישפיע על צריכת האנרגיה של מבני מגורים בישראל?

מנחה: ד"ר אסנת ליפשיץ.

מגישים:

אופק גבע- 204295430

אורי ארגוב- 312482060

תוכן עניינים:

3	תקציר ועקרי ההמלצות
---	---------------------------

1. חלק ראשון - הקדמה

5	1.1 שאלת המדיניות ומטרות הנייר
---	--------------------------------------

6	1.2 רקע וסקירת ספרות
---	----------------------------

2. חלק שני - ניתוח

10	2.1 שיטה
----	----------------

10	2.2 בניית מסד הנתונים
----	-----------------------------

12	2.3 אופן ביצוע המחקר
----	----------------------------

13	2.4 תוצאות המחקר
----	------------------------

3. חלק שלישי - דיון במסקנות

16	3.1 מסקנות
----	------------------

17	3.2 המלצות
----	------------------

19	4. <u>רשימת מקורות</u>
----	-------------------------------------

5. נספחים

21	5.1 שיעור ההוצאה הממוצעת על אנרגיה מסך ההוצאה לתצרוכת לפי עשירונים
----	--

22	5.2 תיאור נתוני המדגם
----	-----------------------------

23	5.3 המודל הלינארי
----	-------------------------

24	5.4 הוכחה לקיום הטרוסקדסטיות במדגם
----	--

תקציר ועקרי ההמלצות

צריכת חשמל במבני מגורים בישראל מהווה כ-3% מהוצאות התצרוכת של משקי בית וכ-30% מצריכת החשמל הכללית של המשק (פליישון & טייטלבוים, 2018). נתונים אלו לצד העובדה שמלאי הדירות צפוי לגדול בכ-50% עד שנת 2035 מדגישים את החשיבות של התייעלות אנרגטית במבני מגורים. תכנית לקידום התייעלות אנרגטית של מבני מגורים בישראל עשויה להביא לצמצום ניכר בהוצאות משקי הבית לצד הפחתת השפעות סביבתיות הכרוכות בייצור חשמל. אסדרת נושא היעילות האנרגטית של מבני מגורים בישראל מתבססת על שלושה תקנים:

- תקן 5281 - התקן הישראלי לבנייה ירוקה – תקן וולנטרי.
- תקן 5282 –דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה – תקן וולנטרי.
- תקן 1045 חלק 1 - דרישות מינימליות לבידוד תרמי בבנייני מגורים – תקן מחייב.

מכוח תקן 5281 מתומצצים פרויקטים לבנייה ירוקה, לצד פרויקטים לשיפור מבנים סטנדרטים והפיכתם למבנים ירוקים. היות והוכח קשר מובהק בין בנייה ירוקה לבין חיסכון בצריכת חשמל משימוש בדירה (בלבן & קול, 2018), עולה המסקנה כי הגדלת שיעור המבנים הירוקים צפויה להביא לחיסכון משקי חשמל והגדלת התועלת הכללית. מחד גיסא, תמריצים אלו באים לידי ביטוי בפרויקטים חדשים רבים ואף הביאו לכך ש-58% מתוכניות בניין העיר אשר קיבלו תוקף בין השנים 2014-2018 מחייבות בנייה ירוקה בתכנון מבנים חדשים, אך מאידך מרבית המבנים הקיימים אשר עוברים שיפוץ אינם מצליחים לעמוד בתנאים לקבלת תקן 5281 ולכן שיפור יעילותם האנרגטית אינה מתומצצת כלל.

הכלי המקובל בעולם לבחינת יעילות אנרגטית של מבני מגורים קיימים הינו הנפקת תעודת EPC (Energy Performance Certificate) אשר מדרגת את היעילות האנרגטית של מבנים בסולם מ-A דירה יעילה ביותר, ועד-G דירה לא יעילה כלל. דוגמה לשימוש בכלי זה ניתן לראות במאגרי המידע של מדינות שונות באירופה, כאשר בולט בנגישותו מאגר המידע של הממשל הבריטי. בישראל ניתן להנפיק תעודת EPC המקבלת תוקף מכוח מתוקף תקן 5282, אומנם היות ותקן זה הינו וולונטרי, לרוב המבנים בישראל לא בוצעה מדידת יעילות אנרגטית ולא הונפקה תעודת EPC. העדר רישומי EPC למבנים רבים ומחסור במסד נתונים לאומי מגבילים את המחקר האקדמי ומאלצים אותם להתבסס על נתוני מדגמים קטנים ומאגרי מידע של מדינות אחרות. לכן, נוצר קושי בהערכת חשבון החשמל הצפוי לצרכן משהייה בדירה ובאמידת התועלת הכלכלית מהליך שיפור התייעלות אנרגטית. קושי זה יוצר כשל שוק מסוג פער אינפורמציה אשר גורם לפרויקטים להתייעלות אנרגטית לא לצאת לפעול ומביא לפגיע בתועלת המשקית.

על מנת לבחון את ההשלכות הכלכליות של יישום כלי מדיניות צורת EPC בישראל, פותח מודל אקונומטרי מסוג רגרסיה לינארית המבוסס על 14,141,876 רישומי EPC ממאגר המידע של ממשלת בריטניה. תוצאות המודל מספקות אומדן לצריכת האנרגיה החזויה משימוש בדירה בעלת פרמטרים נתונים עבור כל אחת מדרגות ה-EPC, על בסיס האומדנים שהתקבלו נבנה מודל כלכלי אשר חוזה את התועלת משיפור הדירוג האנרגטי של מבנה מגורים, תחת ניתוחי רגישות שונים. האומדים שהתקבלו יצאו מובהקים ברמת מובהקות של 99.99% (פרט למשתנה של אזור WEST MIDLAND) והם מלמדים על פוטנציאל חיסכון גבוהה במיוחד משיפור אנרגטי של דירות בעלות דירוג אנרגטי נמוך לעומת פוטנציאל חיסכון נמוך יחסית משיפור אנרגטי של דירות בעלות דירוג אנרגטי גבוהה. תוצאות

אלו משקפות את חוסר היעילות במדיניות האסדרה הקיימת היום במדינת ישראל, אשר מתמרצת מעבר לבנייה ירוקה אך לא מספקת תמריץ להתייעלות אנרגטית במבנים קיימים שלא ניתן לשפר עד לכדי עמידה בתנאי הסף לקבלת תקן הבנייה הירוקה. לאור זאת מוצגת להלן רשימת מסקנות נייר המדיניות והמלצות לשיפור תחום ההתייעלות האנרגטית במבני מגורים בישראל:

1. **EPC בישראל:** אומנם אימוץ תקן 5282 כתקן מחייב, יסייע בצמצום פער האינפורמציה והקטנת כשל השוק הנובע ממנו, אולם מדידת הדירוג אנרגטי של כלל הדירות במדינה הינה הליך יקר המצריך משאבים רבים. לכן, ממליץ צוות העבודה על הפיכת תקן 5282 לתקן מחייב כתנאי להעברת רישום בטאבו לכלל הדירות המוצעת להשכרה או מכירה. בנוסף, מומלץ על איתור מבנים בזבזניים אשר יהיה מבוסס על נתוני קריאת מונים של חברת החשמל. למבנים אשר יאובחנו כמבנים לא יעילים במיוחד, שאינם עומדים להשכרה או מכירה תונפק תעודת EPC במימון קרן ההתייעלות האנרגטית המוצגת בהמלצה מספר 2 כדלקמן.

2. **הקמת קרן למימון התייעלות אנרגטית של מבני מגורים:** בעקבות הצורך במימון צעדי מדיניות כמוזכר בהמלצה 1, ממליץ צוות העבודה על הקמת קרן ממשלתית אשר תאגד ותממן תקציבי התייעלות אנרגטית מטעם משרד האנרגיה, משרד השיכון והבינוי והמשרד להגנת הסביבה.

3. **איכות מסד הנתונים הלאומי:** מאגרי הנתונים העוסקים ביעילות אנרגטית של מבני מגורים בישראל אינם מאפשרים ביצוע מחקרים מתקדמים ומאלצים את המחקר הישראלי להסתמך על נתוני מדינות אחרות וסקרים מדגמיים. לאור מסקנה זו, ממליץ צוות העבודה על הקמת תכנית לשיפור מסד הנתונים הישראלי. מומלץ כי התכנית תמומן על ידי הקרן למימון התייעלות אנרגטית של מבני מגורים המוזכרת בהמלצה מספר 2 וכי מסד הנתונים המשופר יכיל את רכיבי ה-EPC אשר ימדדו במסגרת יישום המלצה מספר 1 ויגיש את המידע לציבור.

4. **כלים לאמידת צריכת חשמל צפויה:** היות ואין בידי הצרכן כלים להערכת צריכת החשמל הצפויה משהייה בדירה, ממליץ צוות העבודה על פיתוח "מחשבון תחזית צריכת חשמל" אשר יהיה מבוססים בהתחלה על המודל האקונומטרי אשר פותח במסגרת עבודה זו ובהמשך על מודל אקונומטרי שיבוסס על מסד הנתונים הלאומי עליו הומלץ בהמלצה 3.

5. **התייעלות אנרגטית במסגרת תמ"א 38:** במרבית המבנים אשר שופצו במסגרת תמ"א 38 לא הייתה היתכנות כלכלית לביצוע שיפורים ברמה מספקת לעמידה בתקן 5281. כתוצאה מכך, לא היה תמריץ רגולטורי לשיפור יעילותם האנרגטית והנושא הוזנח במקרים רבים. לכן, מומלץ על, עריכת תכנית מתאר ארצית להתייעלות אנרגטית של מבני מגורים בישראל.

6. **פוטנציאל ההתייעלות במבנים בזבזניים:** מבנים קיימים רבים אינם יכולים לעמוד בתנאי הסף לקבלת תקן 5281 ולכן שיפור יעילותם האנרגטית אינו מתומרך כלל בהסדרה הקיימת, לאור זאת ממליץ צוות העבודה על בחינת תקן חדש אשר יתמרץ התייעלות אנרגטית ללא תלות בתקן 5281.

7. **קיום מחקר המשך:** לאור מגבלות המחקר, מומלץ על עריכת מחקר מקיף יותר אשר יפריד בין צריכת גז לבין צריכת חשמל, יכלול את השפעת הזמן וייתן אומדנים מדויקים. על בסיס תוצאות

מחקר זה יהיה ניתן לשפר מדיניות האסדרה ולגבש מדיניות אשר תמקסם את התועלת הכללית.

1. חלק ראשון – הקדמה

1.1 שאלת המדיניות ומטרות הנייר

לאורך המאה ה-20, חיבור משקי בית לרשת החשמל שינה את אורח החיים המסורתי והעלה באופן משמעותי את איכות החיים. במקביל לשיפור איכות החיים, נוצרה בקרב משקי הבית הוצאה חדשה-חשבון חשמל. לאורך שני העשורים האחרונים, היוותה צריכת חשמל בדירות מגורים בין 2.5% ל-3.6% מהוצאות התצרוכת של משקי בית בישראל (הלמ"ס, 2015). פילוח צריכת החשמל בשנת 2015 לעשירונים, לפי רמת הכנסה כספית נטו לנפש סטנדרטית, מראה שצריכת החשמל בקרב העשירונים העליונים גבוהה מזו של העשירונים התחתונים. אולם, שיעור ההוצאה על חשמל מסך ההוצאה לתצרוכת מתואם שלילית עם ההכנסה ומגיע לכך ששיעור צריכת החשמל מסך ההוצאות בקרב העשירון התחתון גבוהה בלמעלה מפי 2 מזה של העשירון העליון (נספח 1).

בנוסף להוצאות הכספיות, פרסום יעדי פיתוח בר קיימא של האו"ם והחתימה על הסכם פריז בשנת 2015 העלו את נושא ההתחממות הגלובלית ושינויי אקלים לראש השיח הציבורי. במסגרת הסכם פריז, התחייבה מדינת ישראל, לצד 195 מדינות מרחבי העולם ליישם פעולות להפחתת פליטות גזי חממה. בין הפעולות נמנים הליכי התייעלות אנרגטית אשר מטרתם לסייע בהאטת ההתחממות הגלובלית (UNITED NATIONS, 2015).

הנתונים הכלכליים לצד החשיבות הסביבתית, והעובדה שצריכת החשמל במבני מגורים מהווה כ-30% מצריכת החשמל הכללית בישראל (פליישון & טייטלבוים, 2018), מעלים את הצורך בבחינת היעילות האנרגטית של מבני מגורים ואמידת פוטנציאל החיסכון משיפור דרגת היעילות האנרגטית של דירות. שיפור היעילות האנרגטית של מבני מגורים, יסייע למשקי הבית לצמצם את צריכת החשמל שלהם ובכך להפחית הן את הוצאות משק הבית על חשמל והן את זיהום האוויר ופליטת גזי החממה הנלווים לייצור חשמל.

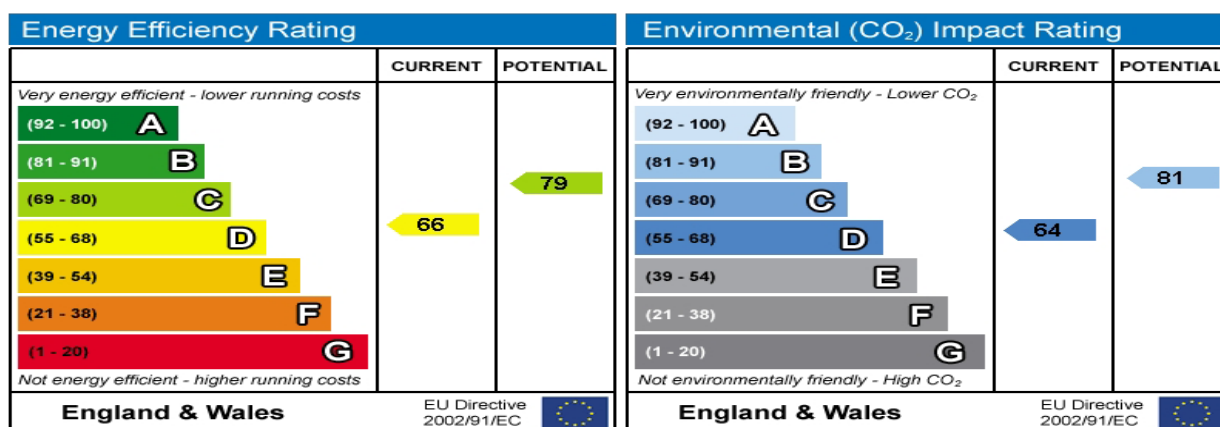
מטרת נייר מדיניות זה הינה לאמוד את פוטנציאל החיסכון באנרגיה משיפור דרגת היעילות האנרגטית של מבני מגורים, לבחון את הפוטנציאל הכלכלי הטמון בשיפור היעילות האנרגטית של דירות ולהמליץ על מדיניות לקידום התייעלות אנרגטית בסקטור הדיור בישראל. אסדרה וניהול של תחום ההתייעלות האנרגטית למבני מגורים בישראל עשויה להביא תועלת כלכלית סביבתית וחברתית.

1.2 רקע וסקירת ספרות

יעד מספר 7 ברשימת יעדי פיתוח בר קיימא של האו"ם (7 SDG) קורא למדינות העולם לספק אנרגיה נקייה ולהנגיש אותה לכלל האוכלוסייה. במסגרת יעד זה הגדירו באו"ם מטרה להכפיל את שיעור ההתייעלות האנרגטית בעולם עד שנת 2030 (United Nations, 2020). על מנת להשיג את המטרה בצורה הטובה ביותר, יש לבחון את היעילות האנרגטית של המגזרים השונים ולאתר את התחומים בהם פוטנציאל ההתייעלות הוא הגדול ביותר. בשנת 2017, משקי הבית היוו 27% מצריכת האנרגיה הסופית, או 17% מצריכת האנרגיה היבשתית הגולמית, באיחוד האירופי. בשנה זו, השימוש העיקרי באנרגיה על ידי משקי בית היה לצורך חימום ועמד על כ- 64% מצריכת האנרגיה הסופית (EU, 2020). נתונים דומים אפשר לראות בארה"ב (EIA, 2019) ובישראל (פליישון & טייטלבוים, 2018) על כן, טמון פוטנציאל רב ביעול צריכת האנרגיה בסקטור הביתי, המהווה אלמנט חשוב כדי לעמוד ביעדי האו"ם.

הדרך המקובלת בעולם לבחינה והצגה של נתונים אודות יעילות אנרגטית של דירות מגורים הינה הנפקת תעודת EPC (Energy Performance Certificate) אשר מדרגת את היעילות האנרגטית של הדירה בסולם מ-A דירה יעילה ביותר, ועד-G דירה לא יעילה כלל (Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2020). דוגמה לתעודת EPC אפשר לראות באיור מספר 1. כפי שניתן לראות מהאיור, האינפורמציה בתעודה מוצגת בסקלה מס 0 עד 100 ומקוטלגת לדרגות לפי אותיות. מידע זה משקף את היעילות האנרגטית באופן ויזואלי, אולם, אינו נותן לצרכן הערכה אודות צריכת האנרגיה הצפויה לו משימוש בנכס ומידע אודות החיסכון באנרגיה מהליך התייעלות אנרגטית. גם המידע על ההשפעה הסביבתית מוצג בחלק מהמדינות ותפקידו לחדד את היתרונות שיש לדירות חסכוניות יותר, אך גם הוא אינו מספק מידע במונחים כספיים.

איור 1: דוגמה לתעודת EPC מאנגליה



From: <https://www.igl.co.uk/letting-energy-performance-certificates/>

במדינות רבות בעולם ובמדינות האיחוד האירופי בפרט, מלבד מתן אינפורמציה לצרכנים, משמש הדירוג האנרגטי ככלי לקידום התייעלות אנרגטית ותחרות בענף הבנייה (Arcipowska, Anagnostopoulos, Mariottini, & Kunkel, 2014). תעודת הדירוג האנרגטי משקפת לצרכנים את איכות הבנייה ונותנת להם אינדיקציה אודות צריכת האנרגיה הצפויה להם משהותם בדירה.

בכך, מסייע הדירוג האנרגטי בצמצום פערי אינפורמציה, העלאת מודעות צרכנית, עידוד תחרות על איכות הבנייה בקרב יזמים, וצמצום הוצאות החשמל לצרכנים.

בסקירת מאגרי המידע על נתוני EPC בקרב מדינות אירופה בולט המאגר השייך לממשל הבריטי והוא נמנה לצד מאגרים של מדינות נוספות כמו ספרד, סקוטלנד והולנד (Bio Intelligence Service, Ronan Lyons, & IEEP, 2013). המאגר הבריטי מכיל פירוט של מרכיבי הדירוג אנרגטי של מבני מגורים ומנגיש אותו לציבור במתודולוגיית Open Data. יצירת מסד נתונים שכזה נועד לשקף את המידע לציבור, לשפר את אמינות הכלי ולאפשר מחקר אקדמי מבוסס. הדרך לעשות זאת היא באמצעות מתן גישה לבעלי דירות, עסקים, חוקרים ומתווי מדיניות, לבצע בחינה של הנתונים ואנליזות מתאימות שעל בסיסן ניתן לבחור אסטרטגית פעולה שתמקסם הן את תועלתם האישית והן את תועלת המשק הלאומי (Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2020). עם זאת יש הטוענים כי התועלות האמורות להשתקף ממסד נתונים זה אינן מתממשות במלואן (Garnier, 2013).

במחקר שערך צוות חוקרים עבור ממשלת יוון, עלתה המסקנה שעיקר ההבדלים בצריכת אנרגיה בדירות בין האזורים השונים במדינה נובע מיכולות הבידוד הטרמי של החלונות ומיעילות מערכות חימום המים (Droutsas, Kontoyiannidis, Dascalaki, & Balaras, 2016). החוקרים עשו שימוש בנתוני EPC, על מנת לערוך סקירה כללית ליעילות האנרגטית של מבנים ברחבי המדינה ומיפו את האזורים השונים לפי רמת היעילות האנרגטית של המבנים בהם. מסקנות המחקר מצביעות על פוטנציאל התייעלות גבוה באזורים רבים ומדגישות את חשיבות מדידת הדירוג האנרגטי של מבנים והנפקת תעודות EPC, על מנת לאפשר מחקר אקדמי אשר יסייע בבחינת פוטנציאל ההתייעלות ובניתוחי עלות - תועלת להליכי התייעלות אנרגטית.

ניתן להניח כי נכונות הצרכנים לשלם עבור דיור הינה רציונלית, מתואמת עם הדירוג האנרגטי, ומשתנה לפי חשבון החשמל הצפוי משימוש בדירה. במחקר אשר נערך בהולנד ע"י (Murphy, 2014), בוצע ניתוח Ex-Post Ex-Ante על נתוני שוק הדיור ההולנדי. המחקר בחן את השפעת הצגת תעודת EPC על החלטות צרכנים בעת קנייה, מכירה או השכרה של דירה. מסקנות המחקר מוכיחות כי האדם אינו פועל בהכרח תחת ההנחת הרציונלית, תושבי המדינה לא שינו את מעשיהם כפי שהצהירו בניתוח ה-Ex-Ante. מסקנות אלו מוסברות על ידי כשל בתהליך היישום של ה-EPC במדינה אשר גרם לחוסר אמון ציבורי ופגע קשות בתדמית של ה-EPC במדינה. החוקרת טוענת כי הפוטנציאל הכולל של ה-EPC לחולל שינוי בשוק הדיור ההולנדי מוטל בספק והפתרון להתייעלות השוק הינו שילוב של EPC בכלי מדיניות נרחבים יותר (Murphy, 2014). טענה זו מעלה את המסקנה שבמקרים מסוימים, על אף חשיבות הנפקת ה-EPC הן אינן אפקטיביות ככלי מדיניות בפני עצמן, ומעלה דיון אודות צעדי מדיניות משלימים שיש לנקוט במקביל להנפקת התעודות.

גם בישראל מייחסים חשיבות לנושא ההתייעלות האנרגטית. עם העלייה במודעות הציבורית לנושא התייעלות אנרגטית במבנים, הורתה לשכת המדענית הראשית במשרד להגנת הסביבה על ביצוע "סקר תמריצים לבנייה ירוקה בעולם והתאמתם לישראל" (גראב, פרלמוטר, אראל, בקר, & גולדן, 2016). תוצאות הסקר הציגו המלצות לשימוש בכלי מדיניות בארץ, על סמך לקחים מניסיונות לתמרץ בנייה ירוקה בחו"ל, תוך ניתוח המאפיינים הייחודיים לענף הבנייה הישראלי וכלי המדיניות המיושמים כיום. בין ההמלצות נכלל יישום דירוג אנרגטי לדירות והצגת תווית דירוג אנרגטי (EPC) כתנאי

לרישום נכסים בטאבו. במסגרת המחקר מדגישים החוקרים את הצורך ביישום כליי מדיניות לחיסכון באנרגיה, ואת הצעדים הדרושים על מנת ליישם כלים אלו. בנוסף, מעלים החוקרים טענה המתיישרת עם מסקנות המחקרים המוזכרים לעיל, לפיה המהלך צריך להיות מלווה בכלים משלימים אשר יסייעו לתעודת EPC לשקף את טיב הדירה לצרכנים, להקטין את פערי האינפורמציה ולסייע להם בחיזוי צריכת האנרגיה הצפויה משימוש בדירה. ממצאי המחקר מחזקים את חשיבות שאלת המחקר ומדגישים את הצורך בבחינת פוטנציאל החיסכון משיפור הדירוג האנרגטי של דירה.

בישראל קיימים כיום שני תקנים וולונטריים ותקן אחד מחייב, המסדירים את נושא היעילות האנרגטית של מבני מגורים (מכון התקנים הישראלי, 2020):

- תקן 5281 - התקן הישראלי לבנייה ירוקה.
- תקן 5282 - דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה.
- תקן 1045 חלק 1 - דרישות מינימליות לבידוד תרמי בבנייני מגורים.

היות ותקן 5282 הינו וולונטרי, לרוב המבנים בישראל לא הונפקה תעודת EPC (פליישון & טייטלבוים, 2018). על אף עובדה זו, ניתן לבחון את ההבדלים בצריכת החשמל בין דירות יעילות מבחינה אנרגטית לבין דירות שאינן יעילות על ידי השוואת דירות סטנדרטיות (דירות העומדות בתקן 1045) לדירות בבנייה ירוקה (דירות העומדות בתקן 5281). דירות מסוג זה, נבדקו על פי מדדים הבוחנים את ההשפעות הסביבתיות הכרוכות בתהליך הבנייה ובשימוש בהן. בין המדדים השונים הנבדקים (קרקע, מים, חומרים וכו') נבדק גם הדירוג האנרגטי של הדירה על פי תקן 5282, קבלת דירוג צריכת אנרגיה ברמה C ומעלה בתקן הישראלי, מהווה תנאי סף לקבלת תקן הבנייה הירוקה (המשרד להגנת הסביבה, 2020).

השוואת דירות סטנדרטיות לדירות בבנייה ירוקה מראה כי ישנו קשר מובהק בין בנייה ירוקה לבין חיסכון בצריכת החשמל וכי הוא אינו נובע ממאפיינים דמוגרפיים או הבדלים התנהגותיים של הדיירים (בלבן & קול, 2018). אומדן לכמות האנרגיה הנחסכת כתוצאה מאימוץ תקן 5281 בדירה מעריך כי צריכת חשמל ממוצעת (ללא התייחסות לעונות השנה) בדירה סטנדרטית עומדת על כ-679 קוט"ש לחודש, בעוד שבדירה בעלת תקן לבנייה ירוקה, צריכת החשמל עומדת על כ-535 קוט"ש בחודש. הנתונים מצביעים על כך שחשבון החשמל החודשי הממוצע בבניינים ירוקים נמוך בכ-20% מאשר מבניינים סטנדרטיים וכי הבדל זה מובהק ומשתנה כתלות בעונות השנה. אומדן החיסכון בחשמל וחיסוב החיסכון הכלכלי מאימוץ כלי מדיניות כדוגמת תקן 5281, אומנם מסייע בהערכת פוטנציאל שיפור הדירוג האנרגטי של דירות אך אינו מאפשר אמידה לחיסכון הנובע משיפור הדירוג של דירות שכבר עומדות בתקן 5281 או לחלופין שיפור דירוג של דירות שאינן עומדות בתקן לפני ואחרי הליך שיפור דירוג האנרגטי. כלומר על סולם הדירוג האנרגטי נוצרו טווחים שאינם מקבלים תמרוץ מתאים בסל כלי המדיניות הישראלי.

מגמת התכנון והבנייה של מבני מגורים חדשים בבנייה ירוקה צוברת תאוצה וכבר כיום כ-58% מתוכננות בניין העיר (תב"עות) אשר קיבלו תוקף בין השנים 2014-2018 מחייבות בנייה ירוקה (המשרד להגנת הסביבה, 2020). אולם, בניינים קיימים רבים אשר עוברים שיפוץ הן במסגרת תמ"א 38 (תוכנית המתאר הארצית לחיזוק מבנים קיימים בפני רעידות אדמה) והן במסגרת יוזמה פרטית, נתקלים בקשיים כלכליים, הנדסיים ורגולטורים המהווים חסמים מהותיים לעמידה בתנאים לקבלת תקן 5281 (פלמן, שוורץ, & ליאור, 2013). כתוצאה מכך והיות וקבלת תקן 5281 הינה בגדר בלתי

אפשרית במקרים רבים, שיפוך המבנים נעשה ללא תמרוץ שיפור היעילות האנרגטית. עמידה ביעדי ההתייעלות האנרגטית של סקטור המגורים המוזכרים לעיל תושג בצורה טובה יותר על ידי תמרוץ שיפור דרגת היעילות האנרגטית של כלל המבנים, ללא תלות ביכולתם לעמוד בתקנים הקיימים.

נתוני משרד האנרגיה מראים כי כ-30% מצריכת החשמל הכללית בישראל - מקורה במבני מגורים וכי מלאי הדירות בישראל צפוי לגדול בכ-50% עד שנת 2035 (פליישון & טייטלבוים, 2018). בנוסף נתוני השירות המטאורולוגי מציגים עלייה של 1.4 מעלות צלזיוס בטמפרטורה הממוצעת בישראל משנת 1950 עד היום וחוזים כי הטמפרטורה צפויה להמשיך ולעלות ב 0.9 - 1.2 מעלות צלזיוס על לשנת 2050 (יוסף, ואחרים, 2019). הגידול במלאי הדירות לצד מגמת ההתחממות, צפוי להגדיל את תצרוכת החשמל בסקטור הביתי ובכך להגדיל הן הוצאות משק הבית על צריכת חשמל והן את ההשלכות הסביבתיות הנלוות לייצור החשמל.

ניכר כי קיים פוטנציאל רב בהפחתת פליטת גזי חממה כתוצאה מייעול מבנים בישראל. דו"ח שכתב צוות בין משרדי, בראשות המשרד להגנת הסביבה (צחור, כרמון, לוטן, & קול, 2017), מציג שורה של המלצות וכלי מדיניות לייעול מבנים אשר יסייעו בעמידה ביעדי הממשלה להפחתת פליטות גזי חממה עד שנת 2030. על פי הנתונים המוצגים בדוח, ייעול אנרגטי של מבני מגורים עשוי להביא לחסכון בחשמל של למעלה מ-2 TWh, לצד הפחתת פליטות גזי חממה של 1.22 MtCO₂E עד שנת 2030. על ידי שימוש בכלים מתחום כלכלת סביבה, ניתן להמיר את החיסכון בחשמל ובפליטות גזי חממה למונחים כספיים, ובכך לחשב את החיסכון הפרטי למשקי הבית בהוצאות חשמל ואת התועלת הכללית מהפחתת פליטות גזי חממה.

סקירת הספרות מלמדת על חשיבות נושא ההתייעלות האנרגטית במבני מגורים בארץ ובעולם ועל פוטנציאל התועלת הטמון בה. המחקרים הבינלאומיים המוצגים לעיל, מדגישים את הצורך בהקמת מסד נתונים והנגשת מידע לציבור, אשר על בסיסו ניתן לערוך מחקר אקדמי. הספרות הישראלית מלמדת על מחסור בנתונים המגביל את המחקר האקדמי למדגמים קטנים ומקשה על התווית כלי מדיניות לקידום נושא ההתייעלות האנרגטית בישראל. הפער המרכזי העולה מסקירת הספרות הוא שפרט לבחינת הפערים בין דירות בבנייה ירוקה (עומדות בתקן 5281) לדירות סטנדרטיות (עומדות בתקן 1045), לא קיים כלי לבחינת התועלת משיפור דרגת היעילות האנרגטית של מבני מגורים בישראל. במרבית מהמבנים הקיימים, אין לבעלי הדירות יכולת להעריך את התועלות הצפויות משיפור דרגת היעילות האנרגטית של דירותיהם. כתוצאה מכך לא קיימת תוכנית לאומית לשיפור יעילות אנרגטית של מבנים קיימים והמדיניות הקיימת מתמקדת במעבר לבנייה ירוקה בלבד.

פער זה מעלה צורך עז בבחינת דרגת היעילות האנרגטית של מבנים, אמידת הפוטנציאל הטמון בשיפור דרגת היעילות האנרגטית של כל מבנה (ללא התנייה בעמידה בתקן 5281) וגיבוש המלצות מדיניות אשר על בסיסן יהיה ניתן להתוות תכנית אסטרטגית לייעול אנרגטי של סקטור הדיור בישראל.

2. חלק שני – ניתוח

2.1 שיטה

על מנת לבחון את ההשלכות הכלכליות של יישום כלי מדיניות צורת EPC, פותח מודל אקונומטרי מסוג רגרסיה לינארית אשר תוצאותיו מספקות אומדן לכמות האנרגיה הנצרכת בכל אחת מדרגות ה-EPC. בנוסף, נאמדה השפעת אלמנטים שונים בדירה על צריכת האנרגיה החזויה במטרה לאתר את האלמנטים המשפיעים ביותר על יעילות הדירה. לאחר מכן חושבה הצריכה החזויה בדירת ייחוס מכל דרגת EPC. על בסיס תוצאות אלו נבנה מודל כלכלי אשר חוזה מה התועלת בשיפור הדירוג האנרגטי תחת ניתוחי רגישות שונים.

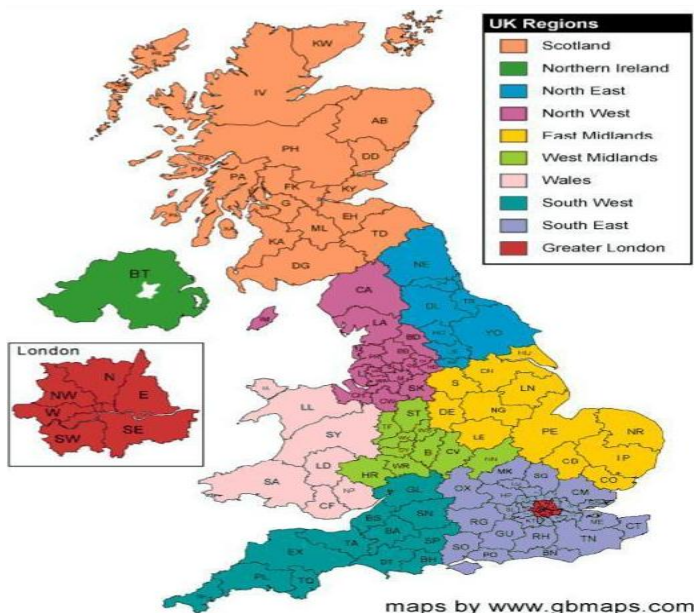
הניתוח בוצע על נתוני שוק הדירות הבריטי שם החלו להשתמש בכלי דומה כבר ב 2007 במסגרת רפורמת HIP, וב-1 באוקטובר 2008 הפך לחובה ככלי מדיניות עצמאי המחייב כל השכרה או מכירה של דירה בתעודת EPC התקפה ל 10 שנים (communities & local goverment, 2008). החלטה זו נובעת ממסקנות דריקטריון האיחוד האירופי (European Communities, 2002) אשר מאוחר יותר יהפכו לחובה ברוב מדינות האיחוד האירופי. הבחירה בשוק הבריטי נעשתה נוכח קיומו של מאגר מידע המכיל רשומות על ה EPC שהונפקו מ 2008 ועד זמן כתיבת העבודה. כמו כן, מאגר זה בעל גישה חופשית והוא יחסית נגיש ונוח לשימוש. לאחר קבלת התוצאות תבוצע השוואה של עיקרי הדברים בין מצב השוק הבריטי והישראלי, עד כמה שניתן נוכח השוני הקיים בין המדינות.

2.2 בניית מסד הנתונים

בעבודה זו נעשה שימוש במקור נתונים פתוח (open data) שמפרסם משרד השיכון, הקהילות והשלטון המקומי הבריטי (Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2020). בסיס הנתונים מכיל רשומות על ה-EPC שהונפקו משנת 2008 ועד תאריך העדכון האחרון, נכון לזמן כתיבת העבודה תאריך העדכון האחרון היה 30.9.19. בסיס הנתונים מורכב מ-360 קבצים המכילים ביחד כ-18 מיליון תצפיות. הנתונים אוחדו ועברו סינון באמצעות התוכנה הסטטיסטית R.

תהליך סינון הנתונים כלל בחירת משתנים רלוונטיים לרגרסיה כפי שמופיעים בטבלה 1, סינון של תצפיות חסרות או חריגות והמדגם הסופי עמד על (14,141,876) תצפיות. כמו כן, עברו הנתונים תהליך עיבוד כמתואר להלן:

איור 2: חלוקת אנגליה לפי איזורים



- חישוב המשתנה POST נגזר מתוך המשתנה POSTCODE בבסיס הנתונים המקורי לפי הספרות המציינות לאיזה אזור במדינה הוא שייך, בכפוף להסבר לשכת הסטטיסטיקה הבריטית (Office of National Statistics, 2020) כמו כן מצורף איור 2 המתאר את חלוקת האזורים בצורה ויזואלית. נציין כי הנתונים כוללים דגימות מסקוטלנד ווויילס אך לא מצפון אירלנד.
- לאחר מכן המשתנים POST, RATING, WINDOWS_EFF, WALLS_EFF,

HEAT_EFF, LIGHT_EFF הוסבו ממשנתה קטגורי למשתני דמי לפי הפירוט בטבלה 1.

- הנתונים במדגם מציגים נכסים אשר כוללים תעודת EPC בלבד ולכן עולה השאלה האם קיימת סלקציה במדגם? סוגיה זו נפתרה באמצעות חוק המספרים הגדולים (מדגם המכיל מעל 14 מיליון תצפיות) בנוסף להנחה כי החוק הבריטי מחייב כל דירה אשר מושכרת/מוצעת למכירה לכלול תעודת EPC ואנו נצפה לראות במדגם את כל סוגי הדירוג ולא רק דירות מסוג מסוים. לכן ניתן להניח שהאומדים בלתי מוטים כתוצאה מסלקציה.

טבלה 1: פירוט המשתנים שהוכנסו לרגרסיה

שם משתנה	סוג	תיאור	ערכים
POST	דמי	חלוקה של אנגליה לפי המיקוד, מקבל ערך מתוך רשימה	EAST MIDLANDS, GREATER LONDON, NORTH EAST, NORTH WEST, SCOTLAND, SOUTH EAST, SOUTH WEST, WALES, WEST MIDLANDS.
RATING	דמי	הדירוג האנרגטי של הדירה	A,B,C,D,E,F,G
EN_CON	רציף	צריכת האנרגיה בפועל במהלך 12 חודשים. מחושב לפי (kWh/m ²) לשנה.	0 - 275,795
FLOOR	רציף	סה"כ שטח הרצפה של הנכס (m ²).	10 - 1000
WINDOWS_EFF	דמי	דירוג יעילות אנרגטית של החלונות, מקבל ערך יחסי	very good; good; average; poor; very poor
WALLS_EFF	דמי	דירוג יעילות אנרגטית של הקירות, מקבל ערך יחסי	very good; good; average; poor; very poor
HEAT_EFF	דמי	דירוג יעילות אנרגטית של מערכת החימום, מקבל ערך יחסי	very good; good; average; poor; very poor
LIGHT_EFF	דמי	דירוג יעילות אנרגטית של התאורה, מקבל ערך יחסי	very good; good; average; poor; very poor

***תיאור נוסף של הנתונים אפשר למצוא בנספח 2**

2.3 אופן ביצוע המחקר

על מנת לבדוק כיצד משפיע הדירוג האנרגטי על צריכת החשמל בפועל, הוחלט בשלב הראשון לאמוד מודל של רגרסיה לינארית ובשלב השני לחשב את ערך המשתנה המנובא ($\tilde{Y}$) של דירה ממוצעת לפי סוג הדירוג האנרגטי. לאחר מכן נלקחו תוצאות מודל הערך המנובא והוכנסו למודל כלכלי אשר מספק אומדן לתועלת משיפור הדירה לאורך תקופות זמן שונות ותחת הנחות ריבית שונות.

$$1) \text{ EN_CON} = \beta_0 + \beta(\text{RATING}) + \beta(\text{POST}) + \beta_2(\text{FLOOR}) + \beta(\text{WINDOWS_EFF}) + \beta(\text{WALL_EFF}) + \beta(\text{HEAT_EFF}) + \beta(\text{LIGHT_EFF})$$

הרגרסיה המופיע במשוואה (1) כללה את המשתנה התלוי והמשתנים המסבירים כפי שפורטו בטבלה 1: המשתנה התלוי EN_CON מציין את צריכת האנרגיה בקילוואט שעה למשך 12 חודשים מנורמל לפי מטר רבוע. המשתנים המסבירים שבחרנו לכלול במודל הם RATING אשר מציין את הדירוג האנרגטי ב – EPC, POST אשר מציין את האזור בו ממוקם הנכס, המשתנה FLOOR אשר מציין את גודל הדירה, והמשתנים WINDOWS, WALLS, HEAT, LIGHT אשר מתארים את היעילות של כל אחד מהאלמנטים בסקלה יחסית. המשתנים הקטגוריאליים הוכנסו כמשתני דמי לפי הפירוט בטבלה 1 לכן למקדם שלהם במשוואה 1 לא מופיע מספר. במסגרת עבודה זו לא יתבצע ניתוח של השפעת האזור הגיאוגרפי והוא הוכנס כמשתנה מפקח על מנת לנטרל את השפעת האזור. נציין כי נקודת הייחוס של המשתנה הגיאוגרפי היא EAST MIDLANDS וכי נקודת הייחוס של המשתנים המייצגים את היעילות האנרגטית של אלמנטים שונים בדירה היא VERY GOOD. כמו כן, תוצאות המודל מוצגות ללא חותך מטעמי נוחות פירוש התוצאות. תוצאות המודל במשוואה (1) יאפשרו לבדוק מה צריכת החשמל הצפויה לכל דירוג אנרגטי כאשר אנו מנטרלים את השפעת המיקום וגודל הנכס. בנוסף, נוכל להעריך את השפעת היעילות של אלמנטים שונים במבנה על צריכת החשמל השנתית.

במהלך שלב תיאור הנתונים התגלתה בעיית הטרוסקדסטיות (שונות שונה) במדגם. הגרף בנספח 4, המחושב על מדגם מייצג מתוך כל הנתונים ממחיש את בעיית ההטרוסקדסטיות במדגם. כדי לפתור בעיה זו וליצור עומדים יעילים השתמשנו בתיקון WHITE אשר לא שינה את ערך האומדים אך גרם לסטיות התקן להשתנות והפך את האומדים לבלתי מוטים ויעילים.

כדי להסיק מסקנות רלוונטיות, בשלב השני ביצענו חישוב של הערך המנובא ($\tilde{Y}$) לכל דירוג אנרגטי לפי הערכים הממוצעים של כל סוג דירוג, כלומר פותח המודל הבא:

$$2) \tilde{Y} = \beta(\text{RATING}(x)) + \beta_3(\text{AVE}(\text{FLOOR})) + \beta(\text{AVE}(\text{WINDOW_EFF})) + \beta(\text{AVE}(\text{WALL_EFF})) + \beta(\text{AVE}(\text{HEAT_EFF})) + \beta(\text{AVE}(\text{LIGHT_EFF}))$$

הערך המנובא במשוואה (2) מחושב לפי המקדם של כל דירוג אנרגטי מ A-G כפי שחושב המודל (1) בתוספת גודל הדירה הממוצעת לכל סוג דירוג כפול המקדם של FLOOR ממשוואה (1) בתוספת המקדם הרלוונטי המצביע על יעילות האביזרים בדירה שחושב לפי הממוצע בכל אחד מהסוגים. את הפירוט המלא ניתן לראות בטבלה (4). כפי שצוין מעלה, תוצאות אלו לא כוללות חישוב אזור גיאוגרפי והן מתייחסות לנקודת הבסיס.

טבלה 2: פירוט חישוב תעריף האנרגיה באנגליה

נתוני צריכה בפועל על אנרגיה בשנת 2019 בבריטניה	
1,289	הוצאה ממוצעת (£)
17,200	צריכה ממוצעת (KWh)
0.075	תעריף לקוטש מוצע לאנרגיה

From:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/877047/Press_Note_March_2020.pdf

לאחר חישוב הערך המנובא, הוכפל ערך זה בגודל הדירה הממוצעת כדי לחשב כמה (KWh) צפויה דירה ממוצעת לצרוך בשנה. כמו כן, חושב החשבון השנתי הצפוי לכל דירה לפי תעריף של 0.075 פאונד לקוט"ש שחושב מתוך נתוני הצריכה בפועל באנגליה בשנת 2019 כפי שמפורט בטבלה 2. נתון זה מספק הערכה כספית שממנו ניתן לגזור את החסכון השנתי ממעבר לדירוג אנרגטי טוב יותר, וישמש לצורך בניית המודל הכלכלי.

לבסוף, בוצע הערכת התועלות מעליית דרגת דירוג אנרגטי אחת, ומוצג ניתוח רגישות לטווחי זמן שונים ותחת 2 הנחות ריבית. הערכה זו בוצע לטווח זמן של 10, 20 ו-30 שנה ותחת הנחת ריבית של 1% ו-4% כדי להציג טווח אפשרי של תועלות. הריביות של 1% מייצגת את ריבית חסרת סיכון וריבית של 4% מייצגת טווח עליון של ריבית הכוללת את הפחת משימוש בדירה וסיכונים נוספים המאפיינים את שוק הנדל"ן. מודל כלכלי זה מאפשר להעריך את התועלות ולהסיק מסקנות על תועלת הדירוג האנרגטי בשוק האנגלי ומה ניתן ללמוד מכך על השוק הישראלי.

טבלה 3: תוצאות הרגרסיה מהמודל הראשון

var	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
RATING.A	107.60633	0.828775	215.04	2e-16 ***
RATING.B	158.973425	0.195	1177.37	2e-16 ***
RATING.C	209.003554	0.228772	1222.64	2e-16 ***
RATING.D	279.003554	0.234835	1488.78	2e-16 ***
RATING.E	369.970987	0.243308	1810.81	2e-16 ***
RATING.F	475.367277	0.27011	2021.33	2e-16 ***
RATING.G	657.957524	0.358033	2034.93	2e-16 ***
FLOOR	-0.657605	0.000609	-1079.12	2e-16 ***
POST.G_L	-12.095327	0.105774	-114.35	2e-16 ***
POST.N_E	5.087705	0.112114	45.38	2e-16 ***
POST.N_W	0.573514	0.103535	5.54	0.0008 ***
POST.S	11.687355	4.198456	2.78	0.0054 **
POST.S_E	-5.154824	0.095218	-54.14	2e-16 ***
POST.S_W	-12.23857	0.109495	-111.77	2e-16 ***
POST.W	-13.549354	0.137232	-98.73	2e-16 ***
POST.W_M	-0.176261	0.125192	-1.41	0.1592
WINDOWS_V.POOR	51.49299	0.235296	218.84	2e-16 ***
WINDOWS_POOR	35.273711	0.246023	143.38	2e-16 ***
WINDOWS_AVE	28.32034	0.206576	137.09	2e-16 ***
WINDOWS_GOOD	15.716581	0.198918	79.01	2e-16 ***
WINDOWS_V.GOOD	NA	NA	NA	NA
WALLS_V.POOR	51.213803	0.208384	245.77	2e-16 ***
WALLS_POOR	42.717027	0.209538	203.86	2e-16 ***
WALLS_AVE	31.768623	0.224428	141.55	2e-16 ***
WALLS_GOOD	19.159273	0.191545	100.02	2e-16 ***
WALLS_V.GOOD	NA	NA	NA	NA
HEAT_V.POOR	10.432435	0.197993	53.08	2e-16 ***
HEAT_POOR	70.613476	0.189052	373.51	2e-16 ***
HEAT_AVE	60.803030	0.150805	403.19	2e-16 ***
HEAT_GOOD	-14.869858	0.124492	-119.44	2e-16 ***
HEAT_V.GOOD	NA	NA	NA	NA
LIGHT_V.POOR	6.411448	0.090276	71.02	2e-16 ***
LIGHT_POOR	0.932828	0.103371	9.02	2e-16 ***
LIGHT_AVE	-0.699578	0.087804	-7.99	4e-15 ***
LIGHT_GOOD	-0.778809	0.086901	-8.96	2e-16 ***
LIGHT_V.GOOD	NA	NA	NA	NA

ליעילות החלונות והקירות, נמצא כי כאלה אשר הוגדרו V.GOOD הם הטובים ביותר מבחינת צריכת החשמל וככל שיעילותם יורדת כך גם צריכת האנרגיה עולה. קשר זה אינו מתקיים באופן מלא

2.4 תוצאות המחקר

כפי שניתן לראות בפרט הרגרסיה אשר מופיע בטבלה 3 (הפרט המלא מצורף כנספח 3) כל המשתנים יצאו מובהקים ברמת מובהקות של לפחות 99.99% למעט המשתנה של אזור WEST MIDLAND אשר יצא מובהק ב 84%. כפי שהוזכר קודם לכן, במסגרת עבודה זו לא ננתח את השפעת המיקום אלא נתייחס אליהם כמשתנים מפקחים ונבצע את הניתוח לפי אזור הבסיס שנבחר. ניתן לראות כי דירה בעלת דירוג A צפויה לצרוך 107.6 קוט"ש/מר לשנה וככל שהדירוג יורד כך צריכת האנרגיה עולה, עד דירה בעלת דירוג G אשר צפוי לצרוך 657.95 קוט"ש/מר לשנה. המשתנה של גודל הדירה מצביע על קשר שלילי של (0.66) קוט"ש/מר לשנה על כל מטר רבוע נוסף בדירה. באשר

ביעילות מערכת החימום והתאורה. מערכת החימום הטובה ביותר מוגדרת GOOD והיא מורידה את הצריכה השנתית ב (14.87) קוט"ש/מר לשנה. כמו כן נמצא כי מערכת חימום POOR מעלה את צריכת החשמל ב 70.61 קוט"ש/מר לשנה והיא מעלה את צריכת החשמל יותר מכל מקדם אחר ברגרסיה. ביעילות התאורה נמצא כי החיסכון הגדול ביותר הוא GOOD (0.78) ותאורה V.POOR מעלה את צריכת האנרגיה ב 6.41 קוט"ש/מר בשנה.

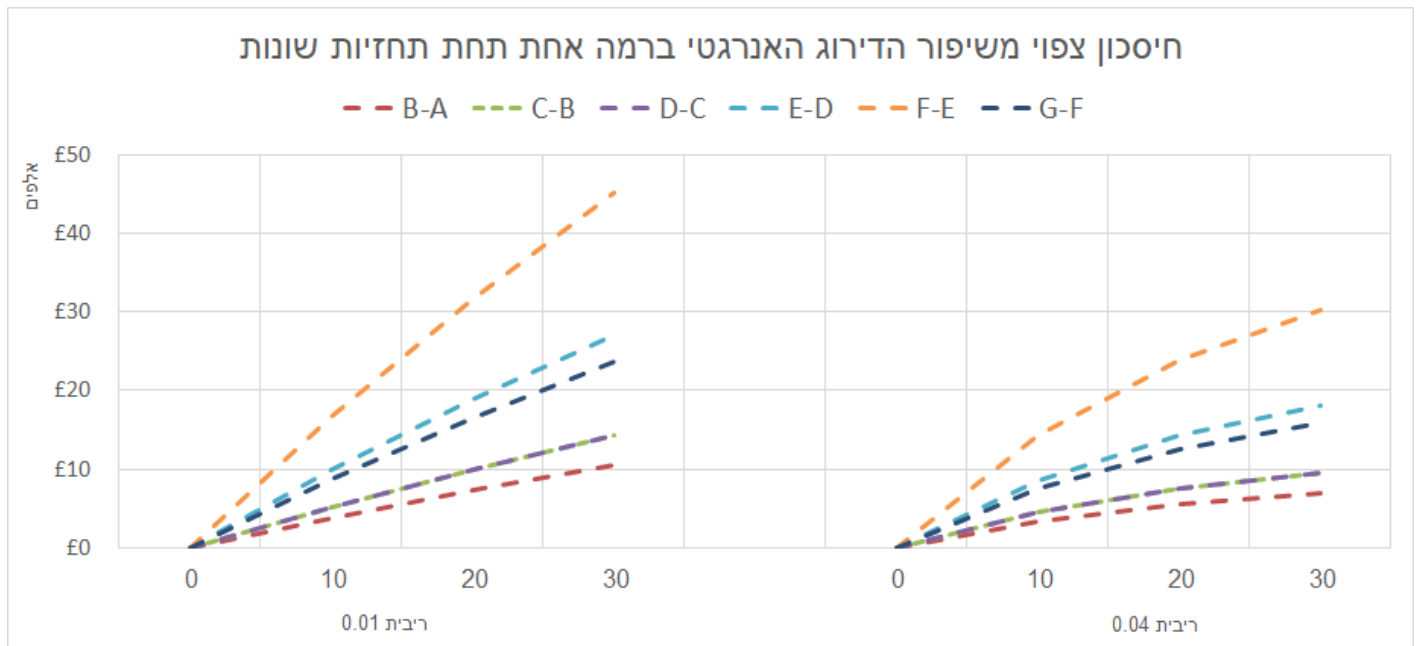
תוצאות המודל השני מופיעות בטבלה מספר 4 המציגה מה הערכים הממוצעים בכל דירוג אשר שימשו לחישוב הערך המנובא לדירה ממוצעת וחישוב הצריכה השנתית וחשבון האנרגיה הצפוי לכל דירה. מהתוצאות ניתן לראות כי דירה עם דירוג A צפויה לצרוך 2,160 קוט"ש בשנה ולשלם 162 פאונד על אנרגיה בשנה, דירה עם דירוג C צפויה לצרוך 14,972 קוט"ש ולשלם 1,122 פאונד בשנה ודירה עם דירוג G צפויה לצרוך 71,993 קוט"ש בשנה ולשלם 5,395 פאונד על אנרגיה בשנה. בנוסף עולה מהתוצאות כי מעבר מדירוג A לדירוג B משפר את צריכת האנרגיה ב 71.55% והוא השיפור באחוזים הגבוה ביותר אך צפוי לחסוך בשנה 407 פאונד בלבד. מעבר מדירוג F ל E חוסך 39.20% בלבד אך צפוי לחסוך 1,754 פאונד בשנה בחשבון החשמל ונמצא כחיסכון השנתי הגבוה ביותר.

טבלה 3: פירוט המודל השני: משתנים ותוצאות

משתנה	A	B	C	D	E	F	G
עומדים	107.60633	158.973425	209.003554	279.003554	369.970987	475.367277	657.957524
מספר תצפיות במדגם	18,175	1,467,491	3,847,131	5,536,415	2,410,847	664,086	197,761
AVE.EN_CON	38.23	102.35	194.33	274.52	381.59	509.98	698.5
AVE.FLOOR	111.58	88.14	78.87	88.41	98.33	109.68	104.81
AVE.WINDOWS	V.GOOD	V.GOOD	AVE	AVE	AVE	AVE	POOR
AVE.WALLS	V.GOOD	V.GOOD	GOOD	GOOD	V.POOR	V.POOR	V.POOR
AVE.HEAT	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	AVE	POOR	V.POOR
AVE.LIGHT	V.GOOD	V.GOOD	V.GOOD	GOOD	AVE	POOR	POOR
Y (KWh/m ²) year	19.36	86.14	189.75	252.70	369.27	544.51	686.89
צריכה חזויה שנתית (KWh)	2160	7593	14965	22341	36311	59722	71993
חשבון חשמל שנתי צפוי	£162	£569	£1,122	£1,674	£2,721	£4,476	£5,395
חסכון (באחוזים) משיפור שלב אחד של דירוג אנרגטי	71.55%	49.27%	33.01%	38.47%	39.20%	17.04%	
חסכון שנתי בפאונדים	£407	£553	£553	£1,047	£1,754	£920	

לאחר קבלת תוצאות המודלים נעשה ניתוח של התועלת הכספית משיפור הדירוג האנרגטי בדרגה אחת. בניתוח זה חושבו התועלות ובוצע ניתוח רגישות כמפורט לעיל. את תוצאות הניתוח אפשר לראות באיור 2 אשר מתוצאותיו עולה כי שיפור דירה עם דירוג אנרגטי F לדירוג אנרגטי E צפוי לחסוך בין 30-45 אלף פאונד בטווח של 30 שנה, שיפור של דירוג E ל D צפוי לחסוך בין 18-27 אלף פאונד בטווח של 30 שנה ושיפור של דירוג D ל C ודירוג C ל B צפוי לחסוך 14-10 אלף פאונד בטווח של שלושים שנה.

איור 3: התועלות משיפור אנרגטי בדרגות שונות



3. חלק שלישי - דיון ומסקנות

לפי ממצאי המחקר, הדירוג האנרגטי משפיע על צריכת האנרגיה באופן מובהק. תוצאות אלו אינן מפתיעות אך במחקרים שפורסמו עד היום, לא נבדק פוטנציאל החיסכון ממעבר בין דרגות הדירוג האנרגטי השונות. תוצאות המודל האקונומטרי המוצג לעיל, מציגות במונחים כספיים את הערך הכלכלי הנ"ל ואף מצביעות על הפרמטרים ששיפורם יעלה בצורה המשמעותית ביותר את הדירוג האנרגטי של הדירה.

האלמנט שנמצא כמשפר את היעילות האנרגטית בצורה הטובה ביותר הוא סוג מערכת החימום בדירה, לאחר מכן שיפור של אמצעי בידוד כמו חלונות וקירות, ושיפור התאורה נמצא ככזה העשוי לתרום ליעילות גם הוא, אך לא בצורה עקבית. ממצא נוסף העולה מהתוצאות מראה כי פוטנציאל החיסכון נמצא דווקא בנכסים בעלי דירוג אנרגטי נמוך (G-E) על אף שבבחינת שיפור באחוזים נראה כי דירות בעלות דירוג אנרגטי גבוה (C-A) משתלמות יותר.

תוצאות אלו עומדות מנגד למדיניות הקיימת היום במדינת ישראל, אשר מתמרצת בנייה ירוקה אך אינה מספקת תמריץ להתייעלות אנרגטית במבנים ישנים. כאמור, מדיניות שיפור היעילות האנרגטית בישראל, נעשית על ידי תקנים המציבים רף עליון (תקן 5281) ותחתון (תקן 1045) ליעילות האנרגטית של המבנים. הרווח הגדול בין הרף התחתון לרף העליון מונע תמרוץ התייעלות אנרגטית בקרב דירות רבות.

בעבודה זו נטען כי בסקטור האנרגיה קיים פוטנציאל גדול להתייעלות אנרגטית וכי מצב זה נכון למדינות רבות בעולם ביניהן ישראל. הדריקטוריון האירופי הכריז לפני יותר מעשור על צעדים לשיפור היעילות במבנים, ומדינות האיחוד עושות צעדים משמעותיים כדי לעמוד ביעד, לצמצם את כשל

השוק ולתמרץ בנייה טובה יותר, הן לבעלי הדירות והן לשוכרים. מתוצאות המודל אומנם לא ניתן לראות את שיפור מצב השוק לאחר יישום ה EPC, אך ניתן לחשב את התועלות משיפור הדירוג האנרגטי, לבצע ניתוחי כדאיות בפרויקטים שמטרתם שיפור היעילות, ולהביא חסכון הן בחשבון החודשי והן בהשפעות החיצוניות הכרוכות בייצור חשמל. נוכח העובדה שצריכת האנרגיה בסקטור הביתי דומה בקרב מדינות מפותחות, גם למדינת ישראל יש הרבה מה ללמוד מתוצאות המודל הבריטי. לפי המחקר של (בלבן & קול, 2018) מאימוץ תקן בנייה ירוקה בלבד צפוי עד שנת 2030 תועלות בסך 300 מליון ש"ח וצמצום פליטות CO₂ בהיקף של 550 מיליון טון. נתונים אלו בנוסף לתוצאות המחקר שלנו מצביעים כי ייתכן כי קיים כשל שוק בתחום צריכת האנרגיה של מבני מגורים בישראל. מעבודה זו עולה כי יש פער רגולטורי בין היעדים ובין הפוטנציאל הלא ממומש וכי יש לבחון שילוב של כלי מדיניות נוספים על מנת לצמצם כשל שוק זה.

למרות תרומתו של המחקר יש לו כמה מגבלות. ראשית, מקור הנתונים שלו הוא מאנגליה והשוני בין המדינות לא מאפשר הסקת מסקנות מספריות, אלה בעיקר להצביע על מגמות. אחת הסיבות לכך היא שבאנגליה צורכים בנוסף לחשמל הרבה גז לצורך חימום הבתים ובישראל אנו משתמשים ביותר חשמל כדי לקרר את הבתים. בנוסף, הנתון ששימש אותנו בעבודה הוא צריכת האנרגיה בנכס, היות ולא נמצאו נתוני ההפרדה בין צריכת גז לבין צריכת חשמל, התייחסנו רק לצריכה הכוללת.

סקירת הספרות ותוצאות הניתוח האקונומטרי, מדגישות את הפער במימון פוטנציאל היעילות האנרגטית של מבני מגורים בישראל. הגדלת מימון הפוטנציאל עשויה להביא תועלות כלכליות וסביבתיות למשק, לצד תועלת חברתית ותמרץ שיפור היעילות האנרגטית של בעלי דירות מן ממעמד סוציו-אקונומי נמוך. על בסיס האמור לעיל, גיבש צוות העבודה מסקנות והמלצות כדלקמן:

3.1 מסקנות

1. **EPC בישראל:** היות ותקן 5282 הינו תקן וולנטרי ומשמש כתנאי סף לקבלת תקן 5281, תעודות EPC מונפקות בעיקר לדירות השואפות לעמוד בתקן הבנייה הירוקה ולא נמדד דירוג היעילות האנרגטית בקרב דירות ישנות. תוצאות המודל מעידות על פוטנציאל חיסכון גבוהה במיוחד משיפור דירות המדרגות נמוך על פי ה-EPC, אולם בהיעדר מידע אודות דירות אלו בישראל, לא קיים תמריץ לשיפור יעילותן האנרגטית ונוצר כשל שוק אשר מוציא פרויקטים להתייעלות אנרגטית מתחום הכדאיות. כשל זה אשר נוצר בשל פער אינפורמציה, פוגע הן בכיס הצרכן והן בתועלת בעלי הנכסים ומרחיק את ישראל מעמידה ביעד ההתייעלות האנרגטית הלאומי.

אימוץ תקן 5282 כתקן מחייב, יסייע אומנם בצמצום פער האינפורמציה והקטנת את כשל השוק הנובע מממנו, אולם מדידת הדירוג אנרגטי של כלל הדירות במדינה הינה הליך יקר ומורכב המצריך משאבים רבים וכרוך בשימוש בכספי ציבור. הנעשה בעולם מלמד על הצלחה בהפיכת תקן 5282 לתקן מחייב להעמדת דירות להשכרה או מכירה. במסגרת מהלך זה מחוייבים בעלי הדירה להציג את ה-EPC על מנת לשנות את רישום הנכס בטאבו וחובת הנפקת תעודת EPC מוטלת על בעלי הנכסים. מהלך זה אומנם מסייע בפתרון בעיית האכיפה והמימון של יישום תקן 5282 מחד, אך גורם להזנחת דירות אשר אינן מוצעות להשכרה או מכירה מאידך.

2. איכות מסד הנתונים הלאומי: המחקרים המוצגים בסקירת הספרות מדגישים את חשיבות איסוף והנגשת המידע. מקורות הנתונים העוסקים ביעילות אנרגטית של מבני מגורים בישראל אינם מאפשרים ביצוע מחקרים מתקדמים ולכן המחקר הישראלי מסתמך על נתוני מדינות

אחרות וסקרים מדגמיים. העמדת מקור נתונים פתוח (open data) לרשות הציבור, מאפשרת מחקר אקדמי מבוסס אשר מכוחו ניתן להסיק מסקנות מבוססות ולהתוות מדיניות ניהול מושכלת למיצוי הפוטנציאל של המשק.

3. כלים לאמידת צריכת חשמל צפויה : על אף מחקרים המתארים את פוטנציאל החיסכון בחשמל כתוצאה ממעבר לבנייה ירוקה ולמרות שלדירות מסוימות הונפקו תעודות EPC, אין בידי הצרכן הפשוט את הכלים להערכת צריכת החשמל הצפויה משהייה בדירה. דוגמא לכך ראינו בשוק ההולנדי בו היה כשל יישומי ופער גדול בין הצהרות הצרכנים לפעולותיהן בפועל. חלק גדול מכשל זה ניתן לשייך לחוסר האמון בקרב הציבור ההולנדי באיכות המידע שהופיעה על ה EPC. על בסיס אומדני המודל האקונומטרי אשר פותח במסגרת עבודה זו, ניתן "לתרגם" את הנתונים לצרכן וליצור כלים אשר ישקפו לצרכן תחזית לחשבון החשמל הצפוי משהייה בדירה בעלת פרמטרים נתונים. הקניית כלים אלו, תצמצם את פער האינפורמציה הקיים בשוק, תגביר את האמינות ותסייע בביצוע ניתוחי עלות- תועלת לפעולות שיפור התייעלות אנרגטית ובקבלת החלטות.

4. התייעלות אנרגטית במסגרת תמ"א 38 : במרבית המבנים אשר שופצו במסגרת תמ"א 38 לא הייתה היתכנות כלכלית לביצוע שיפורים ברמה מספקת לעמידה בתקן 5281. כתוצאה מכך, לא היה תמריץ רגולטורי לשיפור יעילותם האנרגטית והנושא הוזנח במקרים רבים.

5. פוטנציאל ההתייעלות במבנים בזבזניים : הניתוח האקונומטרי מראה כי פוטנציאל החיסכון הגדול ביותר מצוי בשיפור דירות בדרגת יעילות G. כאמור, למרבית הדירות מסוג זה בישראל, כלל לא הונפקה תעודת EPC, לא נבחן פוטנציאל החיסכון משיפור היעילות ולא הוצע תמריץ רגולטורי לשיפור היעילות האנרגטית.

3.2 המלצות:

על בסיס המסקנות המוצגות לעיל, גובשו המלצות מדיניות אשר יישומן צפוי להביא למיצוי פוטנציאל ההתייעלות האנרגטית של מבני מגורים בישראל. להלן רשימת ההמלצות:

1. בחינת השימוש ב EPC בישראל: לאור מסקנה מספר 1 המוצגת לעיל, ממליץ צוות העבודה על הפיכת תקן 5282 לתקן מחייב לכלל הדירות המוצעת להשכרה או מכירה. בנוסף, על מנת למצות את פוטנציאל ההתייעלות הגבוהה המצוי בדירות לא יעילות במיוחד, מומלץ על איתור מבנים בזבזניים, מבוסס על נתוני קריאת מונים של חברת החשמל. למבנים אשר יאובחנו כמבנים לא יעילים במיוחד שאינם עומדים להשכרה או מכירה תונפק תעודת EPC במימון קרן ההתייעלות האנרגטית המוצגת המלצה מספר 2 כדלקמן.

2. הקמת קרן למימון התייעלות אנרגטית של מבני מגורים: בעקבות הצורך במימון צעדי מדיניות המוזכר בהמלצה 1, ממליץ צוות העבודה על הקמת קרן ממשלתית אשר תאגד ותממן תקציבי התייעלות אנרגטית מטעם משרד האנרגיה, משרד השיכון והבינוי והמשרד להגנת הסביבה.

3. שיפור מסד הנתונים הלאומי : לאור פערי המידע אשר התגלו במהלך העבודה ולצורך שיפור המחקרים האקדמיים, ואסטרטגית המדיניות המבוססת עליהם, ממליץ צוות העבודה על הקמת תכנית לשיפור מסד הנתונים הישראלי. מומלץ כי התכנית תמומן על ידי הקרן למימון התייעלות אנרגטית של מבני מגורים המוזכרת בהמלצה מספר 2 וכי מסד הנתונים המשופר יכיל את רכיבי ה-EPC אשר ימדדו במסגרת יישום המלצה מספר 1 ויגיש את המידע לציבור בדומה לנעשה באנגליה.
4. יצירת כלי לאמידת צריכת חשמל צפויה : מאחר וקיים מחסור בכלים לאמידת צריכת חשמל צפויה משהייה בדירה בעלת פרמטרים נתונים, ממליץ צוות העבודה על פיתוח כלים אלו אשר יהיו מבוססים בהתחלה על המודל האקונומטרי אשר פותח במסגרת עבודה זו ובהמשך על מודל אקונומטרי שיבוסס על מסד הנתונים הלאומי עליו הומלץ בהמלצה 3.
5. עריכת תכנית מתאר ארצית להתייעלות אנרגטית : לאור ההבנה כי נושא ההתייעלות האנרגטית אינו מקבל התייחסות משמעותית במסגרת תמ"א 38, ממליץ צוות העבודה על עריכת תכנית מתאר ארצית להתייעלות אנרגטית של מבני מגורים בישראל. תכנית זו תמפה מבני מגורים בישראל ע"פ פוטנציאל ההתייעלות האנרגטית שלהם ומכוחה ניתן יהיה להוציא צווים לביצוע פעולות לשיפור היעילות האנרגטית של מבנים.
6. תקן התייעלות אנרגטית : בעקבות המסקנה כי נושא ההתייעלות האנרגטית מקבל תמרוץ רגולטורי מכח תקן 5281 בלבד ועמידה בתקן זה הינה בגדר בלתי אפשרי לדירות רבות (בעיקר דירות ישנות ולא יעילות), ממליץ צוות העבודה על בחינת תקן חדש אשר יתמרץ התייעלות אנרגטית ללא תלות בתקן 5281. במסגרת התקן החדש, יתומרץ שיפור אנרגטי של דירות, אשר עוברות תהליך התייעלות אנרגטית. נדגיש כי בהתאם לתוצאות המודל האקונומטרי, התועלת המרבית תתקבל מצמצום כמות האנרגיה הנצרכת ולא מצמצום שיעור הצריכה. על התקן החדש לבחון את כמות האנרגיה הנחסכת מהליך התייעלות, גם אם בסוף ההליך הדירה לא תעמוד בתקן 8251 או תקן אחר.
7. קיום מחקר המשך : מחקר מקיף יותר יכול לעשות את ההפרדה בין צריכת גז לבין צריכת חשמל ולקבל תוצאות מדויקות יותר. כמו כן, ביצוע של מחקר בעל מבנה דומה על נתוני ה-EPC של מדינות אחרות יכול לשמש לצורך תחקור מעמיק על אפקטיביות כלי צורת EPC בעולם והמודל שהוצא במסגרת עודה זו יכול להוות בסיס למחקרי המשך אלו. לבסוף נציין כי לא הוכנס למודל במסגרת עבודה זו השפעת הזמן, יתכן כי לזמן יש השפעה על ה-EPC ככלי מדיניות ואין עוד מספיק מחקרים שבדקו זאת. צוות העבודה ממליץ על מחקר המשך שיכלול את השפעת הזמן על אפקטיביות ה-EPC ככלי מדיניות לשיפור היעילות האנרגטית של סקטור המבנים.

- בלבן, א', & קול, ד'. (2018). דוח סיכום ממצאי סקר צריכת חשמל השוואתי בין דירות ירוקות ודירות סטנדרטיות. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה. אוחר מתוך
http://www.sviva.gov.il/subjectsenv/greenbuilding/benefits/documents/energy_consultation_survey_102018.pdf
- גראב, י', פרלמוטר, ד', אראל, א', בקר, נ', & גולדן, ש'. (2016). סקר תמריצים לבניה ירוקה בעולם והתאמתם לישראל. מחקר מספר 103-2-5: המשרד להגנת הסביבה.
- הלמ"ס. (2015). הרכב הוצאות חודשיות לתצרוכת לפי קבוצות משניות בשנים 2000-2015. אוחר מתוך
https://old.cbs.gov.il/publications17/1677/pdf/t01_02.pdf
- המשרד להגנת הסביבה. (2020). מבנים ירוקים בישראל. אוחר מתוך האתר הממשלתי:
https://www.gov.il/he/departments/guides/green_building_in_israel?chapterIndex=2
- המשרד להגנת הסביבה. (2020). תקני בנייה ירוקה בישראל. אוחר מתוך האתר הממשלתי:
https://www.gov.il/he/departments/guides/standards_in_israel?chapterIndex=1
- יוסף, י', בהר"ד, ע', אוזן, ל', כרמונה, י', חלפון, נ', פורשפון, א', . . . לוי, י'. (2019). שינוי האקלים בישראל מגמות עבר ומגמות חזויות במשטר הטמפרטורות והמשקעים. משרד התחבורה והשירותים המטאורולוגי. אוחר מתוך
https://ims.gov.il/sites/default/files/climate_change_report28112019.pdf
- מכון התקנים הישראלי. (2020). אוחר ב- 06 06 2020, מתוך אתר מכון התקנים הישראלי:
<https://www.sii.org.il/he/%D7%AA%D7%95%D7%A6%D7%90%D7%95%D7%AA-%D7%97%D7%99%D7%A4%D7%95%D7%A9/?q=5282>
- פליישון, י', & טייטלבוים, י'. (2018). דו"ח בחינת השפעת רגולציה חדשה (RIA): תקנות דירוג אנרגיה לדירות מגורים ע"פ תקן 5282. משרד האנרגיה. אוחר מתוך
http://www.regulation.gov.il/RIA_REP
- פלמן, ב', שורץ, ק', & ליאור, כ'. (2013). יישום ת"י 1821 בשיפוץ בנייני מגורים קיימים. המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, מחלקת מחקר ופיתוח. מספר מחקר 111-4-1: המשרד להגנת הסביבה. אוחר מתוך
<http://www.sviva.gov.il/InfoServices/ReservoirInfo/DocLib4/R0301-R0400/R0340.pdf>
- צחור, א', כרמון, ע', לוטן, נ', & קול, ד'. (2017). אמצעים להפחתת פליטות גזי חממה וחיסכון אנרגטי עבור מגזר המבנים. המשרד להגנת הסביבה. אוחר מתוך
https://www.gov.il/BlobFolder/reports/report_recommendations_to_meet_ghg_targets/he/green_building_report_recommendations_to_meet_ghg_targets.pdf
- Garnier, O. (2013). *Country Report on Recommendations for Action for Development of EPC Markets*. London: Transparens project. Retrieved from
<file:///C:/Users/user/Desktop/IDC/%D7%9B%D7%9C%D7%9B%D7%9C%D7%94/%D7%A1%D7%9E%D7%A1%D7%98%D7%A8%20%D7%91/%D7%A0%D7%99%D7%99%D7%A8%20%D7%9E%D7%93%D7%99%D7%A0%D7%99%D7%95%D7%AA/%D7%9E%D7%A7%D7%95%D7%A8%D7%95%D7%AA/d2-05a-barriers-success-factors-and-recomm>
- Arcipowska, A., Anagnostopoulos, F., Mariottini, F., & Kunkel, S. (2014). *ENERGY PERFORMANCE CERTIFICATES ACROSS THE EU*. Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- Bio Intelligence Service, Ronan Lyons, & IEEP. (2013). *Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries*. Final report. European Commission (DG Energy).

- communities & local government. (2008). *Tenants home in on bills*. The National Archives. Retrieved from <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100203003052/http://www.communities.gov.uk/news/corporate/981475>
- Droutsas, K., Kontoyiannidis, S., Dascalaki, E., & Balaras, C. (2016). Mapping the energy performance of hellenic residential buildings from EPC (energy performance certificate) data. *Energy*, 98, 284-295.
- EIA. (2019). *Use of energy explained Energy use in homes*. Retrieved from U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/electricity-use-in-homes.php>
- EU. (2020). *Energy consumption in households*. Retrieved 06 06, 2020, from EUROSTAT statistics explained: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households#Energy_products_used_in_the_residential_sector
- European Communities. (2002). DIRECTIVE 2002/91/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL., *the energy performance of buildings*, pp. 1-7. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0071:EN:PDF>
- Ministry of Housing, Communities & Local Government. (2020). *Energy Performance of Buildings Data: England and Wales*. Retrieved from <https://epc.opendatacommunities.org/>
- Murphy, L. (2014). The influence of the Energy Performance Certificate: The Dutch case. *Energy Policy*, 67, 664-672.
- Office of National Statistics. (2020). *Postal geography*, Information about the use of postcodes as a geographic reference and the limitations of using postcodes. Retrieved from <https://www.ons.gov.uk/methodology/geography/ukgeographies/postalgeography>
- UNITED NATIONS. (2015). PARIS AGREEMENT. *21st Conference of the Parties of the UNFCCC*. paris. Retrieved from https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- United Nations. (2020). *Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy*. Retrieved 06 06, 2020, from Sustainable Development Goals: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>

5.1 שיעור ההוצאה הממוצעת על אנרגיה מסך ההוצאה לתצרוכת לפי עשירונים:

לוח 2- הכנסה והוצאה חודשית לתצרוכת בעשירונים של משקי בית, לפי הכנסה כספית נטו לנפש סטנדרטית ש"ח, אלא אם כן צוין אחרת											2015	
עשירונים										סך הכל		
Deciles	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Total	
	20,521	16,169	14,724	13,336	12,628	11,785	10,195	8,911	7,560	7,411	12,323	הוצאה כספית למשק בית
	559	477	478	443	460	461	432	396	384	371	446	חשמל, גז ודלק לבית
	2.72%	2.95%	3.25%	3.32%	3.64%	3.91%	4.24%	4.44%	5.08%	5.01%	3.62%	שיעור ההוצאה על אנרגיה מכלל ההוצאה של משק הבית

מקור: https://old.cbs.gov.il/webpub/pub/text_page.html?publ=25&CYear=2015&CMonth=1

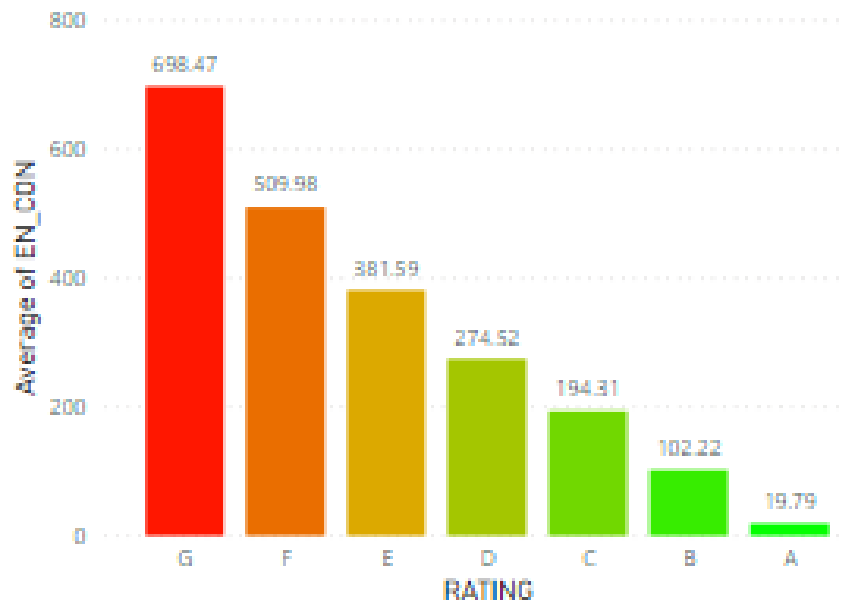
5.2 תיאור נתוני המדגם:

> summary(MYDATA\$EN_CON)

Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.

1.0 186.0 247.0 269.8 327.0 275795.0

Average of EN_CON by RATING



> summary(MYDATA\$POST)

EAST MIDLANDS	GREATER LONDON	NORTH EAST	NORTH WEST	SCOTLAND
2688275	1921956	1473305	1926321	677
SOUTH EAST	SOUTH WEST	WALES	WEST MIDLANDS	
2637656	1600808	830037	1062871	

פירוט קורלציות בין המשתנה התלוי למשתני הדמי במדגם

	RATING.A	RATING.B	RATING.C	RATING.D	RATING.E	RATING.F	RATING.G
EN_CON	-0.05155	-0.3536	-0.2862	0.02364	0.3146	0.3309	0.3169
	WINDOW S_AVE	WINDOW S_GOOD	WINDOW S_POOR	WINDOWS _V.GOOD	WINDOW S_V.POO R		
EN_CON	0.1473	-0.1265	0.122	-0.3227	0.191		
	WALLS_A VE	WALLS_G OOD	WALLS_P OOR	WALLS_V. GOOD	WALLS_V .POOR		
EN_CON	0.01174	-0.1885	0.1675	-0.3327	0.2943		
	HEAT_AV E	HEAT_GO OD	HEAT_PO OR	HEAT_V.G OOD	HEAT_V. POOR		
EN_CON	0.2577	-0.2941	0.1857	-0.1096	0.1699		
	LIGHT_AV E	LIGHT_GO OD	LIGHT_PO OR	LIGHT_V.G OOD	LIGHT_V. POOR		
EN_CON	0.02771	0.02373	0.0673	-0.1817	0.1252		

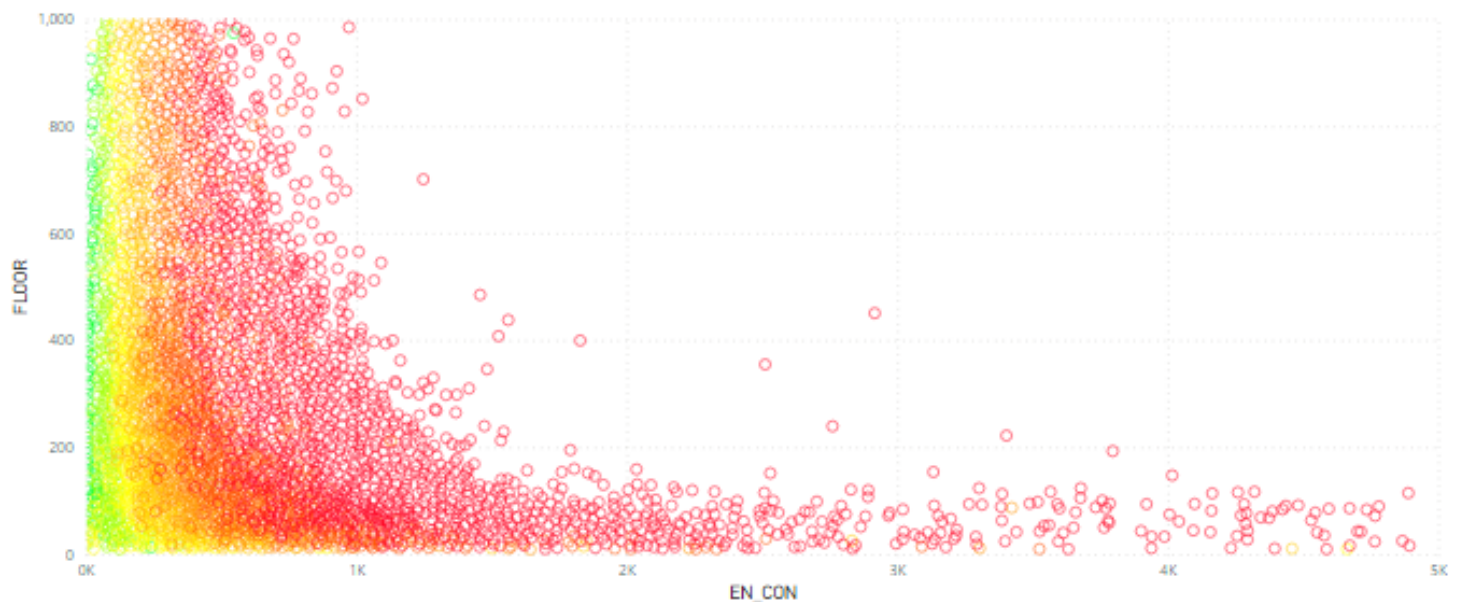
> summary(MYDATA\$FLOOR)

Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.

10.01 61.00 79.00 88.74 101.00 999.68

RATING, EN_CON and FLOOR

RATING ● A ● B ● C ● D ● E ● F ● G



Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-775	-34	-4	27	275337

Coefficients: (4 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
RATING.A	107.606333	0.824715	130.48	< 2e-16 ***
RATING.B	158.973425	0.171950	924.53	< 2e-16 ***
RATING.C	209.093132	0.225575	926.93	< 2e-16 ***
RATING.D	279.003554	0.238154	1171.52	< 2e-16 ***
RATING.E	369.970987	0.253644	1458.63	< 2e-16 ***
RATING.F	475.367277	0.291836	1628.88	< 2e-16 ***
RATING.G	657.957524	0.380174	1730.67	< 2e-16 ***
FLOOR	-0.657605	0.000609	-1079.12	< 2e-16 ***
POST.G_L_	-12.095327	0.105774	-114.35	< 2e-16 ***
POST.N_E_	5.087705	0.112114	45.38	< 2e-16 ***
POST.N_W_	0.573514	0.103535	5.54	3.0e-08 ***
POST.S_	11.667355	4.196456	2.78	0.0054 **
POST.S_E_	-5.154824	0.095218	-54.14	< 2e-16 ***
POST.S_W_	-12.238570	0.109495	-111.77	< 2e-16 ***
POST.W_	-13.549354	0.137232	-98.73	< 2e-16 ***
POST.W_M_	-0.176261	0.125192	-1.41	0.1592
WINDOWS_V.POOR	51.492990	0.235296	218.84	< 2e-16 ***
WINDOWS_POOR	35.273711	0.246023	143.38	< 2e-16 ***
WINDOWS_AVE	28.320340	0.206576	137.09	< 2e-16 ***
WINDOWS_GOOD	15.716581	0.198918	79.01	< 2e-16 ***
WINDOWS_V.GOOD	NA	NA	NA	NA
WALLS_V.POOR	51.213803	0.208384	245.77	< 2e-16 ***
WALLS_POOR	42.717027	0.209538	203.86	< 2e-16 ***
WALLS_AVE	31.768623	0.224428	141.55	< 2e-16 ***
WALLS_GOOD	19.159273	0.191545	100.02	< 2e-16 ***
WALLS_V.GOOD	NA	NA	NA	NA
HEAT_V.POOR	10.432435	0.196555	53.08	< 2e-16 ***
HEAT_POOR	70.613476	0.189052	373.51	< 2e-16 ***
HEAT_AVE	60.803030	0.150805	403.19	< 2e-16 ***
HEAT_GOOD	-14.869858	0.124492	-119.44	< 2e-16 ***
HEAT_V.GOOD	NA	NA	NA	NA
LIGHT_V.POOR	6.411448	0.090276	71.02	< 2e-16 ***
LIGHT_POOR	0.932828	0.103371	9.02	< 2e-16 ***
LIGHT_AVE	-0.699578	0.087604	-7.99	1.4e-15 ***
LIGHT_GOOD	-0.778809	0.086901	-8.96	< 2e-16 ***
LIGHT_V.GOOD	NA	NA	NA	NA

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

5.4 הוכחה לקיום הטרוסקדסטיות במדגם:

