

הראל אגרא

מרכז קדס לאקולוגיה של גגות
ירוקים, אוניברסיטת חיפה

דן מלקינסון

החוג לגיאוגרפיה ולימודי סביבה,
אוניברסיטת חיפה

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

אגרא ה ומלקינסון ד. 2022. יעילות
הקירור של גג ירוק אקסטנסיבי
מושקה בתנאי האקלים בישראל:
חקר המקרה של בניין עיריית חיפה.
אקולוגיה וסביבה 13(1): 66–79.



גג בניין עיריית חיפה. במחקר נמצא שהגג הירוק תרם לבידוד הקומה העליונה של הבניין | צילום: הראל אגרא

יעילות הקירור של גג ירוק אקסטנסיבי מושקה בתנאי האקלים בישראל: חקר המקרה של בניין עיריית חיפה

12 במאי, 2022

גיליון אביב 2022 / כרך 13(1)

זרקוב

על קצה המזלג

- חלק הארי של האנרגיה הנצרכת במבנים משמש ליצירת נוחות תרמית – חימום בחורף וקירור בקיץ. למזגנים, שהם האמצעי השכיח לקירור מבנים בישראל, צריכת אנרגיה גבוהה.
- הצורך העולמי והלאומי להפחית את צריכת האנרגיה ופליטות גזי החממה, מחייב למצוא פתרונות יעילים לאקלום מבנים.
- גגות ירוקים מביאים לתועלת מגוונת, הכוללת בידוד תרמי של מבנים, אך מרבית הגגות שהוקמו והמחקרים עליהם ועל יעילותם נערכו באקלים ממוזג, השונה מהותית מהאקלים השורר בישראל.
- במחקר זה, שנערך בארץ, הקימו החוקרים גג ירוק על מבנה משרדים ומדדו ירידה מיידית אך צנועה בטמפרטורות חדרי הקומה העליונה בחודשי הקיץ.
- לתרומתו של גג ירוק לקירור מבנים יש פוטנציאל משמעותי בארצנו החמה והמתחממת, אך היעדר ידע מחקרי נרחב וניסיון מעשי בהקמת גגות ירוקים בתנאי האקלים הים תיכוני הצחיח למחצה, מצריך עידוד ממשלתי של מ"פ ומיזמים להקמת גגות ירוקים.

מערכת אקולוגיה וסביבה

תקציר

גגות ירוקים נמצאו יעילים בבידוד תרמי של בניינים במחקרים רבים שנעשו באזורי אקלים ממוזגים, אולם הסוגיה טרם נבדקה בתנאי האקלים בישראל. המאמר מביא תוצאות ראשוניות של ניסוי באקלים ים תיכוני שנבדקה בו ההשפעה של גג ירוק מושקה על הטמפרטורה בתוך בניין. חלקות גג ירוק הוקמו מעל חמישה מתוך עשרה משרדים בקומה העליונה באחד האגפים בבניין עיריית חיפה, והטמפרטורות בעשרת המשרדים נמדדו בין אוגוסט לאוקטובר 2021. התוצאות הראו כי הטמפרטורות במשרדים שהוקמו מעליהם הגגות הירוקים היו נמוכות בכ-1.5 מעלות צלזיוס בממוצע בהשוואה לאלה שנותרו מתחת לגג החשוף. התוצאות מצביעות על כך שחלקות הגג הירוק תרמו לקירור הבניין, אולם לא ניתן לקבוע אם הגורם שתרם לטמפרטורות הנמוכות יותר הוא הצמחייה או האידוי מהחלקות המושקות עצמן. בכל מקרה, תרומה זו מתווספת לתרומה הנופית והאסתטית שהגגות הירוקים מספקים.

מבוא

גגות ירוקים (גגות חיים) הם גגות המכוסים בשכבת מצע גידול וצמחייה. הם נחלקים לשני סוגים. הסוג הראשון הוא גגות אינטנסיביים, גגות המכוסים במצע גידול עמוק, והתפעול שלהם דומה לגינון על הקרקע. הסוג השני הוא גגות אקסטנסיביים, המכוסים בשכבת מצע דקה שעומקה פחות מ-20 ס"מ. בגגות אלה מגדלים לרוב צמחייה עשבונית, ובדרך כלל תכליתם היא העצמת שירותי המערכת האקולוגית שהם מספקים. מלבד התרומה למגוון הביולוגי במרחב העירוני, גגות ירוקים נמצאו כתורמים במגוון היבטים סביבתיים: ספיגה וסיוע בניקוז של מי גשמים, בידוד אקוסטי, קליטת פחמן דו-חמצני וספיחת מזהמים מן האוויר ובידוד תרמי של הבניינים [2]. הבידוד התרמי מוביל לחיסכון באנרגיה [3]. מרבית המחקרים שנעשו עד כה על גגות ירוקים נערכו באזורי אקלים ממוזגים, ותוצאותיהם במקרים רבים אינן משקפות את המצב בתנאי האקלים הים תיכוני הצחיח למחצה בישראל.

באירופה ובצפון אמריקה הגגות האקסטנסיביים נפוצים מאוד. הגידול הנפוץ ביותר בהם הוא צמחים סוקולנטיים מהסוג צורית (*Sedum*). בישראל רוב הצמחייה העשבונית חד-שנתית, ונמצאת בתרדמה בקיץ, כך שהגגות בתקופה זאת נהפכים חומים. היות שכן, מוצעת בישראל שיטה של גגות אקסטנסיביים מושקים עם מיני צמחים רב-שנתיים קטנים [1], אולם היעילות של גגות כאלה במתן שירותי מערכת אקולוגית שונים ובידוד תרמי בפרט טרם נבדקה לעומק. במחקר שנעשה בישראל בגג אקסטנסיבי בלתי מושקה [4] נמצא כי טמפרטורת המצע בגג שמגדלים בו צורית הייתה נמוכה מזו של גג עם צמחייה חד-שנתית מקומית בכ-1.5 מעלות צלזיוס, ומזו של גג ללא צמחייה בכ-7 מעלות, אולם במחקר זה לא נבדקה הטמפרטורה בתוך הבניין. במחקר אחר [5] שבדק יעילות קירור ביחס להשקיה, המסקנה הייתה כי מבחינת יעילות הקירור הקמת גג ירוק בישראל ובאזורי אקלים דומים אינה משתלמת. המחקר הנוכחי בודק לראשונה בישראל את ההשפעה של גג אקסטנסיבי מושקה על הטמפרטורה בתוך הבניין. המחקר נערך על גג עיריית חיפה בשיתוף עם העירייה, ובמסגרתו נמדדה הטמפרטורה במשרדים שמתחת לגג המחקר.



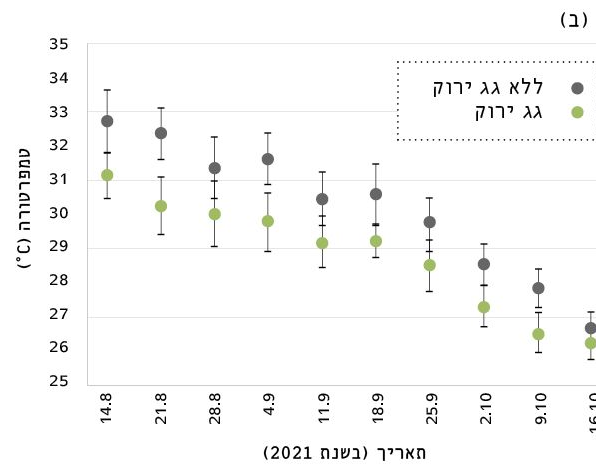
זבלל מאוריטני – משתרע רב-שנתי, ירוק-עד וצפוף – בגג הירוק / צילום: הראל אגרא

שיטות

במחקר נבדקו עשרה משרדים בקומה העליונה של צידו הצפון-מערבי של בניין עיריית חיפה. הגג נמצא תחת שמש מלאה ללא הצללה (איור 1א). על הגג שנמצא מעל חמישה מתוך עשרת המשרדים הוקמו חלקות גג ירוק באורך של 5.2 מטר וברוחב משתנה על פי ממדי המשרד שנמצא תחת כל אחת מהחלקות (2.6–3.6 מטר). החלקות נבנו ממסגרת עץ בגובה 20 ס"מ שבתחתיתה הונחה יריעת איטום נגד חדירת שורשים, ומעליה יריעה המגינה מכנית על יריעת האיטום. החלקות מולאו ב-15 ס"מ של מצע גידול (תערובת גן של חברת דשנית בע"מ), ומעל למצע פוזרה שכבה של 2 ס"מ טוף לחיפוי. הצמחים נשתלו בסוף חודש מאי 2021, בשורות ובמרווחים של 50 ס"מ בין השתילים, ובמרווח של כ-50 ס"מ בין השורות, סך הכול 40 שתילים בחלקה. בשלוש חלקות נשתלו צמחי אפטניה לבובה (*Aptenia cordifolia*), סוקולנט רב-שנתי ירוק-עד, ובשתי חלקות נשתלו צמחי זבלל מאוריטני (*Convolvulus mauritanicus*), רב-שנתי משתרע. הצמחים הושקו בכ-1 ליטר מים לצמח ליום, מיום השתילה עד אמצע אוקטובר. חמשת המשרדים האחרים שלא הותקנו מעליהם חלקות גג שימשו חלקות ביקורת. הטמפרטורות במשרדים נמדדה בין אוגוסט לנובמבר 2021 במדי טמפרטורה אוגרי נתונים (Ebro ebi 310) שהונחו בהם במקום מוסתר ולא נגיש מעל התקרה האקוסטית.

איור 1. ניסוי בגגות ירוקים בחיפה

(א) צילום של אתר הניסוי על גג עיריית חיפה. (ב) טמפרטורות מרביות (ממוצע ושגיאת תקן) בימי שבת במשרדים שהותקן מעליהם גג ירוק, ובכאלה ללא גג ירוק



איור 1

(א) צילום של אתר הניסוי על גג עיריית חיפה;
(ב) טמפרטורות מרביות (ממוצע ושגיאת תקן) בימי שבת במשרדים שהותקן מעליהם גג ירוק ובכאלה ללא גג ירוק

לצורך ניתוח התוצאות נלקחו הטמפרטורות המרביות שנמדדו בימי שבת, כדי להימנע מהשפעת השימוש במזגנים ובאוורור המשרדים במהלך השבוע. מובהקות השפעת הגג הירוק על הטמפרטורות במשרדים נבדקה במבחן t מזווג, והחזרות הן ממוצעי הטיפול בימי המדידה השונים (N=10).



אתר הניסוי על גג עיריית חיפה | צילום: הראל אגרא

תוצאות ודיון

הטמפרטורות המרביות בימי שבת היו נמוכות באופן מובהק ($t_9=10.11$, $p<0.001$) במשרדים שנבנה מעליהם גג ירוק (איור 1), וההפרש הממוצע היה 1.26 מעלות. במדידות שנערכו בתקופה החמה שבין 14 באוגוסט ל-4 בספטמבר ההפרש הממוצע היה 1.73 מעלות.

בהתאם להשערת המחקר, הטמפרטורות במשרדים תחת הגגות הירוקים היו נמוכות יותר במהלך הקיץ ובתחילת הסתיו, כלומר הגג הירוק אכן תרם לבידוד הקומה העליונה של הבניין. ייתכן שהסיבה להפרש הטמפרטורות הקטן יחסית היא העובדה שהחדרים היו צמודים, והטמפרטורות בחדרי הניסוי והביקורת הושפעו אלה מאלה. הגורם הישיר להורדת הטמפרטורות הוא ככל הנראה האידוי של המים מהמצע, אולם לא ניתן לקבוע אם תהליך הדיות וההצללה של הצמחייה תרמו לקירור המצע ולהתייעלות התהליך. שאלה זו תיענה בהמשך המחקר עם התבססות הצמחייה ובאמצעות ניסוי משלים שיכלול הקמת חלקות מושקות ללא צמחייה, ובמקביל ייבדקו כיסוי השטח, דיות ופרמטרים נוספים של הצמחייה. עם זאת, מבחינה מעשית, אם מקימים חלקות אדמה מושקות על גג, מתבקש לשתול בהן צמחייה כך שיהיה גג ירוק, ולו מהסיבה האסתטית בלבד. אנו מציעים להשתמש בעתיד במי המזגנים להשקיית הגגות, וכך לנצל את משאב המים שכיום איננו מנוצל. שימוש במי מזגנים צפוי גם להאט את המלחת הקרקע.

תודות

המחברים מודים לעיריית חיפה ולפיטר וג'ונג'יבר קדס על מימון המחקר, לעו"ד ענבל ריבלין, ראש מנהלת חיפה 2030 ולמירב קובריגור, מנהלת תוכניות חברתיות-קהילתיות חיפה 2030 על שיתוף הפעולה עם אוניברסיטת חיפה, לגולן גבעון, ראש אגף שפע, ולאמיל דיאב ולעדי אופיר על הסיוע בהקמת חלקות הניסוי.

מקורות

1. אוסטרליץ נ, כרמל ל ואגוזי י. 2014. מגגות מוזנחים לגגות מחנכים: יישום גגות ירוקים במבני חינוך בישראל. דו"ח 124-6-4. מוגש למשרד להגנת הסביבה.
2. Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B, et al. 2007. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience* **57**: 823-833.
3. Wong NH, Cheong DW, Yan H, et al. 2003. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings* **35**: 353-364.
4. Schindler BY, Blaustein L, Vasl A, et al. 2019. Cooling effect of *Sedum sediforme* and annual plants on green roofs in a Mediterranean climate. *Urban Forestry and Urban Greening* **38**: 392-396.
5. Schweitzer O and Erell E. 2014. Evaluation of the energy performance and irrigation requirements of extensive green roofs in a water-scarce Mediterranean climate. *Energy and Buildings* **68**: 25-32.

קריאה נוספת

מאמר על שירותי המערכת האקולוגית שמספקים גגות ירוקים, ועל היתרונות הנוספים שלהם

Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B, et al. 2007. [Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services](#). *BioScience* **57**: 823–833.

סקירה של סוגי הגגות הירוקים, שימושם והדרישות המעשיות להקמתם

אתר [אדריכלות ובנייה בישראל](#)