مستخرج از پایان نامه

پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲(۳۷-۱۵)

تحلیل تاثیر تکنیک ساختمان های سبز بر کاهش مصرف انرژی (تکنیک بام سبز در ساختمان آموزشی در شهر واسط عراق)*

ایام شیاع علی التمیمی [۱]

افسانه زرکش [۲*]

zarkesh@modares.ac.ir

منصور یگانه [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: عراق دارای زمستان های معتدل و هوای گرم و خشک در تابستان های طولانی است به همین دلیل خنک سازی به پر مصرف ترین جنبه انرژی در عراق تبدیل شده و میزان مصرف انرژی در حال افزایش است. این مشکل در عدم تمایل به استفاده از راه های ساختمان سبز است که با هدف کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی انجام می شود. لذا این تحقیق بر روی یکی از این استراتژی‌ها تمرکز دارد که عبارت از بام سبز بعنوان بهترین راه برای صرفه‌جویی در انرژی است. هدف تحقیق ارائه نمونه ای از طراحی سقف با استفاده از فناوری بام سبز در یک ساختمان آموزشی در شهر واسط می باشد و ارزیابی رفتار حرارتی این فناوری در بهبود مصرف انرژی است.

روش بررسی: این مطالعه به صورت تحلیلی از طریق برنامه دیزاین بیلدر (Design Builder) برای ارزیابی تأثیر بام سبز بر مصرف انرژی شش نوع گیاه بومی مناسب منتخب برای اقلیم واسط انجام شد. ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و ارتفاع لایه رشد به‌عنوان متغیرهای پژوهش وجود دارند که از طریق آنها، میزان بهبود مصرف انرژی سالانه اندازه‌گیری می‌شود.

یافته ها: نتایج تحلیل عددی نشان داد که پس از مقایسه گیاهان، بهترین عملکرد حرارتی بام سبز برای دو گیاه با ارتفاع ۱۵ سانتی متر و ۲۰ سانتیمتر با شاخص سطح برگ بالا بود که به ترتیب۴/۴۳ و ۵/۸۲ بود. بهترین ارتفاع لایه در حال رشد برای بهبود مصرف انرژی به میزان ۲۵ سانتیمتر و ۲۰ سانتیمتر مشخص گردید. صرفه جویی سالانه انرژی به ترتیب به ۱۱/۷ و ۱۳/۴۹ رسید.

---

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده ایام شیاع علی التمیمی با عنوان "تحلیل و طراحی ساختمانهای سبز با رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمانهای آموزشی نمونه طراحی: مدرسه با تکنیک بام سبز در شهر واسط- عراق" است که با راهنمایی نویسنده دکتر افسانه زرکش و مشاوره نویسنده دکتر منصور یگانه در دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال ۱۴۰۱ به اتمام رسیده است.

۱- کارشناس‌ارشد معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- دانشیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

بحث و نتیجه گیری: بام سبز در اقلیم شهر واسط راه حلی عملی و پایدار برای مصرف انرژی در آب و هوای گرم و خشک است و می توان از مزایای بسیار آن در اقلیم این شهر بهره برد.

واژه‌های کلیدی: ساختمان سبز ، مصرف انرژی ، انتقال حرارت ، نرم افزار دیزاین بیلدر.

J. Sus. Dev. & Env., Vol 4, No.2, Summer 2023, pp.15-37

Analysis of the effect of green building technique on reducing energy consumption (Green roof technique in an educational building in Wasit, Iraq)

Ayam Shyaa Ali Al-tamemi [1]
Afsaneh Zarkesh [2*]
zarkesh@modares.ac.ir
Mansour Yeganeh [3]

Admission Date: May 4, 2023 Date Received: November 16, 2022

Abstract

Background and Objective: Iraq has mild winters and hot and dry weather in long summers, that's why cooling has become the most energy-consuming aspect in Iraq, and the amount of energy consumption is increasing. This problem lies in the unwillingness to use the ways of green building, which is done with the aim of reducing the consumption of energy and natural resources. Therefore, this research focuses on one of these strategies, which is the green roof as the best way to save energy. The purpose of the research is to present an example of roof design using green roof technology in an educational building in Wasit city, and to evaluate the thermal behavior of this technology in improving energy consumption.

Material and Methodology: This study was done analytically through the Design Builder program to evaluate the effect of green roof on energy consumption of six types of native plants selected for the climate of Wasit. There are many research variables such as plant height, leaf area index, and growth layer height as research variables, through which the improvement in annual energy consumption is measured.

Findings: The results of the numerical analysis showed that after comparing the plants, the best thermal performance of the green roof was for two plants with a height of 15 cm and 20 cm with a high leaf area index. It was 4.43 and 5.82 respectively. The best height of the growing layer to improve energy consumption was determined to be 25 cm and 20 cm. Annual energy savings reached 11.7 and 13.49 respectively.

Discussion and Conclusion: The green roof in the climate of Wasit city is a practical and sustainable solution for energy consumption in hot and dry weather, and one can take advantage of its many advantages in the climate of the mentioned city.

Keywords: Green building, energy consumption, heat transfer, Design Builder software.

1- Master of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.* (*Corresponding Author*)

3- Associate Professor, Department of Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

مقدمه

قبل از اینکه قرن بیستم را ترک کنیم, ما شاهد یک مکث بشردوستانه جسورانه بودیم که با فراخوان برای مفهوم جدیدی از توسعه زیست محیطی جهت ارائه چشم اندازی متعادل بین حفظ محیط زیست، ایمنی انسان و تداوم رشد اقتصادی نشان داده شد. گرایش به ساختمان های سبز که یک مدخل طراحی برای آن با بعد فلسفی است، با هدف استفاده از تکنیک هایی برای منطقی کردن انرژی و کاهش حجم مصرف در منابع است. همچنین کاربرد تکنیک های بازیافت و انرژی های تجدیدپذیر و ایجاد روش های خاص عایق حرارتی. و ضرورت بکارگیری راهکارهای ساختمان سبز در اقلیم گرم در ساختمان ها به طور عام و در ساختمان های آموزشی به طور خاص می باشد.

شهر واسط در کشور عراق با تابستان های گرم و خشک مشخص می شود و دمای آن در تابستان به ۴۸ درجه سانتی گراد می رسد (1) . به طور کلی ساختمان‌ها عمدتاً از مصالح سازه‌ای سنگین با رسانایی حرارتی بالا تشکیل شده‌اند که باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود (2). طراحی اکثر بناها با روش‌های سنتی صورت می گیرد و از عایق‌های حرارتی پیشرفته به‌ویژه برای عناصر خارجی استفاده نمی‌شود. ساختمان‌ها روی دستگاه سرمایش نوع اسپلت در تابستان قرار می گیرند که باعث افزایش بار سرمایشی می شود. بنابراین مصرف انرژی یکی از مشکلاتی است که کشور با آن مواجه است و ساختمان ها در عراق از نظر زیست محیطی در اقلیم گرم ناپایدار شده و با مفهوم پایداری ناسازگار شده اند (1). در اینجا هیچ علاقه یا توسعه راه حلی برای حرکت بخش ساخت و ساز به سمت ساخت و ساز سبز وجود ندارد که در این حرکت کاهش بارهای سرمایشی و بهبود مصرف انرژی در ساختمان ها مهم است.

در این تحقیق سه فرضیه وجود دارد که عبارتند از: ۱- استفاده از فناوری بام سبز یکی از راه حل ها و روش های مهم برای بهبود عملکرد پوشش بیرونی ساختمان از نظر کاهش بارهای سرمایشی و بهبود مصرف انرژی در ساختمان های آموزشی در اقلیم گرم و خشک شهر واسط عراق است. 2- به نظر می رسد گونه های گیاهی ای که سطح برگ بالایی دارند با توجه به ضخامت خاک مورد استفاده در بام، میتوانند مناسب ترین گونه ها باشند. ۳- با مقایسه میزان کارایی الگوها و انجام محاسبات توسط نرم افزار دیزاین بیلدر الگوی بهینه قابل ارائه است.

۱- زمینه و هدف

هدف اصلی تحقیق ارائه یک الگوی بهینه برای طراحی سقف با تکنیک بام سبز در ساختمان آموزشی در شهر واسط عراق می باشد. با دستیابی به هدف اصلی، اهداف فرعی روبرو نیز محقق می شوند مانند شناسایی انواع گیاهان محلی که دارای استقامت بالا در تابستان و مقاومت در برابر حرارت بالا و مناسب با آب و هوای عراق می باشند و ارزیابی میزان کارایی هر یک از الگوها برای کاهش بار سرمایشی در مصرف انرژی. روش تحقیق عبارت است از روش توصیفی- تحلیلی و شبیه سازی.

۱-۱- پرسش های پژوهش

۱- چه اندازه فناوری بام سبز می تواند در مصرف انرژی ساختمان در شهر واسط عراق کار امد باشد؟

۲- کدام گونه های گیاهی برای استفاده در بام سبز با توجه به لایه بستر در ساختمانهای اموزشی شهر واسط مناسب هستند؟

۳- الگوی طراحی بام ساختمان اموزشی بر أساس تکنیک بام سبز چگونه است؟

۱-۲- پیشینه تحقیق

پیشنهادهای فکری و کاربردی زیادی در مورد طراحی بام سبز مطرح شده که از آن جمله مواردی است که به کارکردهای مختلف اقلیمی ،اقتصادی، زیبایی شناختی، تفریحی و غیره در سطح معماری و شهری می پردازند. . اکنون تمرکز بر مطالعاتی خواهد بود که به موضوع تأثیر بام سبز در بهبود بهره وری انرژی و کاهش بارهای سرمایشی می پردازد. این مطالعه به شرح زیر می باشد:

- جافال و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله ای با عنوان "بررسی جامع تاثیر سقف های سبز بر عملکرد انرژی ساختمان" مدلی متشکل از یک خانه تک خانواده با بام سبز به منظور درج در کد ساختمان برای ارزیابی برگ بام سبز و دمای سطح خاک

اجرا شد. نویسندگان دریافتند که استفاده از بام سبز از دال سقف در برابر نوسانات دمای بالا و دمای شدید محافظت می-کند. علاوه بر این، در تابستان، بام سبز سبب اثر خنک کنندگی غیرفعال با افزایش اتلاف حرارتی روزانه، به میزان سه برابرگردید. نتیجه گیری شد که استفاده از بام سبز راه حل موثری برای کاهش تقاضای سرمایش و بهبود آسایش حرارتی است (3) .

- ضرغامی و همکاران (2016) در مقاله ای با عنوان "ارزیابی عملکرد حرارتی بام سبز در پایداری و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی در اقلیم گرم وخشک ایران" با استفاده از برنامه شبیه سازی دیزاین بیلدر مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند . اثر عواملی مانند ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و ارتفاع بستر برای محاسبه مصرف انرژی سالانه در یک ساختمان مسکونی معمولی مطالعه گردید. نتایج نشان داد که هر چه ارتفاع گیاه کمتر باشد، لایه بستر، عمیق‌تر و هر چه شاخص سطح برگ بیشتر باشد، بهره‌وری ساختمان بیشتر می‌شود و ساختمان با عملکرد انرژی بهتر و با صرفه‌جویی سالانه در مصرف انرژی ظاهر می‌شود. ۸,۵۴ درصد کاهش مصرف انرژی برآورد شده است (4) .

- کاراچالیو و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله ای به نام "تجزیه و تحلیل تجربی و عددی عملکرد انرژی یک سیستم سقف سبز فشرده در مقیاس بزرگ، نصب شده بر روی یک ساختمان اداری در آتن" عملکرد انرژی یک سیستم بام سبز و سهم آن در کاهش شهری پدیده جزیره گرمایی را مورد مطالعه قرار دادند. دما و رطوبت سایت در دوره سرد سال اندازه‌گیری شد. این ساختمان نیز با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس شبیه سازی و محاسبه شده که دمای هوای داخل در یک روز تابستانی به ۱,۱ کلوین و در یک روز زمستانی به ۰,۷ کلوین کاهش می یابد. در نهایت، ۱۵,۱ درصد صرفه جویی انرژی در ساختمان ها در طول سال محقق می شود (5).

- زیگو و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله ای با عنوان "ارزیابی انرژی، محیط زیست و اقتصادی صرفه جویی برق از بهره برداری از سقف های سبز در ساختمان های اداری شهری یک منطقه گرم مدیترانه ای" با کاربرد نرم افزار شبیه سازی انرژی پلاس متمرکز شد. مصرف انرژی و انتشار گازهای دی اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید کربن محاسبه شد و نتایج آنها کاهش ۲۵ درصدی مصرف انرژی در فرآیند گرمایش و ۲۰ درصدی در فرآیند سرمایش با استفاده از بام سبز را نشان داد (6)

- هی و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله ای تحت عنوان " ارزیابی عملکرد حرارتی نوع جدیدی از سیستم سقف سبز" از یک سقف سبز با لایه ای از هوای درحال تهویه صحبت می کند. این سیستم در پنج منطقه آب و هوایی در چین اعمال شد. عملکرد حرارتی بام سبز تجزیه و تحلیل، و محتوای آب اندازه-گیری شد. بر اساس نتایج آنها، تأثیر نسبت آب و ضخامت خاک در زمستان و تابستان متفاوت است. بام سبز جدید می تواند دمای سطح داخلی را در تابستان کاهش دهد و دمای سطح را در زمستان افزایش دهد. ضخامت خاک در تابستان و شاخص سطح برگ نیز تاثیر مثبت دارد (7) .

- محمودزاده و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله ای با عنوان "اثرات سقف های سبز گسترده بر عملکرد انرژی ساختمان های مدارس در چهار اقلیم آمریکای شمالی" تحلیلی جامع برای ارزیابی تآثیر معیارهای طراحی بام سبز بر روی عملکرد حرارتی و مصرف انرژی یک ساختمان دبیرستان در چهار منطقه مختلف آب و هوایی در آمریکای شمالی ارائه کرد. عوامل متعددی از جمله شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، ضخامت عایق حرارتی و میزان رطوبت خاک به عنوان متغیرهای طراحی مورد ارزیابی قرار گرفتند که با شرایط اقلیمی هر منطقه مرتبط هستند. نتایج نشان داد که بار سرمایشی با افزایش ارتفاع گیاه در همه شهرها زمانی که شاخص سطح برگ بالا بود کاهش می‌یافت و در مقابل بار گرمایشی با ارتفاع گیاه افزایش پیدا می‌کرد (8).

در تحقیقات فوق، بعضی موارد در خصوص ویژگی های بام سبز از نظر رفتار حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان ها و برخی از مزایای بی شمار زیست محیطی و اقتصادی بام سبز بررسی شدند. اندازه گیری های تجربی و عددی بام سبز نشان داد که

کاهش مصرف انرژی با جذب گرما و ایفای نقش به عنوان عایق حرارتی همراه است. همچنین کاهش گرمایش انرژی سرمایشی و کاهش اثر جزیره گرمایی شهری مقارن با افزایش میزان فضای سبز است. هدف از این مطالعه کمک به درک رفتار حرارتی بام های سبز و مقایسه آن با بام های سنتی بالاخص از نظر مصرف برق در ساختمان ها در شهر واسط عراق است.

ما دریافتیم که اقلیم مطالعات قبلی با اقلیم مطالعه فعلی که اقلیم عراق است متفاوت است. لذا بر روی گیاهان مناسب با اقلیم محلی منطقه مورد مطالعه تکیه کردیم. این پژوهش به روشی نوآورانه به بررسی این موضوع می پردازد تا الگوهای بام سبز متناسب برای ساختمان های اموزشی ارائه شود. بعلاوه تفاوت میزان صرفه جویی در مصرف انرژی در بام سبز و بام های سنتی به ویژه از نظر مصرف برق در شرایط اقلیمی شهر واسط مشخص گردد.

۱-۳- مبانی نظری تحقیق

مفهوم ساختمان های سبز

ساختمان های سبز در مفهوم وسیع شان عبارت از "ساختمان هایی هستند که به منظور حفظ سلامت انسان و استفاده هوشمندانه از منابع طبیعی طراحی، بهره برداری و استفاده مجدد می شوند و اثرات منفی بر محیطزیست را کاهش میدهند". اصطلاح ساختمان سبز نیز به این معنی است: "ساختمانی که به گونه ای پایدار و کارآمد طراحی، ساخته و اداره می شود و تابع استانداردهای بین المللی خاصی است که برای سنجش سازگاری آن با محیط زیست به موسسات تخصصی داده شده و می تواند در زیر مجموعه ساختمان سبز طبقه بندی شود" (9).

دلایل ایجاد ساختمان های سبز

از جمله مهم ترین دلایل ایجاد ساختمان های سبز عبارتند از:

1- دستیابی به توسعه پایدار بدون به خطر انداختن کیفیت زندگی برای همه ساکنان زمین. این موضوع توسط اصول هانوفر تأیید شده که در سال ۱۳۹۲ اعلام شد.

2- مصرف منابع و افزایش انتشار دی اکسید کربن (10).

۳- ساختمان های سبز از نظر گرمایش، سرمایش و روشنایی نسبت به ساختمان های سنتی آشنا بسیار ارزان تر هستند، زیرا انرژی بسیار کمتری مصرف می کنند و آلودگی کمتری دارند، بنابراین قبوض برق را کاهش می-دهند (11).

سطح بالای آلودگی محیط زیست، مصرف منابع طبیعی، مصرف برق در ساختمان ها نتیجه تصمیم به کاربرد روش ها، سیستم ها و مصالح سنتی در ساخت و ساز است و از مهم‌ترین دلایلی است که باید به ایجاد ساختمان های سبز فکر کرد.

اصول ساختمان‌های سبز

ساختمان های سبز چهار اصل اساسی دارند که در نمودار ۱ نشان داده شده است (12).

نمودار ۱- اصول ساختمان سبز

Diagram 1. Principles of green building

مزایای ساختمان های سبز

از مهمترین مزایای ساختمان های سبز می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- صرفه جویی در منابع در چرخه عمر ساختمان، که از مرحله طراحی سبز شروع می شود.

۲- مصرف کم انرژی که سبب کاهش گرمایش زمین و آسیب به تنوع زیستی می شود (13).

۳- کاهش اثر جزیره گرمایی شهری، کاهش آسیب به محیط طبیعی شهر و در نتیجه صرفه جویی در تصفیه آب و هوا و کاهش هزینه انرژی و دوام سقف ساختمان را در پی دارد (14).

۴- کارآمدی بیشتر از ساختمان های سنتی در استفاده از منابع. درصد کاهش مصرف انرژی تا ۵۰ می رسد. انرژی را ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش دهید تا ساختمان های سبز در حفظ محیط زیست و پول کارآمد باشند (15).

۵- کیفیت بالا و دوام بیشتری دارد، هزینه کمتری برای کار و نگهداری دارد و راحتی و رضایت بیشتری را برای ساکنین فراهم می کند (11).

بهره وری در استفاده از انرژی، آب و منابع و ایجاد محیطی مناسب و راحت برای ساکنین از مهمترین مزایای ساختمان‌های سبز به شمار می روند.

مفهوم تکنیک بام سبز

بام های سبز فناوری جدیدی برای ساختمان های سبز است که از لایه ای از پوشش گیاهی با لایه های دیگر بر روی سقف ساختمان تشکیل شده است. ایده از مفهوم بام سبز و توسعه آن، ترویج رشد اشکال مختلف گیاهان بر روی ساختمان ها، و در نتیجه ارائه مزایای زیبایی شناختی، زیست محیطی و اقتصادی آن گرفته شده است. بام های سبز همچنین به عنوان بام های سازگار با محیط زیست (16)، یا روف گاردن نیز شناخته می شوند(17). شکل ۱ سقف سبز را در انواع مختلف ساختمان ها نشان می دهد .

شکل ۱- بام سبز استفاده شده در ساختمان های مختلف و انتخاب شده برای سال۲۰۱۶(18)

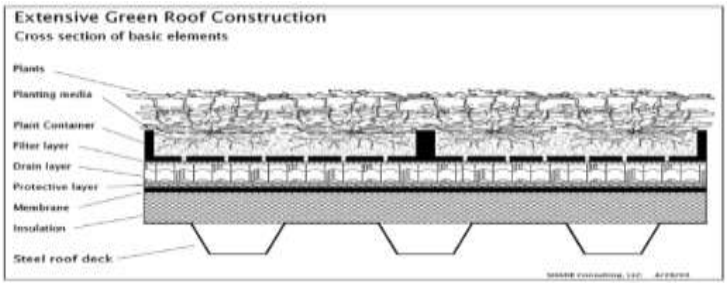
Figure 1. Green roofs used in different buildings and selected for 2016

انواع بام سبز

به طور کلی بام های سبز بسته به پوشش گیاهی، عمق یا ضخامت بستر (19) و پیکربندی لایه های مختلف در آن به دسته های مختلفی تقسیم می شوند. بام های سبز بسته به عمق بستر به سه نوع تقسیم می شوند که به شرح زیر است (20):

۱- بام سبز گسترده

بام های سبز گسترده سبک وزن هستند. این بام سبز در عمق خاک ۵-۱۵ سانتی متر، معمولاً از خزه ها کشت می کند. سرمایه کم، تنوع کم گیاه و حداقل نیاز به نگهداری را دارد. شکل ۲ سقف سبز گسترده را نشان می دهد (21).

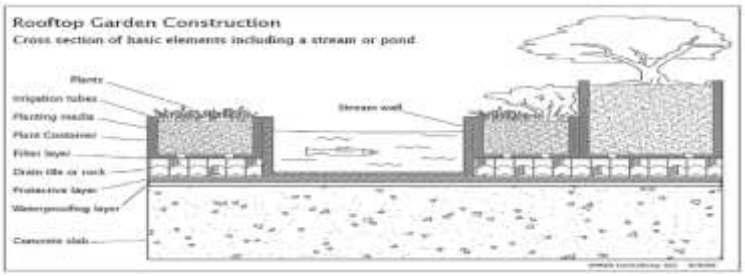


شکل ۲- بام سبز گسترده(21)

Figure 2. Extensive green roof

- بام های سبز متمرکز

بام های سبز متراکم دارای یک لایه بستر ضخیم از ۱۵ تا ۶۰ سانتی متر هستند، از انواع گیاهان تشکیل شده و وزن بیشتر، هزینه بالا و نیاز به نگهداری با توجه به افزایش لایه بستر (عمق خاک) دارد. انتخاب گیاهان در این نوع بام می تواند متنوع تر باشد مانند درختچه ها و درختان کوچک (22). بنابراین معمولاً به سیستم های آبیاری خاصی نیاز دارد. شکل۳ سقف سبز گسترده را نشان می دهد.



شکل ۳- بام های سبز متمرکز(21)

Figure 3. Concentrated green roofs

- بام های سبز نیمه متمرکز

در این بام ها لایه خاک عمق کمتری نسبت به بام متمرکز دارد. به عبارت دیگر ارتفاع آن بین بام وسیع و متمرکز بوده و ارتفاع لایه رشد بین ۱۲-۲۵ سانتی متر است. در این نوع بام می تواند گیاهان، گیاهان گلدار، گیاهان بلندتر و درختچه های کوچک رشد کند و هزینه نگهداری در آن کمتر از سیستم متمرکز است. سطوح سبز گسترده به طور وسیع در بسیاری از نقاط جهان اعمال می شود که این به دلیل محدودیت های وزن ساختمان، هزینه ها و نگهداری است.

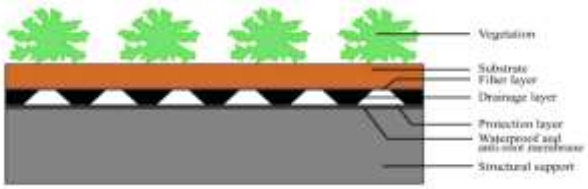
سیستم های بام سبز

انواع مختلف بام های سبز برای ساختمان ها وجود دارد. می توان از سیستم ها یا تکنیک های مختلفی برای ساخت این سقف ها استفاده کرد. سه تکنیک رایج عبارتند از (23).

- سیستم کامل
- سیستم مدولار یا سیستم انعطاف پذیر
- سیستم پوشش گیاهی از قبل کاشته شده

اجزای فنی بام سبز

بام سبز شامل ساختارهای مختلفی مانند لایه پوشش گیاهان، محیط رشد یا لایه خاک، لایه زهکشی و لایه غشایی است که به عنوان فیلتر و لایه ضد آب عمل می کند. هر یک از این اجزا دارای عملکرد خاصی میباشد. بسیاری از لایه های دیگر اغلب مورد نیاز هستند مانند سد ریشه (به طور کلی بین لایه خاک و لایه زهکشی)، سیستم آبیاری داخل یا بالای لایه خاک و فیلترهای تکمیلی. شکل ۴ لایه های سقف سبز را نشان می دهد (24). این لایه ها به شرح زیر مورد بحث قرار خواهند گرفت.



شکل ۴- لایه های بام سبز (24)

Figure 4. Green roof layers

۱- پوشش گیاهی[1]

موفقیت بام سبز به سلامت گیاهان بستگی دارد. مزایای آن عمدتاً به گونه های گیاهی وابسته است زیرا کیفیت آب و هوا وعملکرد حرارتی را افزایش می دهد. انتخاب پوشش گیاهی هماهنگ با شرایط آب و هوایی منطقه ضروری است . علاوه بر این، شناسایی گونه های گیاهی مناسب بر اساس عمق خاک صورت می گیرد .در سال‌های اخیر برخی از نویسندگان بر همین اساس کار کرده‌اند و گونه‌های گیاهی زیر را برای بام سبز گسترده مناسب شناسایی کرده‌اند:

- ۰/۵-۰ سانتی متر: سِدوم، خزه، گل سنگ
- ۱۰-۵ سانتی متر: چمنزارهای کوتاه از گلهای وحشی، با رشد بلند، مقاوم به خشکی، چند ساله، چمن، کوهستانی
- ۲۰-۱۰ سانتی متر: مخلوطی از گیاهان چند ساله کم یا متوسط، گیاهان، گیاهان یکساله، گل های وحشی و درختچه های فرعی مقاوم

۲- محیط کشت[2]

محیط کشت خواص فیزیکی و شیمیایی را برای رشد گیاه فراهم می کند. این محیط باید حاوی مقدار کافی مواد مغذی و ظرفیت ذخیره آب برای حمایت از گیاهان بام سبز باشد. ترکیب محیط رشد با توجه به انواع گیاهان در نظر گرفته می شود و بسته به شرایط آب و هوایی منطقه می تواند متفاوت باشد. اساساً، بستر حاوی ۸۰٪ فلزات سبک، ۲۰٪ مواد آلی و حدود ۳۰٪ ظرفیت ذخیره آب است. همچنین استفاده از سنگ پامیس در ترکیب بستر نیز در جذب دی اکسید کربن موثر می‌باشد (25).

۳- لایه فیلتر[3]

لایه فیلتر به عنوان جداکننده، بین لایه رشد و لایه زهکشی عمل می کند بنابراین ذرات ریز مانند ذرات خاک و کاه را از ورود به جریان زهکشی کنترل می نماید. به طور کلی از پارچه ها به عنوان فیلتر روی بام سبز استفاده می شود. این پارچه ها توانایی انجام فیلتراسیون و استحکام کششی بالایی دارندکه به مقاومت در برابر بارهای فوق کمک می کند و دارای منافذکوچکی برای نفوذپذیری آب در جهت عمودی هستند و در عین حال حرکت ذرات خاک را که به لایه زهکشی نفوذ می کنند محدود می نماید (26).

4- لایه زهکشی[4]

لایه فاضلاب پایه است برای رسیدن به موفقیت برای هر بام سبز. این تعادل ایده آل آب و هوا در اکوسیستم بام سبز محیط را برای رشد عالی فراهم می کند. پوشش گیاهی سبز در سطح بیشتر به لایه های هوازی و غیر اشباع نیاز دارد. لایه زهکشی آب اضافی را از بستر خارج می کند تا از شرایط بستر هوادهی اطمینان حاصل کند. لایه زهکشی خواص حرارتی بام سبز را نیز افزایش می دهد و باعث صرفه جویی در غشای ضد آب می شود(27) .حداقل ضخامت لایه تخلیه معمولا کمتر از ۲ سانتی متر است (26). اخیراً از دو نوع لایه مهم زهکشی در بام سبز استفاده شده که به شرح زیر است(24):

۱-پانل های مدولار زهکشی: این نوع از مواد پلاستیکی بسیار قوی یعنی پلی استایرن یا پلی اتیلن با کمدهایی برای ذخیره آب در حالی که امکان تخلیه آب اضافی را فراهم می‌کند ساخته شده است.

1- Vegetation
2- Substrate
3- Filter layer
4- Drainage layer

۲-زهکشی مواد دانه ای: این نوع دارای فضاهای منافذ قابل توجهی برای ذخیره آب و همچنین مقداری ظرفیت نگهداری آب از جمله شیل منبسط شده است. شن درشت، سنگدانه های رسی منبسط شده سبک، تراشه های سنگ و آجر خرد شده از جمله این مواد هستند. انتخاب نوع مناسب ماده برای موارد فوق عمدتاً به نوع پوشش گیاهی، ساختار ساختمان، مساحت بام سبز بستگی دارد. شکل ۵ مواد زهکشی بام سبز را نشان می دهد.

شکل ۵- مواد زهکشی بام سبز، راست: رس منبسط، چپ: پانل های مدولار (23)

Figure 5. Green roof drainage materials, **right**: expanded clay, **left**: modular panels

۵-لایه محافظ[1]

این لایه به عنوان یک مانع برای محافظت از ساختار سقف در هنگام نصب بام سبز، کودها و نفوذ احتمالی ریشه عمل می کند. این لایه محافظ می تواند یک دال بتنی سبک، ورق عایق صلب، ورق پلاستیکی ضخیم، فویل مسی یا ترکیبات مختلف مواد فوق باشد. مصالح مورد استفاده عمدتاً به طراحی و کاربرد بام سبز بستگی دارد.

۶-لایه ضد اب[2]

لایه ضد آب برای جلوگیری از هزینه‌های نگهداری اضافی ناشی از نشت آب که تشخیص و تعمیر آن دشوار است، بکار می رود. این لایه باید غیرقابل تجزیه زیستی و مقاوم در برابر نفوذ ریشه باشد. بدین منظور اکثرا از لاستیک و پلاستیک استفاده می گردد (28).

معایب سیستم های سقف سبز در ساختمان

معایب بام سبز عبارتند از(2):

۱- محدودیت های ساختاری: سقف و دیوارهای باربر برخی از ساختمان ها به اندازه کافی قوی نیستند تا از وزن اضافه شده یک سقف سبز حمایت کنند.

۲-معایب هزینه بام سبز: شما می توانید کمی در هزینه های گرمایش و سرمایش ساختمان خود صرفه جویی کنید، اما در مقابل نصب بام سبز، نصب آن می تواند دو برابر هزینه نصب یک سقف معمولی باشد.

۳- آسیب ناشی از نشت: اگرچه بیشتر سقف های سبز دارای یک لایه مانع ریشه ای هستند، اما ریشه گیاهان گاهی به غشای ضد آب نفوذ می کند و باعث نشت سقف می شود که می تواند منجر به آسیب ساختاری گردد.

۴-انتخاب محدود گیاهان: یکی دیگر از معایب بام های سبز انتخاب گیاه موجود است.

۲- روش تحقیق

روش مورد استفاده در این پژوهش توصیفی - تحلیلی و شبیه سازی می باشد. برای انجام این تحقیق در مرحله اول، اطلاعات مرتبط با موضوع از کتب، نشریات و مقالات علمی خارجی و داخلی دریافت شد. در مورد بخش تحلیلی، ساختمان آموزشی در شهر واسط عراق و این شهر به عنوان یکی از شهرهای کویری عراق انتخاب شد و در دو حالت اول (بدون بام سبز) و حالت دوم (با استفاده از بام سبز) محاسبه ماهانه و سالانه مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی به روش شبیه سازی کامپیوتری از طریق انرژی مورد استفاده قرار گرفت. برنامه شبیه سازی مورد استفاده در این مقاله برنامه دیزاین بیلدر است که در آن برنامه انرژی، تلفات و مصرف را بر اساس شرایط آب و هوایی سایت ساختمان محاسبه می کند. همچنین بار گرمایش

1- Protective layer
2- Water proofing membrane

و سرمایش را بر اساس استاندارد ASHRAE[1] با استفاده از متغیرهای پیش‌فرض از جمله مصالح دیوار و پنجره، تعداد افراد و ساعات اشغال ساختمان محاسبه می‌نماید.لازم به ذکر است که برخی از عوامل باعث کاهش نیاز به انرژی گرمایشی و یا افزایش نیاز به انرژی سرمایشی می شود. در هر صورت، راه حل بهینه کاهش بار گرمایش و سرمایش خواهد بود. مراحل شبیه سازی به شرح زیر است:

بررسی تاثیر ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ گیاه و ارتفاع لایه رشد گیاه بر مصرف انرژی سالانه، بررسی میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی سالانه در دو حالت پایه (بدون استفاده از بام سبز) (با استفاده از بام سبز). نتایج مصرف سالانه انرژی گرمایشی و سرمایشی برای هر شاخص به تفصیل در جداول آن ارائه شده است. سپس با بررسی نتایج و راهکارها، شاخص مورد نظر برای بام سبز انتخاب می شود.

درضمن در این تحقیق هیچ کار حوزه ای[2] و میدانی انجام نشده است.

۲-۱-انتخاب نرم افزار

در این تحقیق از نرم افزار دیزاین بیلدر ورژن ۷,۱ که بر پایه موتور محاسباتی انرژی پلاس کار می کند استفاده شده است. این نرم افزار می تواند بر اساس ASHRAE 90.1 /SI محاسبه کند. دیزاین بیلدر یکی از خاص ترین نرم افزارهای شبیه سازی انرژی ساختمان است (29).

این نرم افزار یکی از به روز ترین و معتبرترین نرم افزارهای کنونی دنیا برای شبیه سازی ساختمانها از جنبه انرژی است که در ان بار سرمایش وگرمایش را بر اساس استاندارد ASHRAE و با استفاده از معادلات موازنه حرارتی موجود در انرژی پلاس محاسبه می نماید. یکی از خصیصه های عمومی نرم افزار دیزاین بیلدر, دقت مدل سازی بسیار بالا (موتور مدلسازی حرارتی انرژی پلاس) و پوشش همه نیازهای مدلسازی مرتبط با انرژی است (30). نرم افزار مذکور از پرکاربرد ترین و دقیق ترین نرم افزارهای موجود در زمینه انرژی در تمامی دنیا می باشد (31).

ویژگی‌ها، کاربرد و قابلیت‌های منحصر به فرد این نرم‌افزار، آن را در زمره بهترین ابزارهای مدل‌سازی انرژی ساختمان قرار داده و از نظر سهولت استفاده و دقت داده‌ها، قابلیت‌های آن بالاتر از DOE 2[3] است (30). موتور مدل سازی این نرم افزار انرژی پلاس می باشد که توسط وزارت انرژی آمریکا ساخته شده و یکی از دقیق ترین نرم افزارهای موجود می باشد. نرم افزار دیزاین بیلدر نه تنها در محاسبات بسیار دقیق است، بلکه در مقایسه با سایر نرم افزارهای مدل سازی فعلی، از قابلیت های بسیاری نیز برخوردار است. به طور کلی جزئی ترین اطلاعات ساختمان را می توان در این نرم افزار مدلسازی کرد، بنابراین دارای دقت بالایی است. این نرم افزار را می توان یک موتور محاسباتی (مانند انرژی پلاس) در کنار یک محیط گرافیکی برای‌مدلسازی دانست. مزیت این نرم افزار، انجام همزمان ترسیمات و محاسبات است که می تواند بدون ترک محیط آن انجام پذیرد (32). مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی و ممیزی انرژی و اندازه گیری میدانی نشان می دهد که نتایج نرم افزار دیزاین بیلدر به شرایط واقعی نزدیک تر است (33). "در این نرم افزار با وارد کردن فایل اقلیمی شهر مورد نظر و یا هر نقطه از عراق می توان ساختمان را در شرایط اقلیمی واقعی شبیه سازی کرد تا مشخص شود ساختمان مورد نظر در واقعیت چگونه عمل می کند (30). انرژی پلاس تحت روش استاندارد تطبیقی و مقایسه ای تست برای اعتبار سنجی برنامه های کامپیوتری انالیز انرژی ساختمان Building Energy Simulation TEST /ASHARE STD (28) کار می-کند.

این نرم افزار به طور گسترده در مدل سازی انرژی ساختمان برای مصالح سنتی یا مصالح پیچیده تر مانند مصالح یکبار مصرف با تغییرات استفاده شده است (23). انرژی پلاس با محیط دیزاین بیلدر یکی شده و اجازه می دهد شبیه سازی های کامل بدون ترک محیط interfaceانجام شود. اکثر

1- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
2- Field work
3- Department of Energy

برنامه‌های شبیه سازی انرژی ساختمان با یک رابط کاربر گرافیکی[1](GUI) و موتور شبیه سازی عملی می اید. در حالی که انتخاب GUI باعث کاربرد آسان می شود اگر یک برنامه شبیه سازی باشد، نهایتا موتور است که تعیین می کند چقدر نتایج قابل اعتماد هستند. یک GUI بزرگ با یک موتور ضعیف نمی تواند نتایج قابل اطمینان ارائه دهد. وقتی که شبیه سازی اجرا ی کل ساختمان را به طراحان نزدیکتر می کنیم این کار کلید اینست که فرایند نصب و برپا کردن مدل و پرکردن ان با داده های تکنیکی تا حد ممکن بدون به خطر افتادن دقت یا دقت زیاد انجام شود .

قالبهای داده های قابل اعتماد کتابخانه ها و اجزا (ساختمانها، مواد، مصالح، برنامه ها، سیستم HVAC، پروفایلهای فعالیت و...) در این فرایند بسیار مهم هستند، همانطور که انها به طراحان کمک می کنند مدل ها یشان را با کاربرد راهی جامع و شفاف بر پا کنند (34).

۲-۲-متغیرهای تحقیق

متغیرهای بکار رفته در آزمون های تحلیلی عددی یا مدل سازی در این پژوهش عبارتند از: متغیر مستقل، وابسته و مداخله گر

- مستقل : متغیرهای مستقلی که در این تحقیق بررسی خواهند شد ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و ضخامت محیط رشد است که می تواند بر مصرف انرژی تأثیر بگذارد.
- وابسته: متغیر وابسته مصرف انرژی و بار سرمایش وگرمایش در این پژوهش است.
- مداخله گر: متغیر مداخله گر در این پروژه اقلیم شهر واسط با آب و هوای گرم و خشک است.

۲-۳-حدود منطقه پژوهش

منطقه مورد مطالعه، شهر واسط است که در بخش شرقی مرکز عراق واقع شده است (شکل ۶). بین عرض های جغرافیایی ۳۱-۲۷ و۳۳-۳۰ شمالی و طول های جغرافیایی ۱-۴۴ و ۴-۴۶ شرقی امتداد می یابد. مساحت شهر ۱۷۱۵۳ کیلومتر مربع است و ۴ درصد از مساحت ۴۴۱۰۰۰ کیلومتر مربعی عراق را تشکیل می دهد. طبق طبقه‌بندی کوپن، شاخص‌های اقلیمی عراق- شهر واسط در اقلیم‌های بیابانی گرم و خشک (Bwh) قرار می‌گیرد که با دمای بالا و بارندگی سالانه کم مشخص می‌شود.

شکل ۶- موقعیت شهر واسط در عراق(35)

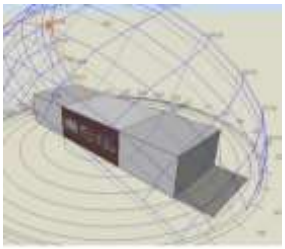
Figure 6. Location of the city of Wasit in Iraq

۲-۴-شبیه سازی

در این تحقیق فرضیه ۱ و ۲ مورد بررسی قرار گرفت: به نظر می‌رسد فناوری بام سبز یکی از راهکارها و روش‌های مهم برای بهبود عملکرد پوشش خارجی و کاهش بار سرمایشی در ساختمان‌های آموزشی در اقلیم گرم و خشک عراق باشد. و به نظر می رسد گونه های گیاهی با پوشش بالا می توانند با توجه به ضخامت خاک در بام سبز مناسب ترین گونه باشند.

به منظور تقویت این فرضیه و اهداف تحقیق، یک بنای آموزشی در شهر کویری واسط طراحی شد (شکل۷). در درون ساختمان، کلاسی آموزشی به ابعاد ۶*۸ متر با ارتفاع سقف خالص ۳,۴ متر با کمک برنامه دیزاین بیلدر طراحی گردید (همان شکل). همانطور که در شکل۷ نشان داده شده با توجه به تاثیر سه متغیر اساسی مستقل تحقیق بر عملکرد حرارتی بام سبز در این ساختمان، مصرف انرژی شبیه سازی شد.

1- graphical user interface



شکل ۷- توضیح مدل شبیه سازی، راست: پرسپکتیو کلی ساختمان آموزشی طراحی شده در شهر واسط با استفاده از بام سبز ، وسط: حجم مدل شده از کلاس مدرسه در دیزاین بیلدر، چپ: پلان کلاس در نرم افزار اتوکد طراحی شده

Figure 7. Explanation of the simulation model, **Right**: General perspective of educational building designed in Wasit city using green roof, **Middle**: Modeled volume of a school classroom in Design Builder, **Left**: Class plan designed in AutoCAD software

تمامی لایه های ساختمان به همراه خواص ترموفیزیکی آنها باید در نرم افزار شبیه سازی وارد شود تا بتواند مصرف انرژی ساختمان را به درستی ارزیابی کند. برای تعیین مشخصات پوسته سقف ساختمان از مصالح رایج در عراق به ویژه اقلیم گرم و خشک استفاده شده که در جداول ۱ و ۲ ذکر شده است.

جدول ۱- مصالح و مشخصات ترموفیزیکی برای سقف معمولی

Table 1. Materials and thermophysical characteristics for a typical roof

لایه های سقف					
ردیف	مصالح	ضخامت (متر)	هدایت حرارتی (W/m K)	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت گرمایی (J/kg K)
۱	کاشی های بتنی	۰/۰۴	۱/۱	۲۱۰۰	۸۳۷
۲	ماسه رودخانه ای	۰/۰۷	۰/۲۴	۱۶۹۰	۱۰۰۰
۳	فوم پلی اتیلین	۰/۰۵	۰/۰۳۷	۳۰	۱۰۰۰
۴	لایه قیر	۰/۰۰۲	۰/۲۴	۱۰۷۰	۱۰۰۰
۵	بتنی	۰/۲۰	۱/۷	۲۵۰۰	۸۴۰
۶	سیمان و گچ وملات گچ	۰/۰۲	۰/۹۹	۲۰۲۰	۲۰۴۰
۷	آستر خارجی (رنگ)	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۱/۵	-

جدول ۲- مصالح و مشخصات ترموفیزیکی برای دیوار کلاس

Table 2. Materials and thermophysical specifications for the classroom wall

مصالح لایه های دیوار					
ردیف	مصالح	ضخامت (متر)	هدایت حرارتی (W/m K)	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت گرمایی (J/kg K)
۱	آستر خارجی (رنگ)	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۱/۵	-
۲	سیمان، گچ و ملات گچ	۰/۰۲	۰/۹۹	۲۰۲۰	۲۰۴۰
۳	آجر سخت	۰/۲۴	۰/۵۴	۱۴۶۰	۸۴۰

۴	سیمان، گچ و ملات گچ	۰/۰۲	۰/۹۹	۲۰۲۰	۲۰۴۰
۵	آستر خارجی(رنگ)	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۱/۵	-

اما جدول ۳ مصالح لایه های بام سبز را توضیح می دهد.

جدول ۳- مصالح و مشخصات لایه های بام سبز

Table 3. Materials and characteristics of green roof layers

ردیف	مصالح	ضخامت (متر)	هدایت حرارتی (W/m K)	چگالی (kg/m^3)	ظرفیت گرمایی (J/kg K)
۱	لایه گیاهی	۰/۳۵-۰/۱۰	-	-	-
۲	خاک رست کشت شده۱۲/۵ رطوبت	۰/۲۵-۰/۱۲	۱	۱۹۰۰	۱۰۰۰
۳	لایه زهکشی (شن)	۰/۰۷	۱/۲	۱۷۰۰	۹۲۰
۴	لایه های عایق پلی اتیلن	۰/۰۱۵	۰/۳۷	۳۰	۱۰۰۰
۵	لایه بتن نازک	۰/۰۲	۰/۴۱	۹۰۰	۱۰۰۰
۶	عایق آب	۰/۰۱	۰/۲۴	۱۰۷۰	۱۰۰۰
۷	بتنی	۰/۲۰	۱/۴۹	۲۳۰۰	۸۴۰
۸	سیمان، گچ و ملات گچ	۰/۰۲	۰/۹۹	۲۰۲۰	۲۰۴۰
۹	آستر خارجی (رنگ)	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	۱/۵	-

۳- یافته های پژوهش

یافته های این تحقیق در دو بخش ارائه می شود که عبارتند از:

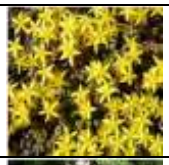
۱. ارتفاع گیاه و شاخص مساحت برگ گیاه
۲. ارتفاع لایه بستر کشت گیاه

۳-۱- بررسی تأثیر ارتفاع گیاه وشاخص برگ بر میزان مصرف انرژی

شش نوع گیاه بومی با شش ارتفاع مختلف از ۱۰ تا ۳۵ سانتی متر برای این بام سبز در برنامه دیزاین بیلدر ارائه شد (جدول ۴)، و نتایج شبیه سازی انرژی برای هر کدام به طور جداگانه به دست آمد. نمودارهای زیر خلاصه نتایج تحلیل عددی را نشان می دهد.

جدول ۴- مشخصات گیاهان در بام سبز

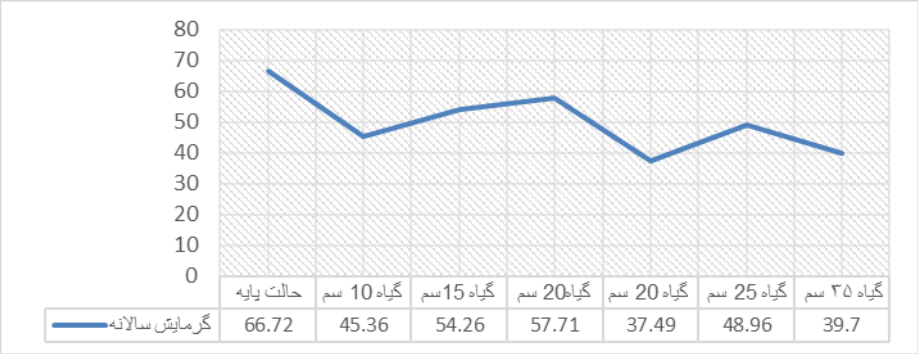
Table 4. Characteristics of plants in the green roof

	نوع گیاهان	عکس گیاهان	ارتفاع گیاهان(m)	شاخص سطح برگ	انعکاس برگ	انتشار برگ
۱	سدو م[1]		۰/۱۰	۳/۵	۰/۶۳	۰/۹۵
۲	فرانکنیا تی میفلیا[2]		۰/۱۵	۴/۴۳	۰/۳۲	۰/۸۳
۳	گل ریز برگ (وینکاماژور) [3]		۰/۲۵	۲/۷	۰/۲۵	۰/۸۰
۴	کالیلوفس هارت ویکی [4]		.۰۳۵	.۲۹	۰/۲۲	۰/۹۹
۵	تیغه ها ی بلندسبز تیره برگ[5]		۰/۲۰	۵/۸۲	۰/۱۵	۰/۸۰۰
۶	برگ سبز زرد[6]		.۰۲۵	۳/۷۵	۰/۲۱	۰/۸۲۰

نمودار ۲- تآثیر ارتفاع گیاهان بر مصرف انرژی سرمایش سالانه

Diagram 2. The effect of plant height on annual cooling energy consumption

1- Sedum Acre
2- Frankenia thymifolia
3- Bigleaf periwinkle (Vinca major)
4- Calylophus hartwegii
5- dark green long blades of leaves
6- yellow green leave



نمودار ۳- تآثیر ارتفاع گیاهان بر مصرف انرژی گرمایش سالانه

Diagram 3. The effect of plant height on annual heating energy consumption

نمودار ۴ - تآثیر ارتفاع گیاهان بر مجموع مصرفی سالانه

Diagram 4. The effect of plant height on total annual consumption

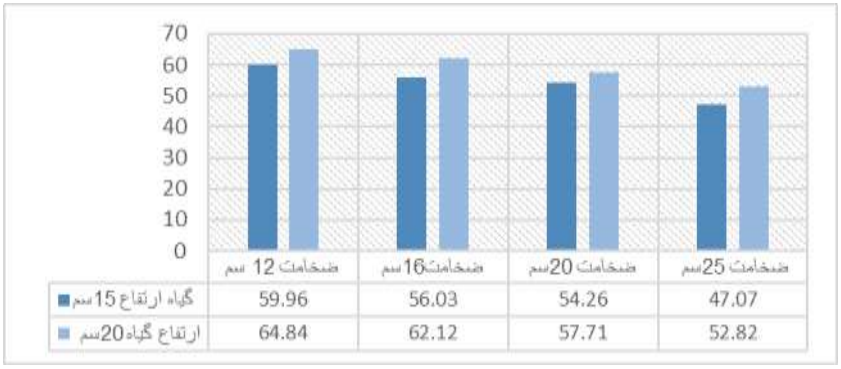
نمودار ۵ - تآثیر ارتفاع گیاهان بر بهینه سازی سالانه

Diagram 5. The effect of plant height on annual optimization

با تکیه بر نمودارهای فوق، نتایج در نمودار ۲ و ۳ نشان داد که با افزایش ارتفاع گیاه با شاخص سطح برگ بالا، مصرف انرژی برای سرمایش در بام سبز کاهش می یابد. مصرف انرژی برای گرمایش با ارتفاع گیاه با شاخص سطح بالا افزایش می یابد، اما در مقایسه نتایج بام سبز با سقف معمولی، بهبود و کاهش قابل توجهی در کل مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی ایجاد می شود. در نمودارهای ۴ و ۵ نتیجه بهترین ارتفاع و بهترین نوع گیاه در بهبود مجموع انرژی مصرفی گیاه Frankenia thymifolia ارتفاع ۱۵ سانتی متر و شاخص سطح برگ ۴/۴۳ بود. مقدار مجموع مصرف انرژی ان ۵۱۲۳/۶۹ کیلو وات ساعت بود. مقدار بهینه سازی۹/۱۳ درصد بود و بعد از ان مربوط به گیاه dark green long blades of leaves ارتفاع ۲۰ سانتی متر و شاخص مساحت برگ مساوی ۵/۸۲ و مقدار مجموع انرژی مصرفی آن ۵۰۰۸,۸۸ کیلو وات ساعت بود. مقدار بهینه سازی هم ۱۱/۱۷ درصد بود.

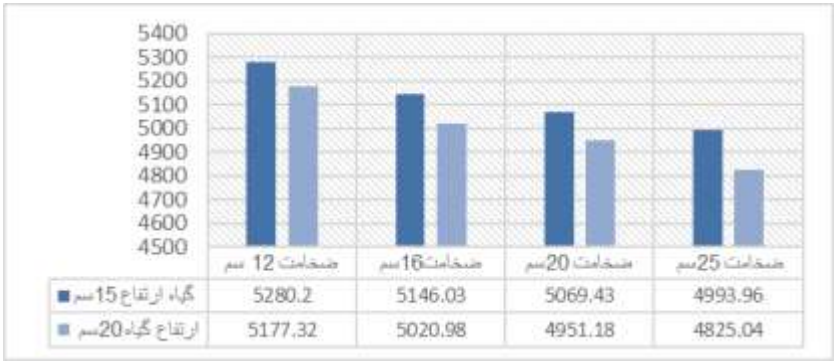
۲-۳-بررسی تأثیر ارتفاع لایه بستر کشت گیاه بر میزان مصرف انرژی سالانه

در این قسمت پنج ارتفاع از لایه رشد گیاه در بام سبز انتخاب شد که در برنامه دیزاین بیلدر ۱۰ ، ۱۲، ۱۶، ۲۰،۲۵ سانتی متر بود که نتایج شبیه سازی انرژی برای هر کدام از آنها به طور جداگانه به دست آمد.



نمودار ۶ - تأثیر ارتفاع لایه بستر بر مصرف گرمایش سالانه

Diagram 6. Effect of bed layer height on annual heating consumption

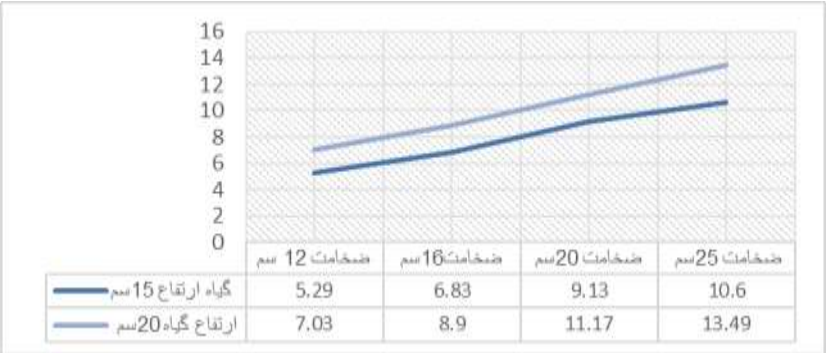


نمودار ۷- تاثیر ارتفاع لایه بستر بر مصرف سرمایش سالانه

Diagram 7. Effect of bed layer height on annual cooling consumption

نمودار۸- تاثیر ارتفاع لایه بستر بر مجموع مصرفی سالانه

Diagram 8. Effect of bed layer height on total annual consumption



نمودار ۹ - تاثیر ارتفاع لایه بستر بر بهینه سازی سالانه

Diagram 9. Effect of bed layer height on annual optimization

بر اساس نمودارهای فوق، نتایج نشان می دهد که با افزایش ارتفاع لایه بستر با گیاه با شاخص سطح برگ بالا، مصرف انرژی برای سرمایش در بام سبز کاهش می یابد. مصرف انرژی گرمایشی با ارتفاع گیاه با شاخص مساحت بالا افزایش می یابد، اما در مقایسه با نتایج بام سبز با سقف معمولی، بهبود و کاهش در کل انرژی مصرفی گرمایش و سرمایش مشاهده می شود.

نتیجه بهترین ارتفاع بستر در بهبود کل انرژی مصرفی ۲۵ سانتی متر با گیاهان dark green long blades of leaves به ارتفاع ۲۰ سانتی متر با مساحت سطح برگ۵/۸۲ بود. مقدار بهینه سازی ۱۳/۴۹ درصد بود.

۴- تحلیل نتایج

در بررسی عملکرد حرارتی بام سبز توجه به عوامل موثر بر آن ضروری است. عوامل مختلفی مانند نوع عایق سقف، منطقه آب و هوایی، نوع گیاه، ویژگی های گیاه و ارتفاع لایه رشد می تواند بر عملکرد حرارتی سقف تأثیر بگذارد. هر یک از عوامل به طور جداگانه در این تحقیق ارزیابی گردید و تأثیر آن بر مصرف انرژی به شرح زیر مورد بحث قرار می گیرد:

۴-۱-تجزیه و تحلیل تاثیر نتایج ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ بر بارهای سرمایش

علیرغم افزایش ارتفاع بوته به۰/۳۰ و۰/۲۰سانتی متر با سطح برگ ۲/۹ و ۲/۷، تقاضا برای سرمایش افزایش یافت و ارتفاع بوته به تنهایی برای کاهش بار سرمایش کافی نیست و اثربخشی ارتفاع بوته بستگی دارد. بر روی شاخص سطح برگ و منطقه آب و هوایی، بین شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه رابطه ای تعاملی وجود دارد. به عنوان مثال، هنگامی که ارتفاع بوته در ۰/۲۰سانتی متر ثابت بود و با تغییر سطح برگ ۲/۷، ۵/۸۴، مشخص شد که اگرچه ارتفاع بوته ثابت بود، اما گیاه با شاخص سطح برگ بالا به کاهش قابل توجهی در انرژی خنک کننده دست یافت. ما متوجه شدیم که ارتفاع گیاه در مقایسه با اثربخشی سطح برگ در کاهش بارهای خنک‌کننده شاخص مؤثری نیست، زیرا با گیاهان کوتاه، به‌ویژه با سطح برگ پایین‌تر، دمای خاک افزایش می‌یابد. از آنجا که بخش زیادی از خاک در معرض نور خورشید قرار دارد، بنابراین جذب تابش خورشید توسط خاک، اثرات خنک کنندگی فرآیند تبخیر را از بین می برد (۸).

درگیاهان بلند با سطح برگ زیاد، سرعت تبخیر بالا و دمای سطح خاک پایین است و تقاضا برای خنک کاری کاهش می یابد، زیرا با افزایش ارتفاع بوته، سرعت باد در داخل تاج افزایش می یابد و در نتیجه سرعت باد بیشتر تبخیر بیشتر را در پی خواهد داشت. سرعت تعرق با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد و برای تعرق، بخار آبی که از روزنه‌ها خارج می‌شود باید از این ناحیه ساکن عبور کند تا به جو برسد، جایی که هوای متحرک به بخار آب تبدیل می‌شود و دمای آن کاهش پیدا می کند.

۴-۲-تجزیه و تحلیل تأثیر نتایج ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ بر بارهای گرمایش

مقایسه انرژی مصرفی برای گرمایش بین گیاهان منتخب افزایش بار گرمایشی را نشان می دهد، یعنی هر چه ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ بیشتر باشد، تقاضای گرمایش بیشتر است و رابطه مستقیم است و بالعکس. به این معنی که بام سبز

بیشتر در معرض تابش خورشید است، اما در صورت استفاده از گیاه با سطح برگ زیاد، دمای بام سبز کاهش می یابد، چون خاک کمی در معرض تابش قرار می گیرد. اما در مقایسه با سقف معمولی، کاهش مثبت مصرف انرژی گرمایشی مشاهده می شود، زیرا بام سبز یک عایق مهم در زمستان است و اجازه نمی دهد گرما به بیرون منتقل شود.

۴-۳-تجزیه وتحلیل تأثیر نتایج ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ بر بهینه سازی

ارتفاع گیاه ۰/۱۵ و ۰/۲۰ با سطح برگ ۵/۸۲ و ۴/۴۳ بیشترین صرفه جویی در انرژی را به دست آورد، زیرا بدیهی است که پوشاندن سطح خاک با پوشش گیاهی با شاخص مساحت برگ بالا باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می شود و انتقال حرارت از طریق هدایت سقف در طول تابستان بسیار کاهش می یابد. بنابراین مشخص است که شاخص سطح برگ یک عامل موثر و دارای تاثیر مثبت بر بهبود انرژی در ساختمان است. همچنین کاهش تابش امواج بلند و کوتاه بر روی سیستم سقف در طول تابستان تاثیر بسزایی در میزان آن دارد وسبب افزایش تبخیر در بام سبز می شود. با توجه به اینکه تبخیر گیاه به طور جداگانه به شرایط خارجی مانند تابش خورشید، سرعت باد، دمای هوای محیط و رطوبت نسبی بستگی دارد، این عوامل نقش عمده ای در کاهش یا افزایش جریان گرما از طریق بام سبز دارند.

۴-۴- تجزیه و تحلیل تأثیر نتایج ارتفاع لایه بستر بر بارهای سرمایش

زمانی که ضخامت خاک دو برابر می شود کاهش بارهای خنک کننده را خواهیم داشت. حالتی که بیشترین کاهش بارهای خنک کننده با استفاده از یک لایه رشد ارتفاع ۰/۲۵ سانتیمتر در بام سبز به دست آمد. زیرا ضخامت خاک به دلیل ذخیره حرارت و اثر عایق بودن خاک در کاهش جریان گرما در تابستان تاثیر زیادی دارد. همچنین خاک ضخیم به کاهش هزینه های عملیاتی سیستم خنک کننده کمک می کند. این نه تنها یک محیط رشد برای گیاهان است بلکه به عنوان یک عایق نیز عمل می نماید.

به نظر می رسد که سقف زمانی می تواند از ضخامت خاک بیشتر بهره مند شود که گیاه مساحت برگ ۵/۸۲ و ارتفاع ۰/۲۰ سانتیمتر داشته باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که عملکرد ضخامت خاک به پوشش بستگی دارد به عنوان مثال، اگر شاخص LAI 5.82 باشد، نرخ تبخیر ناشی از تعرق گیاه در فصل تابستان زیاد می شود. لذا تأثیر آن در کاهش بارهای خنک کننده در تابستان به دلیل تأثیر خنک کنندگی گیاهان بیشتر است. این کاهش که شاخص سطح برگ آن ۴/۴۳ بود چون مقداری از خاک در معرض تابش خورشید قرار می گیرد و در نتیجه دمای سطح خاک افزایش می یابد و ذخیره حرارتی اضافی خاک موثر نیست.

۴-۵-تجزیه و تحلیل تأثیر نتایج ارتفاع لایه بستر بر بارهای گرمایش

از طریق نتایج، این کاهش در بارهای گرمایشی زمانی که شاخص سطح برگ برابر با ۵,۸۲ در هنگام دو برابر شدن خاک باشد، کمتر است. به دلیل اثر خنک کنندگی گیاهان، ظرفیت گرمایش تابشی خاک ضخیم کاهش می یابد. همانطور که پوشش گیاهی باعث خنک شدن سقف و افزایش تلفات حرارتی می شود و لذا میزان مصرف بارهای گرمایشی افزایش پیدا می کند.

۴-۶-تجزیه وتحلیل تآثیر نتایج ارتفاع لایه بستر بر بهینه سازی

مشخص شد که کل بهبود انرژی با دو برابر شدن خاک افزایش می یابد شاخص سطح برگ گیاه بالا است و رابطه بین آنها مستقیم است. در حالی که خاک با ضخامت ۰/۲۵ سانتیمتر با استفاده از گیاهی با شاخص برگ بالا ۵/۸۲ در اقلیم گرم و خشک با درصد۱۳/۴۹ به میزان قابل توجهی در مصرف انرژی صرفه جویی کرد. زمانی که لایه خاک دو برابر می شود این امر توجیه می شود و مدت زمان بیشتری طول می کشد تا گرمای بیشتری جذب گردد قبل از اینکه دمای آن افزایش یابد.

اگر چه انرژی گرمایشی بام سبز با دو برابر شدن لایه رشد و با پوشش گیاهی بالا کاهش می یابد, اما در مقایسه با سقف معمولی، کل مصرف انرژی سالانه کم میشود و ارتباط

مستقیمی بین آنها وجود دارد، زیرا لایه زیرلایه به عنوان یک عایق حرارتی عمل می کند که از انتقال گرما به داخل جلوگیری می نماید.

نتیجه گیری

نتیجه گیری این تحقیق که به بررسی ساختمان های سبز و انجام تحلیل عددی پرداخت برای یکی از راهبردهای ساختمان سبز است. این راهبرد بام سبز و تاثیر آن بر مصرف انرژی در ساختمان های آموزشی شهر واسط عراق می باشد که از طریق این مطالعه می توان به سوالات مطرح شده در تحقیق پاسخ داد:

سؤال اول تحقیق اشاره به این موضوع داشت که چقدر فناوری بام سبز می تواند در مصرف انرژی ساختمان در شهر واسط عراق کار امد باشد. بر اساس مطالعه نظری می توان گفت که سیستم بام سبز یکی از اصول طراحی معماری سبز معاصر است. همچنین به عنوان یک فناوری انرژی موثر در نظر گرفته می شود و به دلیل خاصیت عایق بودن بام سبز در کاهش مصرف انرژی نقش دارد. این تکنیک را می توان در محیط های خشک بیابانی مانند آب و هوای شهر واسط عراق به شرط داشتن سیستم یکپارچه آبیاری و زهکشی به کار برد به خصوص در تابستان که به کاهش استفاده از دستگاه های خنک کننده اسپلیت کمک می کند. این دستگاه ها برای کارکردن به انرژی الکتریکی زیادی نیاز دارند و از این جهت صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی خواهند داشت . در واقع بام های سبز در تابستان اثرات خنک کنندگی زیادی دارند و می توانند لایه عایق خوبی با ظرفیت گرمایی بالا برای گرم نگه داشتن ساختمان ها در زمستان و جلوگیری از افزایش و اتلاف گرما نیز باشند.

در مورد مطالعه تحلیلی عددی که با استفاده از برنامه دیزاین بیلدر انجام شد، به این نتیجه رسیدیم که بام سبز ۱۳/۴۹ درصد از مصرف انرژی سالانه در مصرف انرژی صرفه جویی می-کند. اما موفقیت عملکرد سیستم بام سبز تا حد زیادی به سه عامل بستگی دارد: موقعیت جغرافیایی، شاخص سطح برگ، و عمق محیط رشد.

سوال دوم این پژوهش که پرسش از گونه های گیاهی مناسب برای استفاده در بام سبز در ساختمانهای اموزشی شهر واسط بود از طریق نتایج تحلیل عددی در مصرف انرژی شش گیاه متنوع و با مقایسه آنها, نتیجه می گیریم که گیاه با سطح برگ زیاد تاثیر مثبت و موثری درکاهش مصرف انرژی بیش از ارتفاع گیاه دارد. وقتی که بهترین گیاه در صرفه جویی در انرژی سالانه Frankenia thymifolia، dark green long blades of leaves بود، زیرا اثر برگ هایی با سطح برگ زیاد در سایه بیشتر از گیاهی با سطح برگ کم است و اثر خنک کنندگی به وسیله تعرق باعث کاهش دمای هوای داخل می شود. این امر انتقال حرارت را کم می کند و به کاهش تقاضای خنک کنندگی کمک می کند. در مورد بارهای گرمایشی بام سبز، تقاضا برای آن بیشتر می شود که ارتفاع گیاه با افزایش شاخص سطح برگ افزایش می یابد. و رابطه بین آنها معکوس است و دلیل آن این است که خاک در معرض نور مستقیم خورشید قرار نمی گیرد و دمای خاک کاسته می شود. این امر سبب افزایش تقاضا برای گرمایش می شود. اما با وجود افزایش بار گرمایشی برای بام سبز، مصرف انرژی سالانه نسبت به بام سنتی کاهش می یابد. در مورد نتایج تجزیه و تحلیل عمق لایه رشد، متوجه شدیم که وقتی حجم خاک با دو گیاه منتخب در بالا افزایش می‌یابد، مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش کاهش پیدا می کند, و رابطه مستقیم بین آنها وجود دارد. زیرا لایه رشد به عنوان یک عایق حرارتی عمل می کند و از انتقال حرارت به داخل جلوگیری می نماید و با افزایش عمق خاک، مصرف انرژی کاسته می شود. با این حال مشاهده شده که مصرف انرژی برای گرمایش زمانی افزایش می یابد که از گیاهی با سطح برگ بالا استفاده شود. در نتیجه افزایش سایه خورشید برای گیاهان و به اندازه کافی برای گرم کردن سطح خاک نیست, بنابراین دمای لایه رشد کاهش می یابد که منجر به افزایش بار گرمایشی می شود. اما در مقایسه با سقف سنتی، دو گیاه فوق با دو برابر کردن لایه رشد به ۲۵ سانتی متر، به ترتیب ۱۱/۷، ۱۳/۴۹ صرفه جویی انرژی سالانه را به دست آوردند.

سوال سوم این پژوهش اشاره به چگـونگی الگـوی طراحـی بـام ساختمان اموزشی بر أساس تکنیک بام سبز داشت. الگوی سقف ساختمان آموزشی عمدتاً به اقلیم، نوع گیاه و عمق لایـه بسـتر بستگی دارد. در صورت استفاده از پوشش رویشـی بـالا و برابـر شدن لایه رشد، صرفه جویی بیشتری در مصرف انـرژی حاصـل می شود و از طریق نتایج تحلیـل عـددی، بهتـرین الگـو بـرای طراحی بام سبز ساختمان آموزشی در آب و هوای خشک و گرم بیابانی مانند شهر واسط با لایـه رشـد عمـق ۲۵ سـانتیمتری و انتخاب گیاهی با ارتفاع ۲۰ سـانتیمتر بـا شـاخص سـطح بـرگ ۵/۸۲ بود. به عبارت دیگر، هرچه با افزایش سـطح بـرگ گیـاه، لایه رشد بیشتر شود، تأثیر مثبتی بر عملکرد حرارتی ساختمان آموزشی و کاهش استفاده از وسایل خنک کننده خواهد داشـت مخصوصا در تابستان.

تشکر و قدردانی

این پژوهش منتج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد با عنوان "تحلیل و طراحی ساختمان های سبز با رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان های آموزشی. نمونه طراحی مدرسـه بـا تکنیـک بـام سبز در شهر واسط عـراق" اسـت و بـا حمایـت دانشـکده هنـر دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفته است. از همکـاری دانشـکده در این راستا تشکر می‌شود.

References

1. Al-Badri, N. R. (2013). *Grid electricity demand reduction through applying passive and active strategies for a house in Baghdad, Iraq* (Doctoral dissertation, The British University in Dubai (BUiD)).
2. Malika, F. A. K., & Hashem, A. L. (2020). Experimental Investigation of Green Roof Impact on Buildings Energy in Hot Climate. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, *13*(2).
3. Jaffal, I., Ouldboukhitine, S. E., & Belarbi, R. (2012). A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable energy*, 43, 157-164.
4. Zarghami, E., Adibi, E., (2016). Thermal Performance Evaluation of Green Roof on Sustainability and Energy Efficiency in Residential Buildings in Hot and Dry Climates of Iran. *Sustainable Architecture and urbanism*, 4(1), pp.75-90. (In Persian)
5. Karachaliou, P., Santamouris, M., & Pangalou, H. (2016). Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings*, 114, 256-264.
6. Ziogou, I., Michopoulos, A., Voulgari, V., & Zachariadis, T. (2017). Energy, environmental and economic assessment of electricity savings from the operation of green roofs in urban office buildings of a warm Mediterranean region. *Journal of Cleaner Production*, *168*, 346-356.
7. He, Y., Yu, H., Chen, P. and Zhao, M., 2018. Thermal performance evaluation of a new type of green roof system. *Energy Procedia*, *152*, pp.384-389.
8. Mahmoodzadeh, M., Mukhopadhyaya P., & Valeo, C. (2019). Effects of Extensive Green Roofs on Energy Performance of School Buildings in Four North American Climates, *Water*, 12(1), 6.
9. Sadegh, Salim. (2011). *The architecture of globalization in Egypt and the absence of concepts of sustainability in design: a case study*

of administrative buildings in New Cairo. Cairo, Al-Azhar University - Faculty of Engineering. (In Arabic)

10. Yudelson, J. (2007). *Green building A to Z: Understanding the language of green building*. New Society Publishers.
11. Hui, S. C. M. (2007, September). Sustainable building technologies for hot and humid climates. In *Invited Paper for the Joint Hong Kong and Hangzhou Seminar for Sustainable Building* (pp. 21-23).
12. Woolley, T., & Kimmins, S. (2003). *Green building handbook: Volume 2: A guide to building products and their impact on the environment*. Routledge. p5
13. Edwards, Brain (2005) "Green Building Pay" E & FN Spon, an Imprint of Routledge, London, UK, p.8
14. Almusaed, A., & Almssad, A. (2006). Biophilic architecture: The concept of healthy sustainable architecture. In *PLEA2006-The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006* (pp. 383-387). Universite de Geneve.
15. Barnett, D.L. and Browning, W.D., (2007). A Primer on Sustainable Architecture. *Rocky Mountain Institute (RMI), Green Development Services, USA*.pp.8-9.
16. Getter, K. L., Rowe, D. B., & Cregg, B. M. (2009). Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, *8*(4), 269-281.
17. Pledge, E., (2005). *Green roofs: ecological design and construction.* USA: Schiffer Pub Limited.
18. Shafique ,M,. Kim, R., Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges– A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(C), 757-773. https://archive.org › mccl_10.1016_j. rser.2018.04.006.
19. Shirazi, M. M. H., & Mowla, D. (2010). Energy optimization for liquefaction process of natural gas in peak shaving plant. *Energy*, *35*(7), 2878-2885.
20. Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and sustainable energy reviews*, *57*, 740-752.
21. Christopher, (2003). Green Roof Specifications and Standards. *The Construction Specifier*, Volume 65, p. 2.
22. Peck, S. W., Callaghan, C., Kuhn, M. E., & Bass, B. (1999). Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada. p. 48.
23. Doug, B., Hitesh, D., James, L. and Paul, M., (2005). Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of Toronto, Ontario centres., pp.36-47.
24. Cascone, S. (2019). Green roof design: State of the art on technology and materials. *Sustainability*, 11(11), 3020. p.15.
25. Chow, M. F., & Bakar, M. A. (2016). A review on the development and challenges of green roof systems in Malaysia. *International Journal of*

Architectural and Environmental Engineering, *10*(1), 16-20.

26. Gupta, G., Parihar, S. S., Ahirwar, N. K., Snehi, S. K., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J Microb Biochem Technol*, *7*(2), 096-102.
27. Townshend, D. (2007). Study on green roof application in Hong Kong–Urbis Limited. *Hong Kong*.
28. Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological engineering*, *36*(4), 351-360.
29. Vargas, A. P., & Hamui, L. (2021). Thermal energy performance simulation of a residential building retrofitted with passive design strategies: a case study in Mexico. *Sustainability*, *13*(14), 8064.
30. Saebisafa, Bahar, Heydari, Sulaimanpour, & Negar (2020). Auditing the amount of energy loss through the external walls of the building and the effect of thermal insulation by simulation in Design Builder software (case example: office building in Tehran). Science and Engineering Elites, 169-179, 24(5). (In Persian)
31. Fathaliyan, A., & Kargar Sharif Abad. (2020). Investigating the impact of different energy optimization solutions in building energy classification using Design Builder software (case study: office building). *Environmental Science and Technology Quarterly*, 22 (7), 199-214. (In Persian)
32. Fathalian, A., & Kargarsharif, H. (2020). Investigating the effect of different energy saving strategies on energy rating of building by design builder software (case study: office building). *Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(7), 199-214.
33. Zomorodian, Gholamreza (2014). Comparing the explanatory power of parametric (econometrics) and non-parametric (Monte Carlo) models in measuring the amount of value exposed to the risk of investment companies' portfolios to determine the optimal portfolio in Iran's capital market, *Securities Financial Engineering Quarterly*, Vol. ۶, No. ۲۲, April 2014, pp. 113-147. (In Persian)
34. Ibarra, D. (2009, semptember, 30). Harvard Graduate School of Design.
35. Sahab Geographic & Drafting Institute, political and natural map of Iraq,https://sahabmap.com/product/%D9%86%D9%82%D8%B4%D9%87-%D8%B3%DB%8C%D8%A7%D8%B3%DB%8C-%D9%88-%D8%B7%D8%A8%DB%8C%D8%B9%DB%8C-%D8%B9%D8%B1%D8%A7%D9%82