DOR: 20.1001.1.24234931.1400.8.2.15.1
Archive of SID

مقاله ترویجی

سال هشتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ص ۱۳۹- ۱۴۵

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۹

# بررسی نقش بام سبز در کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی (مطالعه موردی: مدرسه ابتدایی دخترانه حق پناه در شهر اصفهان)

**محمد نیرومند[1*]، نگار فرامرزی فرد[2]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران

* Mohammad.n.architect@gmail.com

**چکیده**

یکی از دغدغه‌های جهان کنونی کاهش ذخایر انرژی‌های تجدیدناپذیر است. در فضای شهری یکی از عوامل موثر بر اینگونه انرژی‌ها، ساختمان‌های آموزشی با میزان بالای مصرف انرژی می‌باشد. سیستم بام سبز راهکاری مناسب برای کاهش میزان مصرف انرژی در این ساختمان ها است. این پژوهش با هدف بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی و با روش تحقیق توصیفی - تحلیلی، به موضوع بام سبز با حداقل بار وارد شده بر سازه بام و تاثیر آن بر میزان مصرف انرژی این ساختمان‌ها پرداخته‌است. همچنین یک نمونه مدرسه در شهر اصفهان که بام آن معمولی بوده‌است از نظر میزان مصرف انرژی توسط نرم افزار دیزاین بیلدر بررسی شده‌است و بار دیگر میزان مصرف انرژی این ساختمان با وجود سیستم بام سبز مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. نتایج نشان می‌دهد، بام سبز با پوشش گیاهی چمن که دارای عمق کم ریشه و محیط کشت نسبت به سایر گیاهان می‌باشد، باعث وارد شدن حداقل بار بر سازه بام و بهینه سازی مصرف انرژی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ساختمان آموزشی مورد مطالعه شده‌است و کل میزان مصرف انرژی این ساختمان را در مدت یک سال ۴/۸ درصد کاهش داده‌است.

**کلیدواژگان:** بام سبز، شبیه سازی مصرف انرژی، ساختمان‌های آموزشی، نرم افزار دیزاین بیلدر

# Investigating The Role of Green Roof in Reducing Energy Consumption of Educational Buildings (Case Study: Hagh Panah Primary School for Girls in Isfahan City)

**Mohammad Niroumand[1*], Negar Faramarzi Fard[2]**

1- Department of Architecture Engineering, Islamic Azad University, Borujerd, Iran

2- Department of Architecture Engineering, Islamic Azad University, Borujerd, Iran

* Mohammad.n.architect@gmail.com

Received: 8 September 2020 Accepted: 18 January 2021

**Abstract**

One of the concerns in the current world is the depletion of non-renewable energies reserves. In the urban space, the factor affecting such energies are educational buildings with high energy consumption. Green roof system is a suitable solution to improve energy consumption in these buildings. This research aims to optimize energy consumption in educational buildings and with descriptive-analytical research method, has addressed the issue of green roof system with Minimum load on the roof structure and its impact on energy consumption of these buildings. Also, a sample of primary school in Isfahan city with a simple roof was simulated in terms of energy consumption by Design builder software. After that, this primary school was simulated again with all main information about green roof system. Finally, the results show that green roof system with grass vegetation that has shallow depth of root and growing medium, has caused a minimum load on the roof structure and optimized energy consumption of cooling and heating systems of this educational building and reduced the total energy consumption of this building by 4.8% during one year.

**Keywords:** Green roof, Energy consumption simulation, Educational buildings, Design builder software



www.SID.ir

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است

Archive of SID

## ۱- مقدمه

افزایش صنعتی سازی و شهرنشینی در سال‌های اخیر به طور چشمگیری بر تعداد ساختمان‌های شهری که نقش عمده ای بر میزان مصرف انرژی دارند، اثر گذار بوده‌است [۱]. مدارس به عنوان ساختمان‌هایی با کاربری آموزشی درصدی از مصارف انرژی در بخش ساختمان‌های شهری را به خود اختصاص داده‌اند که بر همین اساس می‌توان از بام سبز[1] برای بهبود مصرف انرژی در این ساختمان‌ها استفاده‌شود. بام های سبز اثرهای قابل توجهی بر محیط زیست دارند که از میان آن‌ها می‌شود به بهینه سازی مصرف انرژی، تهویه هوا و کاهش تاثیر جزایر گرمایی شهری اشاره‌کرد. محافظت حرارتی[2] خوب ممکن است بارهای حرارتی بالا را که سازه در طول تابستان از آن رنج می‌برد را به شدت کاهش‌دهد [۲،۳].

همچنین بام سبز نیز می‌تواند در جهت محافظت حرارتی از سازه ساختمان مدرسه در فصل تابستان موثر واقع‌شود اما موضوعی که حائز اهمیت است، تاثیر مثبت این راهکار معماری بر میزان مصرف انرژی این ساختمان در تمامی فصل‌های سال می‌باشد. لذا در این تحقیق با شبیه سازی بام سبز با حداقل بار وارد شده بر سازه بام برای مدرسه ابتدایی دخترانه حق پناه در شهر اصفهان که دارای یک بام معمولی می‌باشد، میزان کاهش مصرف انرژی در این ساختمان آموزشی بررسی شده‌است.

## ۲- روش پژوهش

در این مقاله بر اساس ماهیت اصلی پژوهش که به عنوان یک مطالعه‌ی توصیفی_ تحلیلی می‌باشد، تحقیقات کتابخانه‌ای در رابطه با موضوع بام سبز با حداقل بار وارد شده بر سازه بام و نقش آن در بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های آموزشی صورت گرفته‌است. همچنین با شبیه سازی بام سبز توسط نرم افزار دیزاین بیلدر[3] برای مدرسه ابتدایی دخترانه حق پناه در شهر اصفهان، میزان مصرف انرژی این ساختمان آموزشی در حالت های بام معمولی و بام سبز مورد بررسی قرار گرفته‌است و نتایج حاصل از آن‌ها با رویکرد کمی بیان شده‌است.

## ۳- پیشینه پژوهش

مهناز محمودی زرندی و ندا پاکاری در سال ۱۳۹۲، در مقاله‌ای به طراحی جزئیات مناسب بام سبز برای کاهش مصرف انرژی ساختمان پرداختند. در این مقاله بیان شده‌است که در ساختمان‌ها معمولا اتلاف حرارت از طریق بام زیاداست و مصرف انرژی واحدهای طبقه آخر افزایش می‌یابد لذا بام سبز راه حلی برای این معضل است. بام سبز با افزایش لایه‌های بام، مانند یک عایق حرارتی عمل می‌کند و تبادل گرما بین فضای داخل و بیرون ساختمان را کنترل می‌کند به همین دلیل استفاده از آن ضروری به نظر می‌رسد [۴].

حمید ماجدی و فریال سادات سیادتی در سال ۱۳۹۴، در مقاله‌ای با عنوان توسعه‌ی بام سبز در طراحی فضاهای شهری با ارائه راهکارها و پیشنهادات، نمونه موردی: باغ مدرسه به بررسی و ارائه راهکارهای توسعه‌ی بام سبز در فضاهای شهری خاصه در باغ- مدرسه‌ها پرداختند. در این مقاله آورده شده‌است که مزیت بام سبز در طراحی باغ- مدرسه‌ها در مقایسه با بام های سنتی، ذخیره انرژی و کاهش هزینه‌های گرمایش و سرمایش بنا می‌باشد. رویش گیاه بر روی بام‌ها موجب کاهش حرارت و دمای هوای اطراف بنا در تابستان شده و به دلیل قابلیت عایق سازی لایه‌های کشت و گیاهان، از ورود گرمای بیرون به داخل بنا جلوگیری می‌کند. همین خاصیت عایق سازی بام در زمستان، باعث کاهش نیاز به انرژی گرمایی در داخل ساختمان شده و به ذخیره انرژی بنا کمک می‌کند [۵].

فاطمه صبوری مطلق و سید باقر حسینی در سال ۱۳۹۴، در مقاله‌ای با عنوان بررسی سامانه بام سبز در فضاهای آموزشی پایدار به مقوله بام سبز به عنوان یکی از راه حل‌های معماری پایدار پرداختند. در این مقاله آورده شده‌است که امروزه صاحب نظران استفاده بی رویه از منابع تجدیدناپذیر به خصوص در بخش ساختمان را باعث بروز مشکل‌های فراوانی علاوه بر مشکل‌های ناشی از تامین و انتقال انرژی می‌دانند که مهم ترین آن‌ها، بر هم زدن توازن محیط زیست و افزایش دمای زمین در پی انتشار روز افزون گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. بنابراین با توجه به رشد فضاهای آموزشی و ایجاد روش‌های نوین در این سیستم، نیاز به فضایی متناسب با تغییرهای ایجاد شده یک ضرورت است. رشد روز افزون تکنولوژی و طرح دغدغه مصرف انرژی و معماری سبز و سازگار با طبیعت موجب ایجاد رویکرد متفاوتی در معماری فضاهای آموزشی شده‌است. طراحی مدارس بر اساس معیارهای معماری پایدار و سبز به جهت صرفه جویی در انرژی و رعایت معیارهای زیست محیطی و ایجاد پایداری اجتماعی در جهت ارتقای فضای رشد دانش آموزان، به منظور پرورش نسلی برتر و آماده به ورود به دنیای تکنولوژیک می‌باشد [۶].

کاوه شکوهی دهکردی و مریم فرهادیان در سال ۱۳۹۶، در مقاله‌ای به بررسی تاثیر بار برودتی و حرارتی بام سبز مرتبط با آتریوم بر مدیریت انرژی فضاهای آموزشی اقلیم سرد پرداختند. در این مقاله بیان شده‌است که استفاده از سیستم بام سبز و آتریوم به شرط این که سیستم آتریوم دارای دریچه‌های هواکش قابل کنترل باشد، می‌تواند بر بهبود بار حرارتی و بار برودتی فضاهای آموزشی در شهر کرد به عنوان یک اقلیم سرد بیافزاید به نحوی که چنان چه دریچه‌های آتریوم در فصول سرد مانند زمستان در این شهر بسته باشد، بام‌های سبز مانند یک پوسته عایق عمل نموده و شدت انتقال حرارت از بام‌ها را کاهش می‌دهد و گرمای محیط که حاصل از تابش خورشید به فضای آتریوم است، درون فضای آموزشی محبوس می‌شود و این گرما میزان استفاده از سوخت های فسیلی را در این فصول کم می‌نماید که این گرمای محبوس شده در فضا باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود. همچنین از نظر بار برودتی چنان چه دریچه‌های آتریوم در فصول گرم مانند تابستان در این شهر باز باشد، بام‌های سبز مانند یک خنک کننده هوا عمل نموده و باعث ایجاد برودت حرارتی و خنکی در فضای داخل می‌شود به نحوی که هوای گرم ساختمان به سمت سقف حرکت نموده و از دریچه‌های تهویه آتریوم خارج شده و هوای بیرون که در مجاورت بام سبز تعدیل دما پیدا نموده‌است، از جبهه دیگر فضا وارد فضای آموزشی خواهدشد [۷].

## ۴- بام سبز و مزایای آن

بام سبز یکی از رویکردهای نوین معماری با مفهوم توسعه پایدار می‌باشد که با ایجاد پوشش گیاهی سازگار با شرایط محیطی به صورت لایه‌های مختلف در یک سیستم بر روی بام ساختمان‌ها، باعث به وجود آمدن مزایای زیست محیطی و اقتصادی قابل توجهی در فضای شهری می‌شود و در جدول ۱ قابل مشاهده است.

1. Green roof
2. Thermal protection
3. Design builder software


www.SID.ir

Archive of SID

**جدول ۱** مزایای ایجاد شده توسط بام سبز

| مزایای زیست محیطی | مزایای اقتصادی |
|---|---|
| بهبود شرایط ریز اقلیم‌ها | افزایش طول عمر بام ساختمان‌ها |
| کاهش آلودگی هوا | افزایش ارزش ملک |
| کاهش تاثیر جزایر گرمایی شهری | کاهش هزینه های ناشی از مصرف انرژی |
| کاهش آلودگی صوتی | |
| ایجاد تنوع زیستی | |
| بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها | |
| کاهش میزان رواناب سطحی | |

## ۵- انواع بام سبز

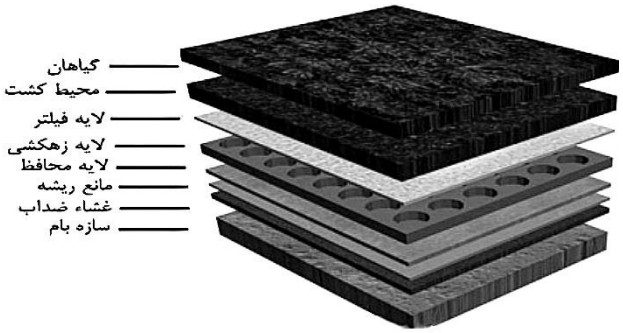
بام سبز بر اساس نوع پوشش گیاهی، عمق محیط کشت و روش اعمال آن بر روی بام ساختمان‌ها به سه دسته اصلی با سیستم‌های اجرایی متمرکز، گسترده و مدولار تقسیم می‌شود. بام‌های سبز متمرکز[1] نیاز به نگهداری فراوان دارند و به گونه ای طراحی شده‌اند که مشابه با محوطه سازی سطح طبیعی زمین می‌باشند. معمولا در آن‌ها از گونه‌های متنوع گیاهی استفاده می‌شود که ممکن است شامل درختان و درختچه‌ها باشد و بدین ترتیب محیط کشت عمیق‌تری (معمولا بیشتر از ۱۵.۲ سانتی متر) نسبت به بام های گسترده نیاز می‌باشد. به این دلیل که آن‌ها غالبا مناطقی مانند پارک با قابلیت دسترسی عمومی می‌باشند، به طور کلی به سقف‌های مسطح محدود شده‌اند.

در مقابل، بام‌های سبز گسترده[2] نیاز کمی به نگهداری دارند؛ معمولا غیر قابل دسترس برای عموم می‌باشند و حتی ممکن است قابل رویت نباشند. به دلیل عمق کم محیط کشت (کمتر از ۱۵.۲ سانتی متر)، گونه‌های گیاهی به علف‌ها، چمن‌ها، خزه‌ها و گیاهان آبدار مقاوم در برابر خشکسالی همچون سدوم محدود می‌شوند. علاوه بر این، بام‌های سبز گسترده می‌توانند بر روی سطح‌های شیب‌دار نیز ساخته‌شوند [۸،۹].

بام سبز مدولار[3]، سیستمی برای پوشش بام توسط گیاهان است که شامل مدول‌هایی مانند: سینی‌ها، جعبه‌ها و بلوک‌ها می‌باشد. این موارد باعث فراهم آوردن سازه بام برای محل کشت و گیاهان این نوع بام سبز می‌شود و ممکن است به روشی مانند شبکه مرتب شوند [۱۰،۱۱].

## ۶- بررسی اجزای تشکیل دهنده بام سبز

بام سبز به طور کلی از اجزایی همچون: پوشش گیاهی، محیط کشت، لایه فیلتر، لایه زهکشی، لایه محافظ، مانع ریشه و غشاء ضد آب، بر روی سازه بام تشکیل شده‌است (شکل ۱). هر یک از این اجزا دارای عملکرد خاصی می‌باشند و می‌توانند با مصالح و طراحی‌های مختلف در کنار یکدیگر سیستم یکپارچه و کارآمد بام سبز را تشکیل دهند.




**شکل ۱** اجزای تشکیل دهنده بام سبز [۴]

پوشش گیاهی[4] یکی از مهم ترین اجزای بام سبز می‌باشد که با محیط بیرون در ارتباط است. یک سیستم بام سبز موفق به انتخاب دقیق گیاه نیاز دارد و همچنین فرایند انتخاب گیاه در این سیستم بر اساس ساختار ساختمان، ارزش‌های زیبایی شناختی، وضعیت ریز اقلیم و شرایط محیط کشت صورت می‌گیرد [۱۲]. محیط کشت[5] در عین حال که خواص فیزیکی و شیمیایی برای رشد گیاه فراهم می‌کند، باید به مقدار کافی مواد مغذی و ظرفیت نگهداری آب برای حمایت از گیاهان بام سبز را داشته باشد. ترکیب بستر رشد با توجه به گونه‌های گیاهی در نظر گرفته می‌شود و بر حسب شرایط آب و هوای منطقه می‌تواند متفاوت باشد. اصولا بستر دارای ۸۰٪ مواد معدنی سبک و ۲۰٪ مواد آلی و حدودا ۳۰٪ ظرفیت نگهداری آب می‌باشد. همچنین استفاده از سنگ پامیس در ترکیب بستر رشد نیز در جذب دی اکسید کربن موثر می‌باشد. لایه فیلتر[6] برای ممانعت از ورود املاح و مواد محیط کشت به لایه زهکشی می‌باشد. این لایه با حفظ رطوبت برای محیط کشت، جریان آب عبور کرده از آن را تصفیه می‌کند و در بهبود کیفیت آب خروجی از بام و حفظ آب نقش مهمی دارد. این لایه که می‌تواند مانع نفوذ ریشه شود، معمولا از الیاف پارچه ای ژئوتکستایل است و حتی می‌تواند از شن و ماسه نیز باشد که در این حالت با لایه زهکشی از مصالح دانه ای ترکیب می‌شود [۴،۱۳].

لایه زهکشی[7] نقش مهمی در توسعه صحیح بام سبز دارد. این لایه با تخلیه آب مازاد محیط کشت، باعث تهویه ریشه‌های پوشش گیاهی و کاهش بار وارد شده بر سازه ساختمان می‌شود. لایه زهکشی از غشاء ضد آب محافظت می‌کند و عملکرد حرارتی را افزایش می‌دهد. یکی از راهکارهای محافظت از مانع ریشه و غشا ضد آب در برابر فشار های وارد شده از لایه‌های فوقانی، فراهم آوردن لایه محافظ[8] بر روی آن‌ها در سیستم بام سبز می‌باشد. ژئوتکستایل و یا پلی استایرن، با حداقل ضخامت ۳ میلی متر و مقاوم در برابر فشاری بیش از ۱۵۰ کیلو پاسکال از جمله موادی هستند که می‌توان در لایه محافظ از آن‌ها استفاده کرد. همچنین بعضی از مواد استفاده شده برای این لایه باعث ذخیره آب در دوره‌های خشکسالی نیز می‌شود. در سیستم بام سبز، مانع ریشه[9] از غشاء ضد آب و ساختار سقف در مقابل نفوذ و آسیب‌های ریشه های گیاهی محافظت می‌کند؛ این موضوع سبب جلوگیری از ورود آب به درون ساختمان هم می‌شود [۱۴]. غشاء ضد آب[10] وظیفه جلوگیری از نفوذ آب به درون ساختمان را بر عهده دارد. بهتر است مصالحی که برای غشاء ضد آب استفاده می‌شود، در برابر فشارهای هیدرو استاتیکی مقاومت و دوام بسیار زیادی داشته باشد. این مصالح

1. Intensive green roofs
2. Extensive green roofs
3. Modular green roof
4. Vegetation
5. Growing medium
6. Filter layer
7. Drainage layer
8. Protection layer
9. Root barrier
10. waterproof membrane

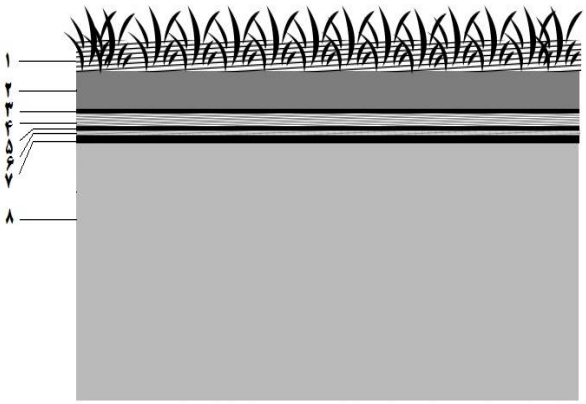

www.SID.ir

Archive of SID

شامل قیر اصلاح شده، آسفالت، ترمو پلاستیک پلی وینیل کلراید و موارد مشابه دیگر می‌باشد [۴].

### ۷- جزئیات اجرایی بام سبز

در این پژوهش جزئیات مناسبی برای سیستم بام سبز جهت کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان آموزشی مورد مطالعه و بار وارد شده بر سازه بام از طرف این سیستم تعریف شده است (شکل ۲).




۱.پوشش گیاهی(چمن) ۲.محیط کشت(شن و ماسه)_۴۰میلیمتر ۳.لایه فیلتر(ژئوتکستایل)_۳میلیمتر
۴.لایه زهکشی(پلی پروپیلن)_۲۰میلیمتر ۵.لایه محافظ(ژئوتکستایل)_۳میلیمتر
۶.مانع ریشه(پلی اتیلن تراکم بالا-ذرات پلاستیک)_۳میلیمتر
۷.غشاء ضد آب(ترکیب لایه پلی استر با الیاف شیشه و قیر-ایزوگام)_۴میلیمتر
۸.سازه بام بتنی_۳۰۰میلیمتر

**شکل ۲** جزئیات اجرایی بام سبز

پوشش گیاهی اولین لایه سیستم بام سبز است که شامل انواع مختلف درختان، درختچه‌ها، بوته‌ها، چمن‌ها، سدوم‌ها و خزه ها می‌باشد. این لایه خارجی با توجه به نوع گیاهان و عمق ریشه آن‌ها، عمق محیط کشت را تعیین می‌کند. در این پژوهش، چمن به عنوان پوشش گیاهی انتخاب شده‌است زیرا انواع مختلف چمن ها دارای عمق ریشه کم می‌باشند که این موضوع باعث کاهش یافتن عمق محیط کشت و همچنین وزن سیستم بام سبز می‌شود. این سیستم به دلیل داشتن نوع خاص پوشش گیاهی، حداقل بار نهایی که حدود ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد را بر سازه بام وارد می‌کند.

محیط کشت به عنوان دومین لایه سیستم بام سبز از مواد معدنی مانند شن و ماسه تشکیل شده‌است. ضخامت این لایه با توجه به نوع پوشش گیاهی متغیر است اما در اینجا ۴۰ میلیمتر در نظر گرفته شده‌است که حداقل میزان می‌باشد زیرا عمق ریشه چمن به ضخامتی بیشتر از این نیاز ندارد.

سومین لایه در سیستم بام سبز که از ورود مواد محیط کشت به لایه زهکشی جلوگیری می‌کند، لایه فیلتر است. جنس این لایه از بافت پارچه ای ژئوتکستایل می‌باشد و ضخامت آن ۳ میلیمتر است.

لایه زهکشی آب اضافی جذب شده در سیستم را به شبکه فاضلاب ساختمان انتقال می‌دهد. جنس این لایه از پلی پروپیلن است و درون آن به شکل کاسه های مخروطی می‌باشد. ضخامت این لایه در سیستم بام سبز ۲۰ میلیمتر است.

لایه محافظ در این سیستم دارای ضخامت ۳ میلیمتری است و جنس آن نیز از بافت پارچه ای ژئوتکستایل می‌باشد زیرا این لایه باید در برابر رطوبت مقاوم باشد. مانع ریشه در بام سبز از پلی اتیلن با تراکم بالا (ذرات پلاستیک) تشکیل شده‌است و دارای ضخامت حداقلی ۳ میلیمتر می‌باشد. در این لایه از عوامل مختلفی همچون نفوذ ریشه ها به غشاء سازه بام جلوگیری می‌شود.

غشاء ضد آب هفتمین لایه در سیستم بام سبز می‌باشد که مواد تشکیل دهنده آن مانع نفوذ آب به سازه بام ساختمان می‌شود. ضخامت این لایه ۴ میلیمتر است و جنس آن معمولا ترکیبی از لایه پلی استر،الیاف شیشه و قیر می‌باشد؛ همچنین از ایزوگام به عنوان غشاء ضد آب استفاده می‌شود [۱۵].

### ۸- تاثیر بام سبز بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی

بام سبز میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی را برای گرمایش و سرمایش کاهش می‌دهد. همچنین کاهش میزان مصرف انرژی در این ساختمان‌ها با کنترل و کاهش انتقال حرارت[1] از طریق ذخیره انرژی صورت می‌گیرد. با توجه به این که انتقال حرارت همواره از فضاهایی با دمای بیشتر به فضاهایی با دمای کمتر صورت می‌گیرد بنابراین در ساختمان‌های آموزشی انتقال حرارت از طریق بام ها در زمستان از داخل به خارج و در تابستان از خارج به داخل انجام می‌شود. بام سبز ظرفیت گرمایی لایه‌های سقف را افزایش می‌دهد و به عنوان یک عایق حرارتی[2] برای بام ساختمان عمل می‌کند. همچنین پوشش گیاهی در سیستم بام سبز با تبخیر و تعرق، حفظ رطوبت و سایه اندازی بر روی بام می‌تواند انتقال حرارت از طریق بام ساختمان را در طول تابستان کاهش‌دهد [۱۶،۱۷].

در زمستان نیز بام سبز کارکرد حرارتی مثبت خود را ایفا می‌کند. گیاهان پیوسته مقداری هوا لا به لای ریشه‌های خود نگه می‌دارند که به صورت یک لایه عایق حرارتی عمل می‌کند. البته کارایی این لایه عایق حرارتی در بام سبز به میزان رطوبتی وابسته است که در خود نگه می‌دارد [۱۸،۱۹].

### ۹- معرفی ویژگی‌های ساختمان مورد مطالعه

مدرسه ابتدایی دخترانه حق پناه به عنوان ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش، سال ۱۳۹۱ در اقلیم معتدل و خشک شهر اصفهان ساخته شده‌است (شکل ۳). مساحت زمین این مدرسه ۳۰۰۰ متر مربع است که ۱۷۰۰ متر مربع آن مساحت زیر بنا می‌باشد. سازماندهی کالبدی- فضایی در این ساختمان آموزشی به گونه ای می‌باشد که کودکان می‌توانند فرم و فضا را درک کنند. همچنین سازماندهی حرکتی در این ساختمان، سلسله مراتبی در حرکت کودک از فضای کلاس تا خیابان به وجود می‌آورد و از هرگونه پیچیدگی در ارتباطات جلوگیری می‌کند. ساختمان مورد مطالعه دو طبقه طراحی شده‌است و شامل دوازده کلاس درس، سه اتاق امور اداری، اتاق بهداشت، آزمایشگاه، اتاق بایگانی، کتابخانه، سایت، نمازخانه، اتاق سرایداری، انباری، موتورخانه، سالن همایش، سرویس بهداشتی و آب خوری می‌باشد. این ساختمان آموزشی دارای سیستم‌های سرمایشی همچون اسپلیت‌ها برای بخش اداری و کولرهای آبی برای سایر بخش‌ها می‌باشد؛ لازم به ذکر است که سیستم گرمایشی استفاده شده در تمامی بخش‌های ساختمان به صورت رادیاتوری در نظر گرفته شده‌است.

1. The heat transfer

2. Thermal insulation


www.SID.ir

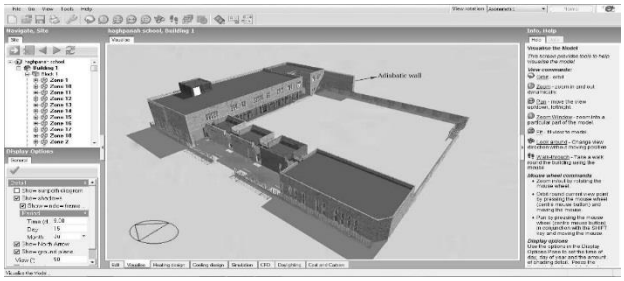
Archive of SID

**شکل ۳** مدرسه ابتدایی دخترانه حق پناه و سایت پلان آن

## ۱۰- میزان مصرف انرژی در ساختمان آموزشی مورد مطالعه

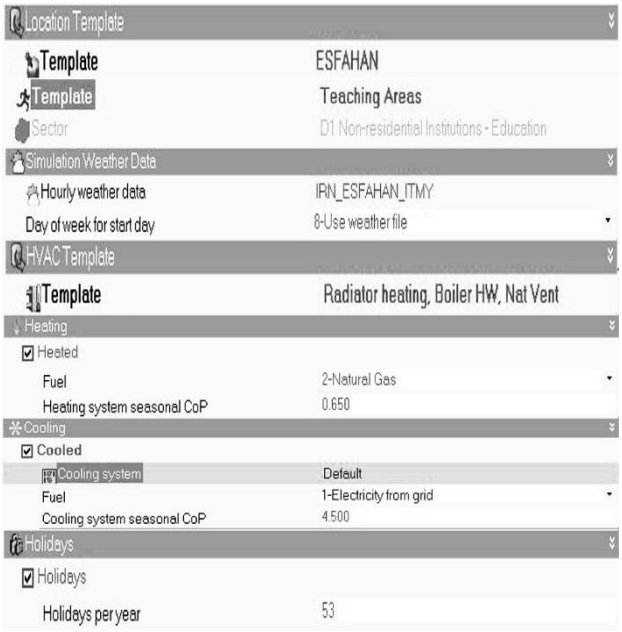
### ۱۰-۱- در حالت بام معمولی

مدرسه ابتدایی دخترانه حق پناه در شهر اصفهان به عنوان ساختمان آموزشی مورد مطالعه توسط نرم افزار دیزاین بیلدر با تمام جزییات شبیه سازی شده‌است (شکل ۴).



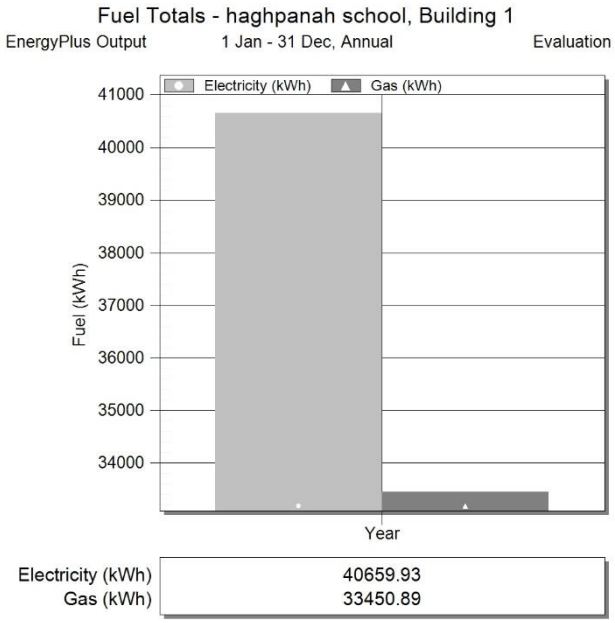

**شکل ۴** شبیه سازی ساختمان آموزشی مورد مطالعه

در این شبیه سازی همه دانسته‌های مربوط به اقلیم، مصالح، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ، نورپردازی، کاربری فضاها، ساعت‌های کاری و روزهای تعطیل به کار گرفته شده‌است (شکل۵) و همچنین فرض بر این بوده‌است که ساختمان آموزشی مورد مطالعه در تمام فصل‌های سال مورد استفاده کاربران قرار گرفته‌است.




**شکل ۵** جزییات مهم محاسباتی در شبیه سازی توسط نرم افزار

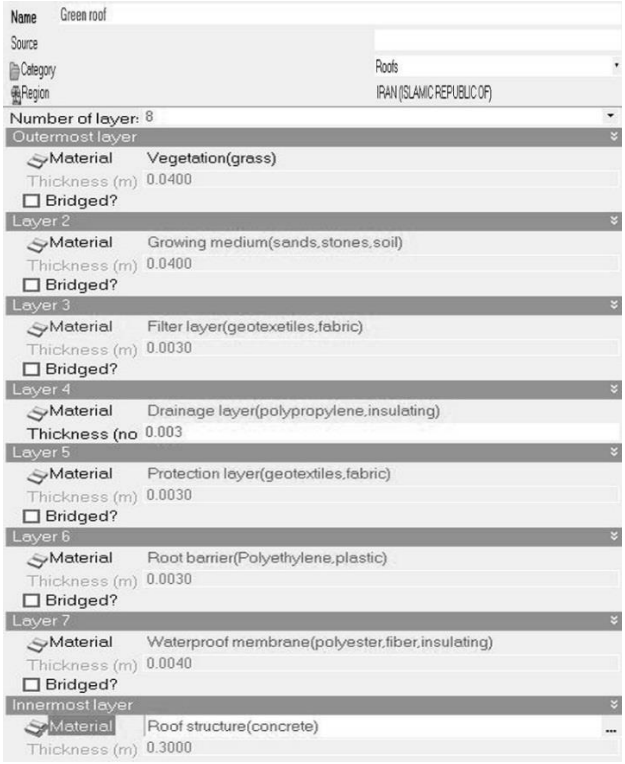
نخست، میزان مصرف انرژی این ساختمان آموزشی با داشتن بام معمولی و در طول یک سال توسط نرم افزار بررسی شده‌است که نتایج نشان می‌دهد، میزان مصرف انرژی الکتریکی ۴۰۶۵۹/۹۳ کیلو وات ساعت و گاز ۳۳۴۵۰/۸۹ کیلو وات ساعت می‌باشد (شکل۶).




**شکل ۶** میزان مصرف انرژی‌های الکتریکی و گاز ساختمان آموزشی مورد مطالعه در حالت بام معمولی

### ۱۰-۲- در حالت بام سبز

ساختمان آموزشی مورد مطالعه بار دیگر با وجود بام سبز و تمام جزئیات محاسباتی آن شبیه سازی گردید (شکل۷).

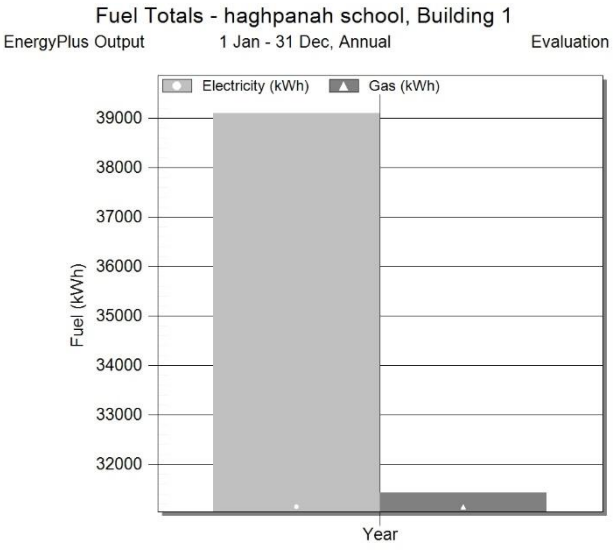



**شکل ۷** جزئیات محاسباتی بام سبز در نرم افزار


www.SID.ir

Archive of SID

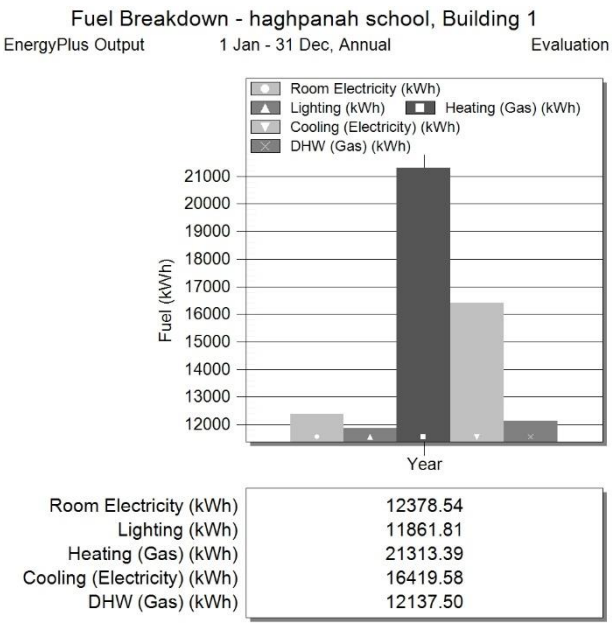
در این حالت میزان مصرف انرژی الکتریکی[1] ۳۹۱۰۰/۳۷ کیلو وات ساعت و گاز ۳۱۴۲۳/۷۱ کیلو وات ساعت می‌باشد که نشان دهنده کاهش میزان مصرف انرژی این ساختمان آموزشی نسبت به حالت بام معمولی است (شکل۸). همچنین بام سبز تنها باعث بهینه سازی مصرف انرژی حاصل از سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی در ساختمان آموزشی مورد مطالعه شده‌است.



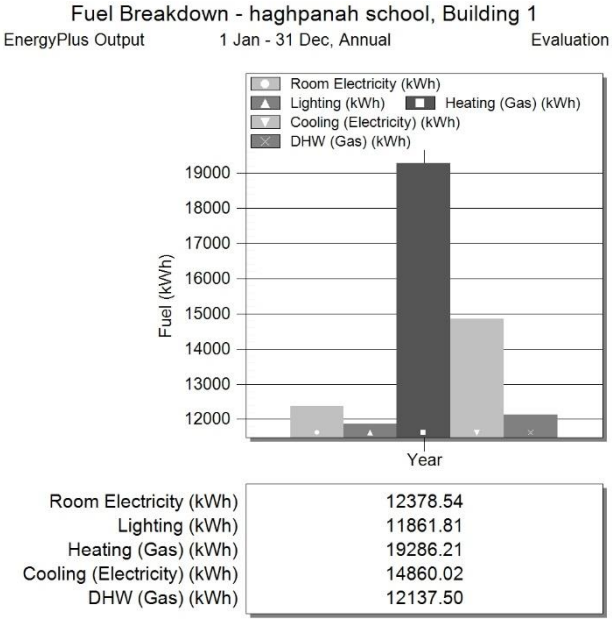

**شکل ۸** میزان مصرف انرژی‌های الکتریکی و گاز ساختمان آموزشی مورد مطالعه در حالت بام سبز

## ۱۱- نتیجه گیری

بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش نشان دهنده آن است که سیستم بام سبز اعمال‌شده بر بام ساختمان آموزشی مورد مطالعه کمترین بار را بر سازه بام وارد می‌کند زیرا چمن نسبت به سایر پوشش‌های گیاهی دارای عمق ریشه و محیط کشت کمتری می‌باشد. محیط کشت کم عمق، وزن کمتری دارد و حداقل بار نهایی که ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد را بر سازه بام وارد می‌کند. همچنین نتایج حاصل از نرم افزار نشان می‌دهد، ساختمان آموزشی شبیه سازی شده در حالت بام معمولی دارای میزان مصرف انرژی الکتریکی۴۰۶۵۹/۹۳ کیلو وات ساعت و گاز ۳۳۴۵۰/۸۹ کیلو وات ساعت بوده‌است که بعد از اعمال بام سبز، میزان مصرف انرژی الکتریکی و گاز به مقادیر ۳۹۱۰۰/۳۷ و ۳۱۴۲۳/۷۱ کیلو وات ساعت کاهش یافته‌است و علت اصلی این امر کاهش میزان مصرف انرژی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی توسط بام سبز بوده‌است. در حالت بام ساده میزان مصرف انرژی سیستم‌های سرمایشی ۱۶۴۱۹/۵۸ کیلو وات ساعت و گرمایشی ۲۱۳۱۳/۳۹ کیلو وات ساعت بوده‌است (شکل۹) که سیستم بام سبز این مقادیر میزان مصرف انرژی را به ۱۴۸۶۰/۰۲و ۱۹۲۸۶/۲۱ کیلو وات ساعت تغییر داده‌است (شکل۱۰).




**شکل ۹** میزان مصرف انرژی سیستم های سرمایشی و گرمایشی در حالت بام معمولی




**شکل ۱۰** میزان مصرف انرژی سیستم های سرمایشی و گرمایشی در حالت بام سبز

بر این اساس کل میزان مصرف انرژی ساختمان آموزشی مورد مطالعه که شامل انرژی‌های الکتریکی و گاز می‌باشد در حالت بام معمولی ۷۴۱۱۰/۸۲ کیلو وات ساعت بوده‌است که بعد از اعمال سیستم بام سبز به ۷۰۵۲۴/۰۸ کیلو وات ساعت کاهش یافته‌است؛ پس می‌توان از این تحقیق نتیجه گرفت که بام سبز با حداقل بار وارد شده بر سازه بام که پوشش گیاهی چمن علت آن بوده‌است، میزان مصرف انرژی ساختمان آموزشی مورد مطالعه را ۴/۸ درصد در طول یک سال کاهش داده‌است و در بهبود میزان مصرف انرژی موثر واقع شده‌است.

1. Electrical energy



www.SID.ir

Archive of SID

## ۱۲- مراجع


[1] M. Santamouris, *Energy and Climate in the Urban Built Environment,* London: James& James, 2001.

[2] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M, Santamouris, A.Tsangrassoulis, G. Mihalakakou, Analysis of the Green Roof Thermal Properties and Investigation of Its Energy Performance, *Energy and Buildings*, Vol. 33, No. 7, pp. 719-729, 2001.

[3] Y. He, H. Yu, P. Chen, M. Zhao, Thermal Performance Evaluation of a New Type of Green Roof System, *Energy Procedia*, Vol. 152, pp. 384-389, 2018.

[4] M. Mahmoudi, N. Pakari, Extracting Optimized Detail of Green Roof for Decreasing Building Energy Consumption, *Armanshahr Journal*, Vol. 6, No. 11, 2013. (in persian)

[5] H. Majedi, F. Siyadati, Green Roof Development in Sustainable Urban Design Solutions and Suggestions, Case Study: Garden-School, *Urban Management Journal*, Vol. 14, No. 38, 2015. (in persian)

[6] F. Sabouri, B. Hosseini, Investigation of Green Roof System in Sustainable Educational Spaces, *International Conference on New Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*, 2015. (in persian)

[7] K. Shokoohi, M. Farhadian, Investigating the effect of Atrium-related Green Roof Cooling and Heating loads on Energy Management in Pedagogical Spaces in Cold Climate, *Environmental Science and Technology Journal*, Vol. 19, No. 5, 2017. (in persian)

[8] K. Getter, B. Rowe, The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development, *Hortscience*, Vol. 41, No. 5, pp. 1276-1285, 2006.

[9] K. Yeung, W. Li, A Comprehensive Study of Green Roof Performance from Environmental Perspective, *Sustainable Built Environment*, Vol. 3, No. 1, pp. 127-134, 2014.

[10] E. Korol, N. Shushunova, Benefits of A Modular Green Roof Technology, *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium*, Prague, Czech Republic, 2016.

[11] B. Dvorak, A. Volder, Rooftop Temperature Reduction from Unirrigated Modular Green Roofs in South Central Texas, *Urban Foresty& Urban Greening*, Vol. 12, No. 1, pp. 28-35, 2013.

[12] A. Arabi, M. F. Shahidan, M. K. Mohd, M. Fakri, M. Rakhshandehroo, Considerations for Plant Selection in Green Roofs, *Alam cipta*, Vol. 8, No. 3, pp. 10-17, 2015.

[13] M. Rasul, L. Arutla, Environmental Impact Assessment of Green Roofs Using Life Cycle Assessment, *Energy Reports*, Vol. 6, No. 1, pp. 503-508, 2020.

[14] S. Cascone, Green Roof Design: State of the Art on Thechnology and Materials, *Sustainability*, Vol. 11, No. 11, pp. 1-27, 2019.

[15] M. Razavian, A. Qafurypur, M. Razavian, Green Roofs, *Environmental Based Territorial Planning*, Vol. 3, No. 10, 2011. (in persian)

[16] E. Oberndorfer, J. Lundholm, B. Bass, et al., Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, *Bioscience*, Vol. 57, No. 10, pp. 823-833, 2007.

[17] Z. Tian, Y. Lei, X. Gu, Building Energy Impacts of Simple Green Roofs in the Hot Summer and Cold Winter Climate Zone: Suzhou As A Study Case, *Procedia Engineering*, Vol. 205, pp. 2918-2924, 2017.

[18] M. Mahmoudi, N. Pakari, H. Bahrami, The Effect of Green roof on reducing environment temperature, *Baghe Nazar Journal*, Vol. 9, No. 20, 2013. (in persian)

[19] M. Zhao, J. Srebric, Assessment of Green Roof Performance for Sustainable Buildings Under Winter Weather Conditions, *Journal Of Central South University of Technology,* Vol. 19, No. 3, pp. 639-644, 2012.



www.SID.ir