نحوه استناد به این مقاله: عبادتی، محمد؛ علی احیایی، مهدی (۱۳۹۰). آنالیز حرارتی مدل ساختمان مجهز به سقف سبز و مدیریت بهینه سازی انرژی. تبدیل انرژی، ۲ (۴و۳)، ۱۸-۱۱.

آنالیز حرارتی مدل ساختمان مجهز به سقف سبز و مدیریت بهینه سازی انرژی

محمد عبادتی [۱]، مهدی علی احیایی [۲و*]

[۱] دانشجو کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر جدید پردیس، ایران

دریافت: بهمن ۹۵، بازنگری: اسفند ۹۵، پذیرش: اردیبهشت ۹۵

چکیده

در این مقاله، مدلسازی و شبیه سازی مصرف انرژی برای یک ساختمان فرضی دو طبقه مجهز به سقف سبز در سه اقلیم مختلف ایران (بندر عباس: گرم و مرطوب، تهران: معتدل و خشک, تبریز: سرد و خشک) صورت گرفته است. هدف از این شبیه سازی تاثیرات سقف سبز بر روی کاهش بارهای حرارتی ساختمان و نیز نقش آن در کاهش شار گرمایی عبوری از سقف ساختمان می باشد. روش کار بدین صورت است که ابتدا این ساختمان در یک نرم افزار مدل سازی مدل شده است سپس این مدل سه بعدی به موتور شبیه ساز انرژی پلاس تحویل داده شده , سپس شبیه سازی برای زمان های مختلف انجام شده است. برای هر یک از سه شهر، یک ساختمان معمولی با سقف آسفالت و یک ساختمان کاملا مشابه که در لایه آخر بام به جای آسفالت دارای پوشش گیاهی است شبیه سازی شده و نتایج خروجی با یکدیگر مقایسه شده است. برای تامین بارهای حرارتی و برودتی ساختمان از پمپ حرارتی استفاده شده است. نتایج شبیه سازی ها نشان داده است که با به کار گیری سقف سبز , حالت پایه مصرف سالیانه انرژی الکتریسیته در شهرهای تهران، تبریز و بندر عباس به ترتیب ۱۶.۳, ۱۲.۵ و ۲۳ درصد کاهش پیدا می کند. با توجه به مقادیر بدست آمده, استفاده از سقف سبز در مناطق گرمسیر(بندر عباس) نسبت به مناطق سردسیر (تبریز) کارایی بیشتری دارد. دلیل آن تاثیر سقف سبز به عنوان یک خنک کننده بر عملکرد سیستم سرمایشی ساختمان مورد مطالعه می باشد. شهر بندرعباس به دلیل دارا بودن آب و هوای گرم و خشک نیاز زیادی به انرژی در فصل تابستان برای خنک سازی محیط دارد ولی با توجه به متعادل بودن دما در ماه های سرد سال و نیاز نداشتن به انرژی جهت گرمایش میزان مصرف انرژی در طول سال برای شهر بندرعباس نسبت به دیگر شهرها بسیار پایین تر است. همچنین آزمون های حساسیت سنجی نشان داده است که مصرف انرژی ساختمان موصوف قویا به تغییرات پارامترهای ضخامت خاک و تراکم گیاهی ساختار سقف سبز وابسته است به طوری که هرچه ضخامت خاک مورد استفاده بیشتر باشد عایق حرارتی بهتری است و هرچقدر تراکم گیاهی بکار رفته بالاتر باشد قدرت بیشتری در ممانعت از تابش اشعه های خورشیدی دارد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** aliehyaei@yahoo.com

کلمات کلیدی: سقف سبز، کاهش انرژی، انرژی پلاس، بار حرارتی.

۱- مقدمه

وسعت جغرافیایی کشور ایران، تنوع آب و هوایی و بزرگی طیف دمایی در اکثر نقاط کشور در طول سال سبب مصرف بیش از حد الکتریسیته جهت مصارف سرمایشی و نیز بالا بودن مصرف گاز طبیعی جهت گرمایش در طول زمستان و سایر ماه های سرد سال شده است، این مقوله در سال های اخیر به علت بالا رفتن استانداردهای زندگی در جوامع شهری و حتی روستایی کشور، افزایش روز افزون جمعیت و نیز همگام نبودن نرخ ساخت نیروگاه های جدید برق و عدم استفاده جدی از منابع تجدیدپذیر شکل جدیدی به خود گرفته است. افزایش تقاضای مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش لطمات زیست محیطی جبران ناپذیری را به پیکره منابع طبیعی کشورمان تحمیل کرده است، که از جمله می توان به افزایش خیره کننده آلودگی هوا، افزایش تولید گازهای گلخانه ای و نیز پدیده جزیره گرمایی شهری اشاره کرد. یکی از راه های موثر در کاهش بارهای حرارتی بخش ساختمان استفاده از گرمایش و سرمایش طبیعی است که پیشینیانمان به خوبی به اهمیت آن واقف بوده اند و از آن در بسیاری در بناهای تاریخی از

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]

جمله بادگیرهای شهر یزد و سقف های گنبدی موجود در اقصی نقاط کشور استفاده کرده اند. سقف سبز به عنوان یک فناوری کنش پذیر می تواند نقش انکار ناپذیری در بهینه سازی انرژی در بخش ساختمان ایجاد کند، این بهینه سازی انرژی از طریق ترکیبی از نقش عایق کننده خاک، اثر سایه گیاهان کاشته شده درآن، تبخیر آب موجود در خاک و نیز تنفس بیو لوژیکی گیاه است [۱].

درکشور ایران نیز بخش ساختمان و مسکن با مصرف بیش از ۴۰ درصد انرژی، بزرگترین مصرف کننده انرژی می باشد. بخش ساختمان و مسکن یکی از منابع اصلی تولید آلودگی می باشد. بخش مسکن در ایران حدود ۲۶,۴ درصد از انتشار دی اکسید کربن را به خود اختصاص می دهد ساختمان ها در استان تهران بیش از ۴۰ درصد دی اکسید کربن این استان را تولید می کنند. ساختمان های سبز، پرچم دار توسعه پایدار و ایجاد تعادل بین مسائل مربوط به سلامت محیطی، اقتصادی و اجتماعی هستند. کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان و مسکن تأثیر بسزایی بر مصرف انرژی کل کشور خواهد داشت .پتانسیل صرفه جویی انرژی در این بخش بیشتر از بخش های دیگر است. کاهش مصرف انرژی در این بخش ساده تر و با سرمایه گذاری کمتری نسبت به بخش های دیگر قابل دسترس می باشد [۱].

یک سقف سبز سقفی است که شامل خاک (محیط کشت) و لایه رونده گیاهی در سطح خارجی اش باشد. ساختار ما بین محیط کشت و سقف معمولا متفاوت است ولی عموما شامل یک لایه زهکش، یک لایه مانع رشد ریشه و یک غشای ضد رطوبت است. معمولا عمق محیط کشت بین ۱۰ تا ۳۰cm است، هر چند در برخی از کاربری های سقف سبز که سقف سبز سنگین نامگذاری شده است لایه خاک ضخیم تر بوده و در آن بوته و یا حتی درخت کاشته می شود. اما معمولا عمق های کمتر (معمولا کمتر از ۲۰ cm) که سقف سبز سبک خوانده می شود رایج تر است و فقط می توانند گیاهان کوچک تر را در بر گیرند. هر چند قدمت استفاده از سقف سبز به چند قرن قبل بر می گردد ولی اخیرا شوق عظیمی در استفاده از آن در ساختمان های نوساز و قدیمی پیدا شده است . مزیت های مهم آن شامل دلپذیر کردن ساختمان و محیط شهری،کاهش جاری شدن سیلاب در شهرها و بهینه سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان است. در این تحقیق از منظر بهینه سازی مصرف انرژی به سقف سبز نگریسته شده وجزئیات نحوه کاهش مصرف انرژی با استفاده از سقف سبز ، مورد مطالعه قرار گرفته است [۲].

۲- شرحی بر ادبیات تحقیق

وانگ[۱] و همکاران در سال ۲۰۰۷ در روش عملی اندازه گیری میدانی تعدادی ترمومتر بر روی سطح سقف نصب کردند، که اندازه گیری شار گرمایی, اختلاف دمایی و مقدار مقاومت گرمایی برای ساختار سقف سبز را محاسبه می کنند، این روش عمدتا محدود به تاثیرات سقف سبز در فصل تابستان است. برخی از پارامترهای کلیدی طراحی سقف سبز (تراکم گیاهی، ضخامت لایه خاک و نرخ بارندگی) موضوع بررسی مطالعه بوده است. به این نتیجه رسیده اند که میزان کاهش بار حرارتی ساختمان با افزایش پارامتر تراکم گیاهی افزایش می یابد [۳].

هارت و سیلور[۲] در سال ۲۰۰۹ به بررسی ۵۰ منطقه شهری از ایالات متحده و تجزیه وتحلیل رفتارهای این شهرها در پاسخ به تغییرات آب و هوایی در سه دسته پرداخت. افزایش پوشش سبز, افزایش پدیده جزیره گرمای شهری و بهبود بهره وری مصرف انرژی. در شهرها از بستون, شیکاگو, لس انجلس, نیویورک و پورتلند پدیده جزیره گرمایی شهری با افزایش پوشش سبز با به کارگیری سقف سبز و کاشت درختان برطرف شده است. تحقیقات مربوط نشان داده است که افزایش کاشت و پوشش سبز موثر ترین راه برای کاهش پدیده جزیره گرمایی شهری است [۴].

ساناندا[۳] در سال ۲۰۱۳ در پژوهش خود به بررسی پتانسیل سقف های سبز در کاهش بارهای انرژی ساختمان و چگونگی تاثیر هریک از پارامترهای مختلف سقف سبز بر عملکرد حرارتی ساختمان پرداخت. وی با در نظر گرفتن یک ساختمان اداری کوچک, سقف سبز را برای آن طراحی نمود سپس به کمک نرم افزاز انرژی پلاس به آنالیز حرارتی ساختمان پرداخت. بعد از آن نرم افزار را برای ارزیابی عملکرد هریک از پارامترهای سقف سبز (ضخامت عایق-شاخص سطح برگ-عمق محیط کشت) در تحت سه نوع شرایط مختلف آب و هوایی (سرد و مرطوب گرم و خشک-گرم و ساحلی) تنظیم نمود و به این نتیجه رسید که افزایش این پارامترها نقش موثری در کاهش انرژی ساختمان دارد به طوری که در گرمترین نقطه سال به کاهش ۶۵٪ انرژی در آب و هوای سرد و مرطوب و به کاهش ۷۴٪ در آب و هوای گرم و ساحلی و به کاهش ۹۰٪ در آب و هوای گرم و خشک رسید [۵].

در این زمینه تحقیقات فراوانی انجام شده است برای مطالعه بیشتر به مقالات ارائه شده در [۶-۸] رجوع شود.

با توجه به مطالعه و بررسی متون داخلی و خارجی، مشخص شد که تا به حال تحقیق جامع و کاملی در زمینه آنالیز حرارتی سقف های سبز، در کشور ایران و مقایسه اقلیم های متفاوت انجام نشده است. عمده مطالعات در ایران، به بحث معرفی بام سبز در و تاثیر آن بر محیط زیست اختصاص دارد. از این رو جای خالی پژوهشی در زمینه آنالیز حرارتی سقف سبز، به وضوح مشاهده می گردد که پژوهش حاضر تا حدی این خلا را

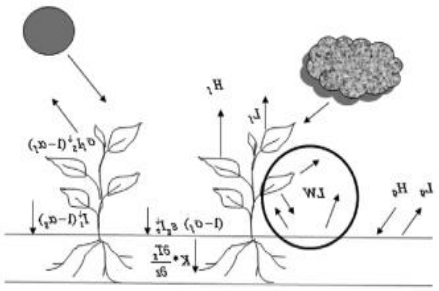
۱ wong
۲ Hart & Sailor
۳ Sananda

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]

پر می نماید. در این پژوهش سعی شده است با بکارگیری سقف سبز در سه نوع شرایط مختلف آب و هوایی کشورمان و تاثیر هریک از پارامترهای سقف سبز از جمله ضخامت خاک و تراکم گیاهی ، تاثیر آن را بر کاهش مصرف انرژی بدست آوریم. نوآوری های این تحقیق عبارت اند از:

• آنالیز حرارتی سقف سبز در سه نوع شرایط مختلف آب و هوایی ایران(گرمسیر , معتدل و سردسیر)
• تاثیر هریک از پارامترهای کلیدی سقف سبز(ضخامت خاک وتراکم گیاهی)به طور مجزا برعملکرد سقف سبز
• آنالیز اقتصادی احداث سقف سبز با توجه به شرایط محیطی در سه اقلیم متفاوت

۳- مدل بالانس انرژی سقف سبز



شکل(۱): بالانس حرارتی برای سقف سبز، شامل شار حرارتی نهان (L)، شار گرمایی محسوس (H)، تابش طول موج کوتاه (I_S)، طول موج بلند ورودی (I_{ir}). همچنین رسانایی گرمایی خاک و تبادل تابشی با تاج پوشش گیاهی(LW) نیز در شکل نمایان است [۹].

روش مدل سازی ریاضی ساختمان سقف سبز در مراجع [۹-۱۱] آورده شده است.

4- بحث و مدل سازی

روش مدل سازی ریاضی ساختمان سقف سبز در مراجع [۹-۱۱] آورده شده است.

ساختمان های مورد مطالعه, دو ساختمان کاملا مشابه که اولی دارای سقف معمولی و دومی دارای سقف سبز است برای هر یک از سه شهر مورد اشاره مدل شده است. سه شهر مورد اشاره به ترتیب تهران, تبریز و بندر عباس می باشند.

• تهران: به عنوان بزرگ ترین و پر جمعیت ترین شهر کشور با دارا بودن آب و هوای قاره ای شبه خشک ، حجم وسیعی از الکتریسیته و گاز طبیعی کشور را صرف مصارف گرمایشی و سرمایشی بخش ساختمان خود کرده است. تاثیرات مثبت سقف سبز هرچند ناچیز هم باشد منجر به بهینه سازی انرژی بزرگی در مقیاس کشوری می شود میانگین بارش سالانه در تهران حدود ۲۲۰ میلی متر و میانگین سالانه دما حدود ۱۶,۴ درجه سانتی گراد می باشد. تهران با طول جغرافیایی E'۳۰°۵۱ و عرض جغرافیایی N'۴۴°۳۵ در ارتفاع حدودا ۱۱۹۰ متری از سطح دریا با رطوبت نسبی ۴۰درصدی قرار دارد [۱۲].

• تبریز: تبریز از دو ناحیه کوهستانی و دشت تشکیل شده است . ارتفاع از سطح دریا در دشت ۱۱۰ متر و در مناطق کوهستانی تا ۱۲۰۰ متر بالغ می گردد حد متوسط بارندگی آن در سال ۳۱۸ میلیمتر است و میانگین سالانه دما در تبریز حدود ۱۱,۶ درجه سانتی گراد است. این شهر دارای هوایی اقلیمی و کم رطوبت و دارای زمستان بسیار سرد می باشد. هدف از انتخاب این شهر نقش بام سبز در آب و هوای سرد و کم رطوبت می باشد. تبریز در طول جغرافیایی E'۲۰°۴۶ و عرض جغرافیایی N'۷°۳۸ با مقدار رطوبت نسبی ۱۵ درصدی قرار دارد [۱۲].

• بندرعباس: به علت آب و هوای گرم و خشک در بیش از ۷ ماه از سال احتیاج به سرمایش مکانیکی وجود دارد استفاده از سرمایش مکانیکی در این شهر منجر به ایجاد پدیده جزیره گرمایی شهری می شود، کارا بودن سقف سبز علاوه بر بهینه سازی مصرف انرژی با کاهش نیاز به مصرف انرژی در کاستن از پدیده جزیره گرمایی شهری موثر است. میانگین بارش سالانه در بندر عباس حدود ۱۸۵ میلی متر و میانگین سالانه دما حدود ۲۷درجه سانتی گراد می باشد. بندر عباس با طول جغرافیایی E'۱۵°۵۶ و عرض جغرافیایی N'۱۵°۲۷ در ارتفاع ۱۰متری از سطح دریا با رطوبت نسبی ۸۰ درصدی قرار دارد [۱۲].

خلاصه شرایط جغرافیایی مربوط به سه شهر در جدول(۱) آورده شده است.

جدول (۱): شرایط جغرافیایی مربوط به شهرها [۱۲].

رطوبت نسبی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	شهر
۴۰	E'۳۰°۵۱	N'۴۴°۳۵	۱۱۹۰M	تهران
۱۵	E'۲۰°۴۶	N'۷° ۳۸	۱۲۵۵M	تبریز
۸۰	E'۱۵°۵۶	N'۱۵°۲۷	۱۰M	بندر عباس

این ساختمان ها دو طبقه و دارای زیر بنای ۲۴۰ متر مربع است، مصالح به کار رفته در دیوارهای خارجی ساختمان شامل سه لایه (سیمان با ضخامت ۴ سانتی متر، آجر با ضخامت ۲۰ سانتی متر، گچ با ضخامت ۳ سانتی متر) و مصالح به کار رفته در دیوارهای داخلی شامل سه لایه(گچ با ضخامت ۳سانتی متر، آجر با ضخامت ۲۰سانتی کمتر، گچ با ضخامت ۳سانتی متر) می باشد. پنجره ها از نوع دو جداره و با شیشه هایی با ضخامت ۶ میلی متر می باشد. نسبت مساحت پنجره به دیوار در ضلع شمال ساختمان ۳۰٪ و در ضلع جنوبی ساختمان مورد مطالعه ۲۶٪ از کل مساحت می باشد و ضریب نفوذ هوا ۰,۶۵ فرض شده است. ساختار مواد بکار رفته در سقف معمولی و سقف سبز نیز در جداول (۲) الی (۵) آورده شده است.

جدول (۲): ساختار سقف معمولی[۱۳].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]

لایه اول	لایه دوم	لایه سوم
عایق، با ضخامت	بتن با ضخامت	گچ با ضخامت
۲cm	۲۱cm	۳cm

جدول (۳): مشخصات حرارتی عایق

چگالی (kg/m3)	ضریب جذب نور خورشید	ضریب جذب گرمایی	گرمای ویژه (J/kg-K)	رسانایی (W/m-k)
۲۱۰۰	۰/۷	۰/۹	۱۰۰۰	۰/۷

جدول (۴): ساختار سقف سبز [۱۰].

لایه اول	لایه دوم	لایه سوم	لایه چهارم
پوشش.گیاهی با ضخامت	عایق با ضخامت	بتن با ضخامت	گچ با ضخامت
۱۰cm	۴cm	۲۵cm	۳cm

جدول (۵): مقادیر پارامتر های ساختار لایه نهایی سقف سبز

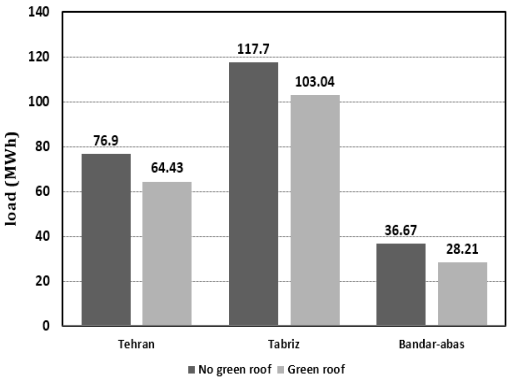
ارتفاع گیاه	LAI	ضریب انعکاس گیاه	ضریب صدور گیاه	مقاومت دهانه ای کمینه
M ۰/۲	۱	۰/۲۲	۰/۹۵	s/m ۱۸۰
سختی	ضریب هدایت	چگالی	ضخامت خاک	گونه گیاهی
نرمال	۰/۳۵	۱۱۰۰kg/m3	۰/۱M	Sedum

دمای شروع گرمایش C °۲۲ و دمای شروع سرمایش C °۲۵ می باشد. نوع فعالیت مسکونی و تراکم سکنه ۰،۰۴ (نفر در متر مربع) می باشد.

پس از ورود اطلاعات در نرم افزار مدل کننده، ماحصل خروجی به صورت یک فایل ذخیر می شود تا در ادامه کار, این فایل برای شبیه سازی و آنالیز حرارتی وارد موتور شبیه ساز انرژی پلاس شود. انرژی پلاس یک نرم افزار آنالیز انرژی و شبیه سازی بارهای حرارتی است و بر اساس داده هایی که کاربر برایش تعریف می کند بارهای سرمایشی گرمایشی برای حفظ دمای محیط را در نقطه تعیین شده محاسبه می کند.

۴- نتایج شبیه سازی

نتایج شبیه سازی برای ساختمان مورد مطالعه با سقف معمولی واقع در تهران میزان مصرف انرژی را 76.9MWh نشان داده است در حالی که این مقادیر برای ساختمان کنترلی مشابه با سقف سبز 64.43MWh میباشد که کاهش ۱۶،۳ درصدی را نشان می دهد. نتایج شبیه سازی برای ساختمان کنترل با سقف معمولی واقع در تبریز میزان مصرف انرژی را 117.7MWh نشان داده است در حالی که این مقادیر برای ساختمان کنترلی مشابه با سقف سبز 103.04MWh میباشد که کاهش ۱۲،۵ درصدی را نشان می دهد. همچنین برای شهر بندر عباس میزان مصرف انرژی از 63.67MWh به 28.1MWh کاهش پیدا کرده است که کاهش ۲۳ درصدی را نشان میدهد. با توجه به نتایج بدست آمده تاثیر کمتر زمستانی سقف سبز برای تبریز با توجه به کاهش کمتر مصرف انرژی و هچنین کاهش بار سرمایشی ساختمان در فصل گرم سال برای شهر بندر عباس که اقلیمی گرم و خشک محسوب می شود قابل اغماض می باشد، یاد آوری می شود که بندر عباس فاقد زمستان بسیار سرد با روزهای دارای یخبندان و هجوم آب و هوای سرد شمالی می باشد و کاهش بار سرمایشی در مرداد ماه که نقطه اوج گرما در بندر عباس می باشد نقش رهگشای سقف سبز برای این شهر و شهر های با شرایط آب و هوایی مشابه را برجسته می نماید. شکل (۲) تاثیرات سقف سبز بر مصرف سالیانه انرژی در سه شهر (تهران , تبریز و بندر عباس) برای تامین نیازهای بارهای حرارتی و برودتی در ساختمان مسکونی مورد مطالعه را نشان می دهد.

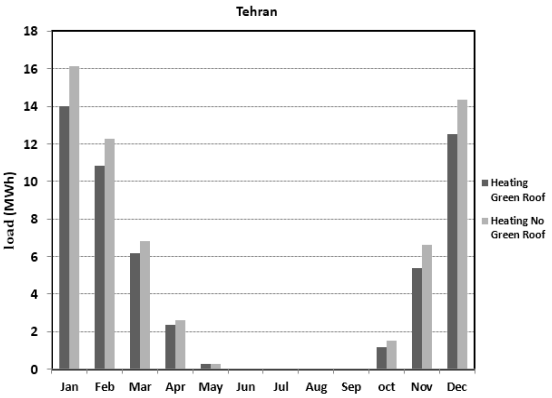


شکل(۲): تاثیر سقف سبز بر مصرف سالانه انرژی در سه شهر تهران , تبریز , بندر عباس برای ساختمان مسکونی مورد مطالعه

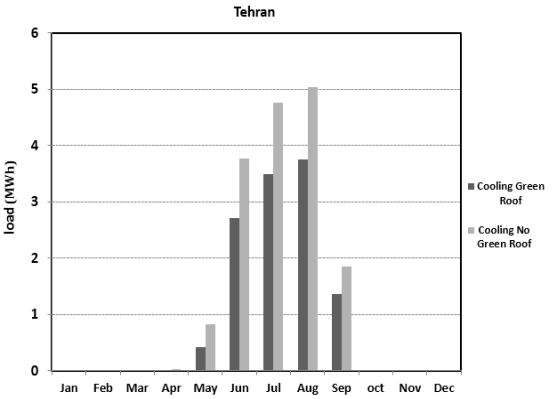
نتایج شبیه سازی برای شهر تهران در اشکال (۳) و (۴) آورده شده است. شکل (۳) متوسط مصرف ماهیانه انرژی گرمایشی در ساختمان مورد مطالعه را نشان می دهد از شکل واضح است که بالاترین نرخ انرژی گرمایشی در ماه Jan می باشد و در چهار ماه Jun, Jul, Aug, Sep نیازی به انرژی گرمایشی نداریم. شکل(۴) متوسط مصرف انرژی سرمایشی را در ساختمان مورد مطالعه نشان می دهد از شکل مشخص است که بیشترین نیاز به انرژی سرمایشی به ترتیب در ماه های Jun, Jul, Aug می باشد که با بکار گیری سقف سبز کاهش قابل توجه ای در مصرف انرژی سرمایشی به وجود آمده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]



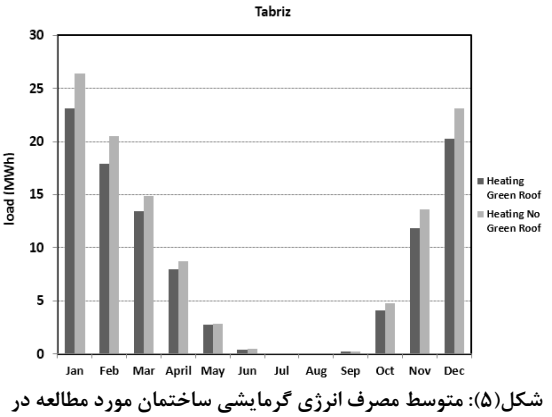
شکل(۳): متوسط مصرف انرژی گرمایشی ساختمان مورد مطالعه در شهر تهران درحالت با و بدون سقف سبز



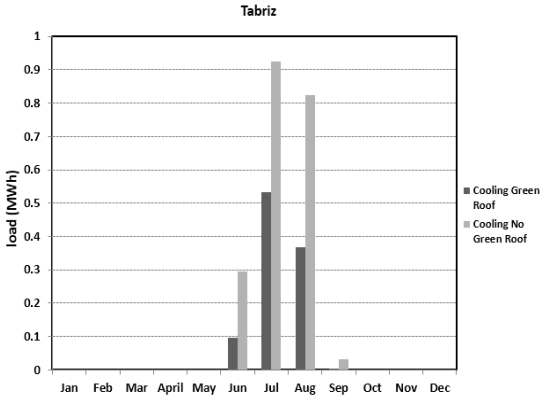
شکل(۴): متوسط مصرف انرژی سرمایشی ساختمان مورد مطالعه در شهر تهران درحالت با و بدون سقف سبز

نتایج شبیه سازی برای شهر تبریز در اشکال (۵) و (۶) آورده شده است. شکل (۵) متوسط مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان مورد مطالعه را نشان می دهد از شکل واضح است که بالاترین نرخ انرژی گرمایشی در ماه Jan می باشد و در چهار ماه Jun, Jul, Aug, Sep نیازی به انرژی گرمایشی نداریم.شکل(۶) متوسط مصرف انرژی سرمایشی را در ساختمان مورد مطالعه

نشان می دهد آن جور که از شکل مشخص است بیشترین نیاز به انرژی سرمایشی در ماه های Jun, Jul, Aug می باشد که با بکار گیری سقف سبز کاهش ۵۱ درصدی در مصرف انرژی سرمایشی به وجود آمده است.



شکل(۵): متوسط مصرف انرژی گرمایشی ساختمان مورد مطالعه در شهر تبریز در دو حالت با و بدون سقف سبز

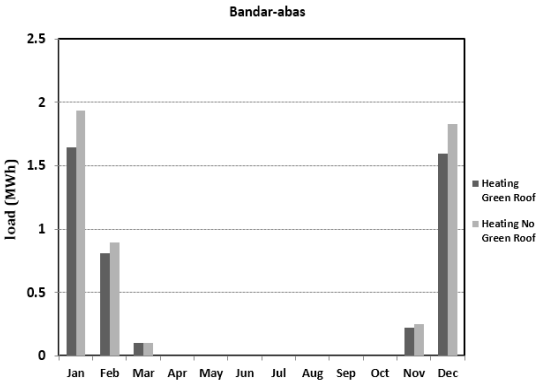


شکل(۶): متوسط مصرف انرژی سرمایشی ساختمان مورد مطالعه در شهر تبریز در دو حالت با و بدون سقف سبز

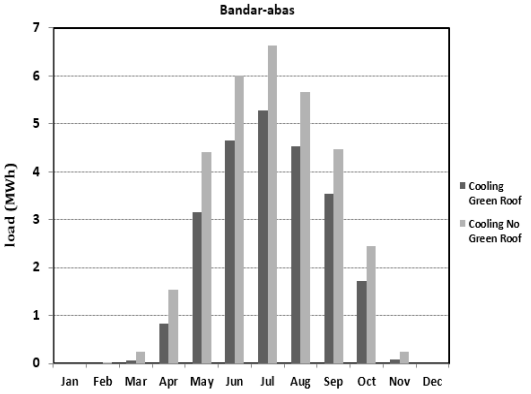
نتایج شبیه سازی برای شهر بندر عباس در اشکال (۷) و (۸) آورده شده است. شکل (۷) متوسط مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان مورد مطالعه و شکل(۸) متوسط مصرف انرژی سرمایشی را در ساختمان مورد مطالعه نشان می دهد. از اشکال مشخص است نیاز به انرژی سرمایشی بسیار بالاتر از نیاز به انرژی گرمایشی می باشد. انرژی سرمایشی ۸۲درصد و انرژی گرمایشی ۱۸درصد از انرژی مصرفی کل سال را تشکیل می دهند که دلیل آن شرایط اقلیمی گرم و خشک بندر عباس می باشد. با یکارگیری سقف سبز کاهش ۲۵ درصدی در مصرف انرژی سرمایشی حاصل می شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]



شکل(۷): متوسط مصرف انرژی گرمایشی ساختمان مورد مطالعه در شهر بندرعباس در دو حالت با و بدون سقف سبز



شکل(۸): متوسط مصرف انرژی سرمایشی ساختمان مورد مطالعه در شهر بندرعباس در دو حالت با و بدون سقف سبز

نتایج مدل سازی و شبیه سازی ها صورت گرفته نشان داده است که به کار گیری سقف سبز سبب کاهش بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان در سه اقلیم متفاوت از ایران شده است. نتایج شبیه سازی سالانه حاکی از بهینه سازی انرژی با کاهش ۱۶,۳ درصدی برای تهران , ۱۲,۵ درصدی برای تبریز و ۲۳ درصدی برای بندر عباس می باشد که حاکی از آن است استفاده از سقف سبز با توجه به مقادیر بدست آمده در مناطق گرمسیر(بندر عباس) نسبت به مناطق سردسیر(تبریز) کارایی بیشتری دارد و دلیل آن تاثیر سقف سبز بر عملکرد سیستم سرمایشی ساختمان مورد مطالعه می باشد زیرا نیاز به انرژی سرمایشی را به طور چشم گیری کاهش می دهد و شهر بندرعباس نیز به دلیل دارا بودن آب و هوای گرم و خشک نیاز زیادی به انرژی برای خنک سازی محیط دارد.

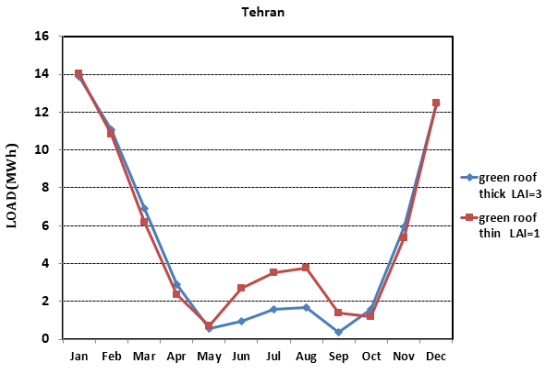
۵- آزمون حساسیت سنجی

برای بررسی تاثیر هر یک از پارامترهای کلیدی سقف سبز (تراکم گیاهی و ضخامت لایه خاک) یک حالت اضافه بر حالت سقف سبز اولیه برای هر شهر مدل سازی و شبیه سازی شده است. بدینصورت که ضخامت لایه خاک دو برابر شده است و تراکم گیاهی از یک به سه افزایش پیدا کرده است. خلاصه این وضعیت های جدید در جدول (۷) به نمایش درآمده است.

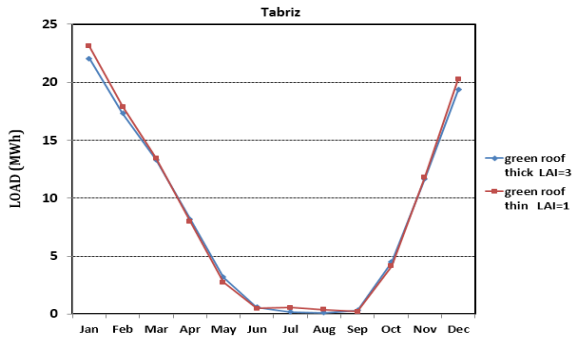
جدول(۷); خلاصه حالت های مورد استفاده درحساسیت سنجی

ضخامت خاک(cm)	نرخ آبیاری(m/hr)	مقدار تراکم گیاهی (LAI)	وضعیت
۱۰	۰/۰۰۰۱	۱	در حالت پایه
۲۰	۰/۰۰۰۱	۳	در حالت ثانویه

اشکال (۹) الی (۱۱) به ترتیب بیانگر حساسیت سنجی در حالت ثانویه (تراکم گیاهی برابر با سه و ضخامت برابر با ۲۰ سانتی متر) در مقایسه با حالت پایه (تراکم گیاهی برابر با یک و ضخامت برابر با ۱۰ سانتی متر) برای ساختمان مورد مطالعه برای شهرهای تهران , تبریز و بندر عباس می باشند.



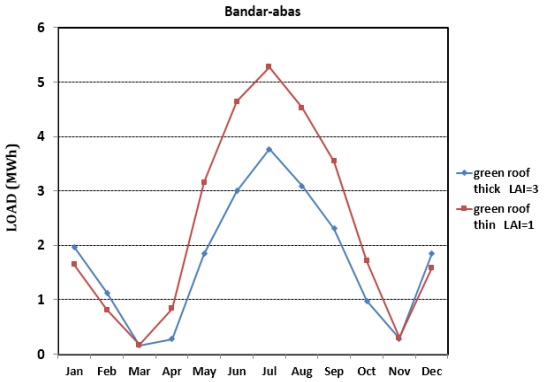
شکل(۹): بار حرارتی سقف سبز در دو حالت پایه وثانویه برای ساختمان مورد مطالعه واقع در شهر تهران



شکل(۱۰): بار حرارتی سقف سبز در دو حالت پایه و ثانویه برای ساختمان مورد مطالعه واقع در شهر تبریز

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]



شکل(۱۱): بار حرارتی سقف سبز در دو حالت پایه و ثانویه برای ساختمان مورد مطالعه واقع در شهر بندر عباس

۶- نتایج حساسیت سنجی

از نتایج بدست آمده در اشکال (۹) الی (۱۱) می توان دریافت که افزایش ضخامت خاک و تراکم گیاهی در ماه های گرم سال(Jun, Jul, Aug, Sep) عملکرد بسیار مناسبی را از خود نشان می دهد که ناشی از عملکرد سقف سبز به عنوان یک خنک کننده بر عملکرد سیستم سرمایشی ساختمان های مورد مطالعه می باشد. اما در ماه های سرد که نیاز به انرژی گرمایشی بیشتر است نتیجه معکوس داشته و باعث افزایش مصرف انرژی می شود اما این افزایش در مقایسه با کاهش مصرف انرژی در ماه های گرم بسیار ناچیز است که بیانگر مثبت بودن این تغییرات است.

۷- نتیجه گیری

ارزش افزوده بالای زمین و پایین بودن مساحت فضای سبز باعث شده است تا استفاده از فناوری بام سبز در کلانشهرهای ایران به علت بهبود و پایداری کیفیت محیط های شهری گزینه مناسبی به نظر برسد, متأسفانه این طرح با وجود کارکردهای بالقوه قابل توجه آن بیشتر در حد ایده در مدیریت شهری باقیمانده است. در این مقاله سعی شده است کاربرد سقف سبز را در سه شهر ایران که دارای شرایط آب و هوایی متفاوتی هستند مورد بررسی قرار بدیم. نتایج شبیه سازی ها نشان داد با بکارگیری سقف سبز حالت پایه مصرف انرژی در شهرهای تهران ، تبریز و بندرعباس به ترتیب ۱۶,۳-۱۲,۵-۲۳ درصد کاهش پیدا میکند. بر اساس نتایج حاصل در ساختمان مورد مطالعه با بکارگیری سقف سبز هم در مصرف انرژی سالیانه هم در هزینه ها کاهش صورت می گیرد به طوری که بیشترین کاهش مربوط به ماه های گرم سال است که در آن نیاز انرژی برای تامین هوای مطبوع بسیار بالاست. همچنین آزمون های حساسیت سنجی برای این نوع سقف در نظر گرفتیم به طوری که تاثیر هر یک از پارامترهای کلیدی سقف سبز (ضخامت خاک و تراکم گیاهی) در آن مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی ها نشان داد مصرف انرژی ساختمان قویا به تغییرات پارامترهای سقف سبز وابسته است.

۸- پیشنهادات

از آنجایی که به نظر می رسد کاهش مصرف انرژی در ساختمان در ایران طی سال های اخیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است و به کارگیری فناوری های نوین که براستی معیاری از میزان پیشرفت هر کشور به شمار می رود تا حدودی از حالت انفعال خارج شده است، قویا پیشنهاد می شود مزایای استفاده از فناوری سقف سبز مورد مطالعات اقتصادی و زیست محیطی قرار گیرد تا علاوه بر محاسبه چگونگی بازگشت سرمایه صاحب ساختمان مجهز به سقف سبز، تاثیرات آن بر اقلیم و میکرو اقلیم های شهری و کاهش پدیده جزیره گرمایی شهری مورد ارزیابی قرار گیرد. ارائه مشوق های مالی به دارندگان ساختمان های مجهز به سقف سبز از سوی دولت و یا شهرداری ها و یا حمایت مالی از مطالعات میدانی که با نصب ترموپیل در سقف های سبز با انواع محیط های کشت و گونه های گیاهی گوناگون به بررسی دمای سطح بام و شار گرمایی عبوری از آن پرداخته می شود می تواند در این میان رهگشا باشد. پیشنهاد دیگر نگارنده، انجام مطالعات میدانی با استفاده از دوربین حرارتی و نیز نصب ترموپیل بر سقف ساختمان کنترل است، مقایسه نتایج مطالعات میدانی با نتایج شبیه سازی های این مقاله می تواند مفید بوده و به رسیدن به گونه گیاهی مناسب، تراکم گیاهی مناسب و نرخ آبیاری متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه کمک کند و به سبب آن بارهای حرارتی ساختمان مورد مطالعه بیش از پیش کاهش یابد.

منابع:

[1] Nasrolahi, F., Iran National Energy Committee, Tehran, http://necom.ir/, (2012).

[2] Beckman, S.; Jones, S.; Liburdy, K. and Peters, C., "Greening Our Cities: An Analysis of the Benefits and Barriers Associated with Green Roofs". PortlandState University, Planning Workshop, (1997)

[3] Wong, N.H., Tan, P.Y., Chen, Y., Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate, Journal of Building and Environment, 42 (2007) 25-54.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]

[4] Hart, M.A., Sailor, DJ., Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island, Journal of Theoretical and Applied Climatology, 95 (2009) 397-406.

[5] Sananda, M., Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island, Journal of Theoretical and Applied Climatology, 95 (2009) 397-406.

[6] Kolokotsa, D., Santamouris, M., Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions, Journal of Solar Energy, 95 (2013) 118–130.

[7] Zhang, W., Dehghani-Sanij, A.A., Blackburn, R.S., Green Roof Study on the microclimate of the city (Case Study: Texas City), Journal of Modern architecture, 42 (2007) 3408–3418.

[8] Tsang, S.W., Jim, C.Y., Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs, Energy, 36 (2013) 3590 – 3598.

[9] Frankenstein, S., Koenig, G., Fast all-seasons soil strength (FASST), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Cold Regions Research and Engineering Laboratory (ERDC/CRREL), Special Report SR-04-01, 2004.

[10] Salior, D.J., A green roof model for building energy simulation programs, Journal of Energy and Buildings, 40 (2008) 1466-1478.

[11] Deardorff, J.W., Efficient Prediction of Ground Surface Temperature and Moisture, With Inclusion of Layer of Vegetation, Journal of Geographic Research, 38 (1978) 1889-1903.

[12] Iran Meteorological Organization. http://www.irimo.ir/. (2016).

[13] List price for Buildings In Iran, http://www.civilhouse.ir/index.aspx?siteid=7&pageid=2772. (2016) .

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-03]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.3.2.2]