



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

محمد نیرومند<sup>۱\*</sup>، نگار فرامرزی فرد<sup>۲</sup>

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 ساختمان‌ها 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.

**کلیدواژه‌گان:** 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<sup>1\*</sup>, Negar Faramarzi Fard<sup>2</sup>

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



## ۱- مقدمه

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 [۱۵].

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 شده است 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 شده است. 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 [۱۶].

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 شده است 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 نموده است، از جبهه دیگر فضا وارد فضای آموزشی خواهد شد [۱۷].

## 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.

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 بوده است [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<sup>۱</sup> برای بهبود مصرف انرژی در این ساختمان‌ها استفاده شود. 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 اشاره کرد. محافظت حرارتی<sup>۲</sup> خوب ممکن است بارهای حرارتی بالا را که سازه در طول تابستان از آن رنج می‌برد را به شدت کاهش دهد [۲،۳].

همچنین بام سبز نیز می‌تواند در جهت محافظت حرارتی از سازه ساختمان مدرسه در فصل تابستان موثر واقع شود 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 شده است.

## 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 گرفته است. همچنین با شبیه سازی بام سبز توسط نرم افزار دیزاین بیلدر<sup>۳</sup> 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 گرفته است و نتایج حاصل از آن‌ها با رویکرد کمی بیان شده است.

## ۳- پیشینه پژوهش

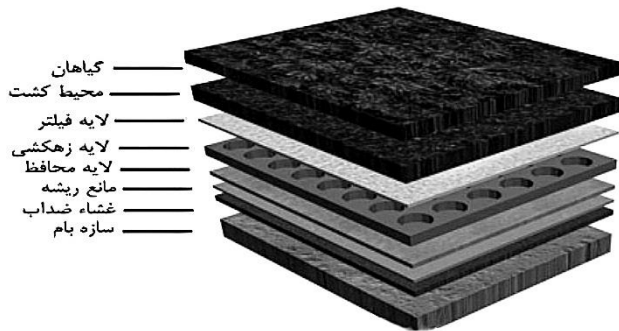
مهناز محمودی زرنندی و ندا پاکاری در سال ۱۳۹۲، در مقاله‌ای به طراحی جزئیات مناسب بام سبز برای کاهش مصرف انرژی ساختمان پرداختند. در این مقاله بیان شده است که در ساختمان‌ها معمولا ائتلاف حرارت از طریق بام زیاد است و مصرف انرژی واحدهای طبقه آخر افزایش می‌یابد لذا بام سبز راه حلی برای این معضل است. بام سبز 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 ساداتی 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 شده است 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



3. Design builder software

1. Green roof  
2. Thermal protection



شکل ۱ اجزای تشکیل دهنده بام سبز [۴]

پوشش گیاهی<sup>۴</sup> یکی از مهم ترین اجزای بام سبز می باشد 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، ارزش های زیبایی شناختی، وضعیت ریز اقلیم و شرایط محیط کشت صورت می گیرد [۱۲]. محیط کشت<sup>۵</sup> در عین حال که خواص فیزیکی و شیمیایی برای رشد گیاه فراهم می کند، 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 گونه های گیاهی در نظر گرفته می شود و بر حسب شرایط آب و هوای منطقه می تواند متفاوت باشد. اصولاً بستر دارای ۸۰٪ مواد معدنی سبک و ۲۰٪ مواد آلی و حدوداً ۳۰٪ ظرفیت نگهداری آب می باشد. همچنین استفاده از سنگ پامیس در ترکیب بستر رشد نیز در جذب دی اکسید کربن موثر می باشد. لایه فیلتر<sup>۶</sup> برای ممانعت از ورود املاح و مواد محیط کشت به لایه زهکشی می باشد. این لایه با حفظ رطوبت برای محیط کشت، جریان آب عبور کرده از آن را تصفیه می کند و در بهبود کیفیت آب خروجی از بام و حفظ آب نقش مهمی دارد. این لایه که می تواند مانع نفوذ ریشه شود، معمولاً از الیاف پارچه ای ژئوتکستایل است و حتی می تواند از شن و ماسه نیز باشد که در این حالت با لایه زهکشی از مصالح دانه ای ترکیب می شود [۴، ۱۳].

لایه زهکشی<sup>۷</sup> نقش مهمی در توسعه صحیح بام سبز دارد. این لایه با تخلیه آب مازاد محیط کشت، باعث تهویه ریشه های پوشش گیاهی و کاهش بار وارد شده بر سازه ساختمان می شود. لایه زهکشی از غشاء ضد آب محافظت می کند و عملکرد حرارتی را افزایش می دهد. یکی از راهکارهای محافظت از مانع ریشه و غشا ضد آب در برابر فشار های وارد شده از لایه های فوقانی، فراهم آوردن لایه محافظ<sup>۸</sup> بر روی آن ها در سیستم بام سبز می باشد. 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 می توان در لایه محافظ از آن ها استفاده کرد. همچنین بعضی از مواد استفاده شده برای این لایه باعث ذخیره آب در دوره های خشکسالی نیز می شود. در سیستم بام سبز، مانع ریشه<sup>۹</sup> از غشاء ضد آب و ساختار سقف در مقابل نفوذ و آسیب های ریشه های گیاهی محافظت می کند؛ این موضوع سبب جلوگیری از ورود آب به درون ساختمان هم می شود [۱۴]. غشاء ضد آب<sup>۱۰</sup> وظیفه جلوگیری از نفوذ آب به درون ساختمان را بر عهده دارد. بهتر است مصالحی که برای غشاء ضد آب استفاده می شود، در برابر فشارهای هیدرو استاتیکی مقاومت و دوام بسیار زیادی داشته باشد. این مصالح

6. Filter layer  
7. Drainage layer  
8. Protection layer  
9. Root barrier  
10. waterproof membrane

جدول ۱ مزایای ایجاد شده توسط بام سبز	
مزایای زیست محیطی	مزایای اقتصادی
بهبود شرایط ریز اقلیم ها	افزایش طول عمر بام
کاهش آلودگی هوا	ساختمان ها
کاهش تاثیر جزایر گرمایی شهری	افزایش ارزش ملک
کاهش آلودگی صوتی	کاهش هزینه های ناشی از مصرف انرژی
ایجاد تنوع زیستی	
بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ها	
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 ساختمان ها به سه دسته اصلی با سیستم های اجرایی متمرکز، گسترده و مدولار تقسیم می شود. بام های سبز متمرکز<sup>۱</sup> نیاز به نگهداری فراوان دارند و به گونه ای طراحی شده اند که مشابه با محوطه سازی سطح طبیعی زمین می باشند. معمولاً در آن ها از گونه های متنوع گیاهی استفاده می شود که ممکن است شامل درختان و درختچه ها باشد و بدین ترتیب محیط کشت عمیق تری (معمولاً بیشتر از ۱۵.۲ سانتی متر) نسبت به بام های گسترده نیاز می باشد. به این دلیل که آن ها غالباً مناطقی مانند پارک با قابلیت دسترسی عمومی می باشند، به طور کلی به سقف های مسطح محدود شده اند.

در مقابل، بام های سبز گسترده<sup>۲</sup> نیاز کمی به نگهداری دارند؛ معمولاً غیر قابل دسترس برای عموم می باشند و حتی ممکن است قابل رویت نباشند. به دلیل عمق کم محیط کشت (کمتر از ۱۵.۲ سانتی متر)، گونه های گیاهی به علف ها، چمن ها، خزه ها و گیاهان آبدار مقاوم در برابر خشکسالی همچون سدوم محدود می شوند. علاوه بر این، بام های سبز گسترده می توانند بر روی سطح های شیب دار نیز ساخته شوند [۸، ۹].

بام سبز مدولار<sup>۳</sup>، سیستمی برای پوشش بام توسط گیاهان است که شامل مدول هایی مانند: سینی ها، جعبه ها و بلوک ها می باشد. این موارد باعث فراهم آوردن سازه بام برای محل کشت و گیاهان این نوع بام سبز می شود 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 شده است (شکل ۱). هر یک از این اجزا دارای عملکرد خاصی می باشند و می توانند با مصالح و طراحی های مختلف در کنار یکدیگر سیستم یکپارچه و کارآمد بام سبز را تشکیل دهند.

1. Intensive green roofs  
2. Extensive green roofs  
3. Modular green roof  
4. Vegetation  
5. Growing medium



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 ریشه‌ها 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 معمولاً 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<sup>۱</sup> 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 بام‌ها 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<sup>۲</sup> 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 کاهش دهد [۱۶، ۱۷].

در زمستان نیز بام سبز کارکرد حرارتی مثبت خود را ایفا می‌کند. گیاهان پیوسته مقداری هوا را 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].

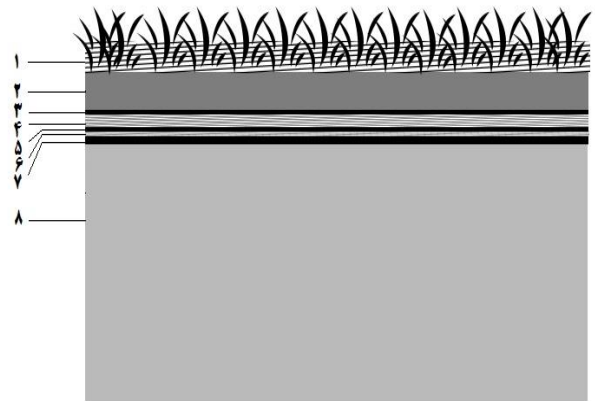
#### ۹- معرفی ویژگی‌های ساختمان مورد مطالعه

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.

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) ۳. ۴۰ میلیمتر ۰.۳ لایه فیلتر (ژئوتکستایل) ۳ میلیمتر  
۴. لایه زهکشی (پلی پروپیلن) ۲۰ میلیمتر ۵. لایه محافظ (ژئوتکستایل) ۳ میلیمتر  
۶. مانع ریشه (پلی اتیلن تراکم بالا- ذرات پلاستیک) ۳ میلیمتر  
۷. غشاء ضد آب (ترکیب لایه پلی استر با الیاف شیشه و قیر- ایزوگام) ۴ میلیمتر  
۸. سازه بام بتنی ۳۰۰ میلیمتر

شکل ۲ جزئیات اجرایی بام سبز

پوشش گیاهی اولین لایه سیستم بام سبز است که شامل انواع مختلف درختان، درختچه‌ها، بوته‌ها، چمن‌ها، سدوم‌ها و خزها 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 چمن‌ها 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 ضخامت 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.

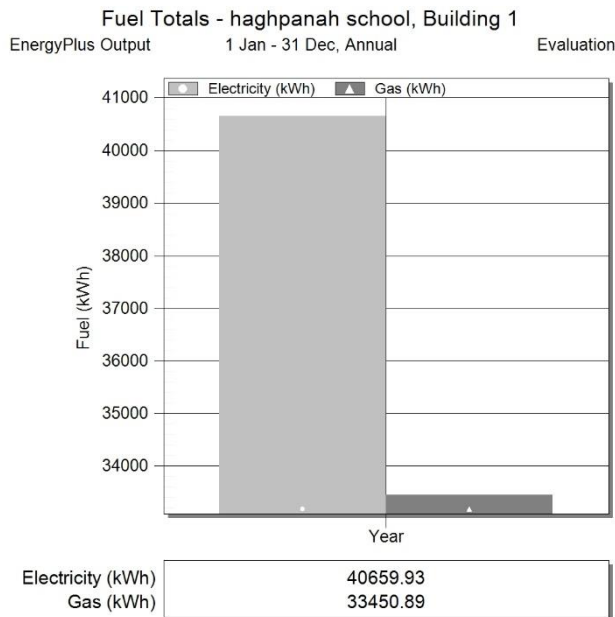


2. Thermal insulation

1. The heat transfer



نخست، میزان مصرف انرژی این ساختمان آموزشی با داشتن بام معمولی و در طول یک سال توسط نرم افزار بررسی شده است که نتایج نشان می دهد، میزان مصرف انرژی الکتریکی ۴۰۶۵۹/۹۳ کیلو وات ساعت و گاز ۳۳۴۵۰/۸۹ کیلو وات ساعت می باشد (شکل ۶).



شکل ۶ میزان مصرف انرژی های الکتریکی و گاز ساختمان آموزشی مورد مطالعه در حالت بام معمولی

#### ۱-۲- در حالت بام سبز

ساختمان آموزشی مورد مطالعه بار دیگر با وجود بام سبز و تمام جزئیات محاسباتی آن شبیه سازی گردید (شکل ۷).

Name	Green roof
Source	
Category	Roofs
Region	IRAN (ISLAMIC REPUBLIC OF)
Number of layer	8
Outermost layer	
Material	Vegetation(grass)
Thickness (m)	0.0400
Bridged?	
Layer 2	
Material	Growing medium(sands,stones,soil)
Thickness (m)	0.0400
Bridged?	
Layer 3	
Material	Filter layer(geotextiles,fabric)
Thickness (m)	0.0030
Bridged?	
Layer 4	
Material	Drainage layer(polypropylene,insulating)
Thickness (no)	0.003
Layer 5	
Material	Protection layer(geotextiles,fabric)
Thickness (m)	0.0030
Bridged?	
Layer 6	
Material	Root barrier(Polyethylene,plastic)
Thickness (m)	0.0030
Bridged?	
Layer 7	
Material	Waterproof membrane(polyester,fiber,insulating)
Thickness (m)	0.0040
Bridged?	
Innermost layer	
Material	Roof structure(concrete)
Thickness (m)	0.3000

شکل ۷ جزئیات محاسباتی بام سبز در نرم افزار

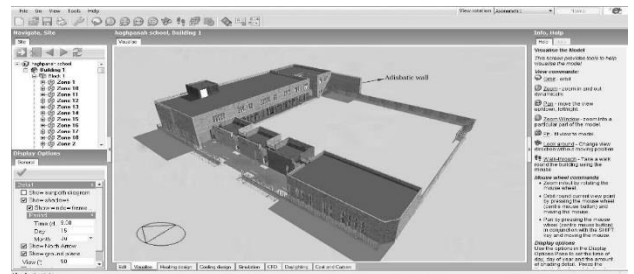


شکل ۳ مدرسه ابتدایی دخترانه حق پناه و سایت پلان آن

#### ۱-۱- میزان مصرف انرژی در ساختمان آموزشی مورد مطالعه

##### ۱-۱-۱ 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 جزئیات شبیه سازی شده است (شکل ۴).



شکل ۴ شبیه سازی ساختمان آموزشی مورد مطالعه

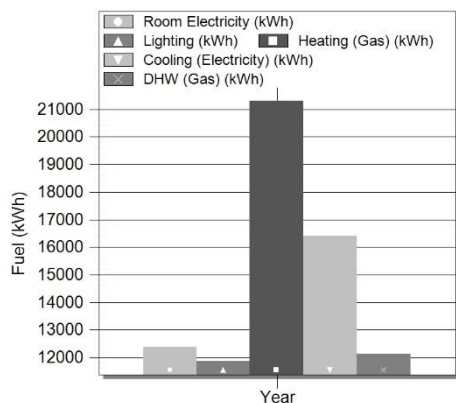
در این شبیه سازی همه دانسته های مربوط به اقلیم، مصالح، سیستم های سرمایشی و گرمایشی، نورپردازی، کاربری فضاها، ساعت های کاری و روزهای تعطیل به کار گرفته شده است (شکل ۵) و همچنین فرض بر این بوده است که ساختمان آموزشی مورد مطالعه در تمام فصل های سال مورد استفاده کاربران قرار گرفته است.

Location Template	ESFAHAN
Template	Teaching Areas
Sector	D1 Non-residential Institutions - Education
Simulation Weather Data	
Hourly weather data	IRN_ESFAHAN_ITMY
Day of week for start day	8-Use weather file
HVAC Template	
Template	Radiator heating, Boiler HW, Nat Vent
Heating	
Heated	
Fuel	2-Natural Gas
Heating system seasonal CoP	0.650
Cooling	
Cooled	
Cooling system	Default
Fuel	1-Electricity from grid
Cooling system seasonal CoP	4.500
Holidays	
Holidays	
Holidays per year	53

شکل ۵ جزئیات مهم محاسباتی در شبیه سازی توسط نرم افزار



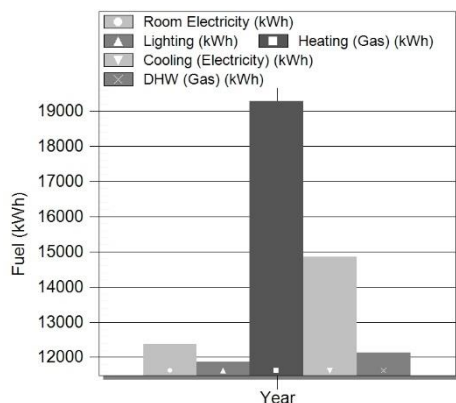
Fuel Breakdown - haghpanah school, Building 1  
EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Annual Evaluation



Room Electricity (kWh)	12378.54
Lighting (kWh)	11861.81
Heating (Gas) (kWh)	21313.39
Cooling (Electricity) (kWh)	16419.58
DHW (Gas) (kWh)	12137.50

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

Fuel Breakdown - haghpanah school, Building 1  
EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Annual Evaluation



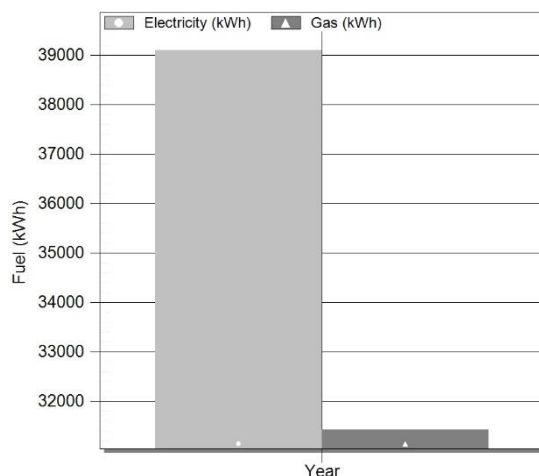
Room Electricity (kWh)	12378.54
Lighting (kWh)	11861.81
Heating (Gas) (kWh)	19286.21
Cooling (Electricity) (kWh)	14860.02
DHW (Gas) (kWh)	12137.50

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 انرژی های الکتریکی و گاز می باشد در حالت بام معمولی ۷۴۱۱۰/۸۲ کیلو وات ساعت بوده است که بعد از اعمال سیستم بام سبز به ۷۰۵۲۴/۰۸ کیلو وات ساعت کاهش یافته است؛ پس می توان از این تحقیق نتیجه گرفت که بام سبز با حداقل بار وارد شده بر سازه بام که پوشش گیاهی چمن علت آن بوده است، میزان مصرف انرژی ساختمان آموزشی مورد مطالعه را ۴/۸ درصد در طول یک سال کاهش داده است و در بهبود میزان مصرف انرژی موثر واقع شده است.

در این حالت میزان مصرف انرژی الکتریکی  $39100/37$  کیلو وات ساعت و گاز  $31423/71$  کیلو وات ساعت می باشد که نشان دهنده کاهش میزان مصرف انرژی این ساختمان آموزشی نسبت به حالت بام معمولی است (شکل ۸). همچنین بام سبز تنها باعث بهینه سازی مصرف انرژی حاصل از سیستم های گرمایشی و سرمایشی در ساختمان آموزشی مورد مطالعه شده است.

Fuel Totals - haghpanah school, Building 1  
EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Annual Evaluation



شکل ۸ میزان مصرف انرژی های الکتریکی و گاز ساختمان آموزشی مورد مطالعه در حالت بام سبز

## ۱۱- نتیجه گیری

بررسی های انجام شده در این پژوهش نشان دهنده آن است که سیستم بام سبز اعمال شده بر بام ساختمان آموزشی مورد مطالعه کمترین بار را بر سازه بام وارد می کند زیرا چمن نسبت به سایر پوشش های گیاهی دارای عمق ریشه و محیط کشت کمتری می باشد. محیط کشت کم عمق، وزن کمتری دارد و حداقل بار نهایی که ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع می باشد را بر سازه بام وارد می کند. همچنین نتایج حاصل از نرم افزار نشان می دهد، ساختمان آموزشی شبیه سازی شده در حالت بام معمولی دارای میزان مصرف انرژی الکتریکی  $40659/93$  کیلو وات ساعت و گاز  $33450/89$  کیلو وات ساعت بوده است که بعد از اعمال بام سبز، میزان مصرف انرژی الکتریکی و گاز به مقادیر  $39100/37$  و  $31423/71$  کیلو وات ساعت کاهش یافته است و علت اصلی این امر کاهش میزان مصرف انرژی سیستم های سرمایشی و گرمایشی توسط بام سبز بوده است. در حالت بام ساده میزان مصرف انرژی سیستم های سرمایشی  $16419/58$  کیلو وات ساعت و گرمایشی  $21313/39$  کیلو وات ساعت بوده است (شکل ۹) که سیستم بام سبز این مقادیر میزان مصرف انرژی را به  $14860/02$  و  $19286/21$  کیلو وات ساعت تغییر داده است (شکل ۱۰).



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.

## 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 Forestry & 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

