

بهسازی عملکرد انرژی یک ساختمان موجود به همراه تاثیرات بام سبز بر میزان مصرف انرژی در اقلیم اصفهان: مطالعه تطبیقی مبحث ۱۹ در برابر استاندارد ASHRAE 90.2-2018

مریم سادات اعرابی
مازیار دهقان*
سعید ضیایی راد

کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران،
m_arraby_engl@yahoo.com
استادیار، پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران،
m-dehghan@merc.ac.ir
استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران،
szrad@cc.iut.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر مصرف انرژی یک ساختمان ویلایی موجود در اصفهان طی یک سال خورشیدی به کمک نرم افزار (Desing Builder(DB) (نسخه ۶،۱) شبیه سازی و نتایج با قبوض انرژی (گاز و برق) صحت سنجی شدند. پس از تحلیل ضعف های ساختمان، پوسته در دو مورد مجزا یکی با هدف رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و دیگری با رعایت استاندارد ASHRAE 90.2/۹۰ به منظور انجام مطالعه تطبیقی، بهسازی شده است. میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش ساختمان موجود با رعایت الزامات مبحث ۱۹ و استاندارد ASHRAE 90.2/۹۰ به ترتیب برابر ۶۳ و ۷۰ درصد قابل صرفه جویی است. این مطلب موید داده های کلان میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان در ترازنامه انرژی کشور می باشد که میزان مصرف انرژی در ساختمان های موجود حدود ۴ برابر استانداردهای روز بین المللی می باشد. در ادامه نقش بکارگیری بام سبز از دیدگاه تاثیر آن بر میزان انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش در این دو ساختمان بهسازی شده نیز مورد مطالعه قرار گرفت که بکارگیری آن باعث کاهش ۹،۵ و ۴ درصدی مصرف انرژی در ساختمانی که به ترتیب بر مبنای الزامات مبحث ۱۹ و ASHRAE 90.2/۹۰ ساخته شده است خواهد شد.

واژه های کلیدی: بام سبز، بهسازی مصرف انرژی ساختمان، عملکرد حرارتی، مبحث ۱۹، استاندارد ASHRAE 90.2/۹۰ (نسخه ۲۰۱۸).

Energy performance enhancement and the role of green-roof in an existing building in Isfahan: adaptive study between code No 19 and ASHRAE 90.2:2018

M. S. Araby
M. Dehghan
S. Ziaei-Rad

Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
Department of Energy, Materials and Energy Research Center (MERC), Karaj, Iran
Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract

In the present study, the energy performance of a villa building in Isfahan was studied during a year using DesignBuilder (Ver. 6.1) and the results were evaluated with energy bills including both gas and electricity consumptions. After identifying the energy performance weaknesses of the building, the skin was enhanced in two scenarios to meet the requirements of code No 19 and ASHRAE 90.2. It is found that the energy required for cooling and heating of the existing building can be saved by 63% and 70%, respectively, in compliance with the requirements of code No 19 of and ASHRAE 90.2. The results also show that despite all the weaknesses of code No 19, the energy intensity of the building's sector in Iran can be saved considerably only by following the regulation. The role of green roofs in terms of the energy saving in these two scenarios was also studied. In addition to other benefits of green roofing from architectural and environmental perspectives, an extra reduction in energy consumption by 9.5% and 4% can be achieved by a typical green-roof in a building based on code No 19 and the requirements of ASHRAE 90.2.

Keywords: Green Roof, Building Energy Consumption Reduction, Thermal Performance, Code No 19, ASHRAE 90.2 (2018 version).

روزانه معادل ۱ میلیون بشکه نفت خام است، لذا شدت مصرف انرژی در بخش ساختمان ایران، ۳ الی ۴ برابر میانگین جهانی است [۱ و ۲]. بنابراین مدیریت مصرف انرژی علاوه بر اهمیت و روند جهانی، در کشور باید مورد توجه بیشتری قرار بگیرد. با توجه به بارانه های انرژی اعمال شده به انرژی مصرف شده در بخش ساختمان در کنار این مساله که مصرف انرژی در این بخش عملاً یک مصرف انرژی غیرمولد است، اهمیت کاستن و مدیریت صحیح مصرف انرژی در ساختمان را دو چندان می کند، لذا تا حد امکان باید از آن کاست تا انرژی در توسعه زیرساخت ها و همچنین صنایع مولد جهت ایجاد ارزش افزوده مصرف گردد.

مطابق مقدمه ذکر شده و با هدف کاهش مصرف انرژی در

۱- مقدمه

بر مبنای ترازنامه انرژی شدت مصرف نهایی انرژی در کشور ۱/۵ برابر میانگین جهانی است که این عدد برای بخش ساختمان، ۱/۹ می باشد [۱]. طبق همین آمار، حدود ۳۰ درصد کل گاز طبیعی تولیدی سالیانه در کشور در ساختمان ها مصرف می شود که این مقدار در زمان های اوج مصرف در زمستان به مقادیر بسیار بالایی می رسد. میزان مصرف برق در بخش های خانگی، عمومی و تجاری که همگی عمدتاً به مصرف برق در ساختمان ها مرتبط می شوند، ۵/۶ درصد از کل برق توزیع شده در کشور را شامل می شود [۱]. همچنین مطابق پایش صورت گرفته در سال ۱۳۹۶، میزان مصرف انرژی در بخش خانگی

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: m-dehghan@merc.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۲۶

ساختمان، ویرایش اول مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان در ابتدا در سال ۱۳۷۰ با عنوان صرفه‌جویی در مصرف انرژی تدوین شد هرچند در عمل مغفول ماند. این مبحث از مقررات ملی ساختمان در سال‌های ۸۱ و ۸۹ نیز تحت بازنگری قرار گرفت و ویرایش‌های دوم و سوم آن ارائه شد [۳]. هرچند مبحث ۱۹ از مقررات و استانداردهای مشابه به‌روز دنیا، مانند استاندارد ۹۰،۱ASHRAE [۴] و ۹۰/۲ASHRAE [۵] که به ترتیب به الزامات انرژی برای ساختمان‌های بلند و کوتاه قامت مربوط هستند، فاصله زیادی دارد و همچنین مباحثی مانند تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر در آن مغفول مانده است، اما رعایت درست همین استاندارد یقیناً از شدت مصرف انرژی در بخش ساختمان کشور حداقل در ساختمان‌های نوساز خواهد کاست. البته سیاست‌هایی در راستای برچسب‌دهی انرژی به ساختمان‌ها در یک افق میان مدت الی بلند مدت با هدف مدیریت و استانداردسازی مصرف انرژی در ساختمان نیز پیشنهاد شد که به دلایل اجرایی و تقنینی، تا این زمان عمدتاً به مرحله اجرا در نیامدند. از آن نمونه می‌توان به تدوین دستورالعملی جهت تعیین معیار مصرف انرژی و آرایه دستورالعمل برچسب انرژی برای ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی، به ترتیب استاندارد ملی ایران ۱۴۲۵۳ [۶] و ۱۴۲۵۴ [۷] در کمیسیون‌های مربوط توسط وزارت نفت-شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت تهیه و تدوین گردید و در کمیته تصویب معیارهای مصرف انرژی وزارت نفت در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۲ مصوب و در سال ۱۳۹۴ ابلاغ گردید اما به اجرا در نیامد. در همین راستا، مصوبه‌ی تشویقی- تنبیهی آیین‌نامه اجرایی بند (ز) ماده ۳۸ قانون برنامه پنج‌ساله‌ی ششم در ارتباط با ارزیابی اجرای مدیریت سبز در دستگاه‌های اجرایی به شماره ۳۶۶۳۷/ت۳۶۹۰-۵۵۵۴-هـ مورخ ۱۳۹۸/۳/۳۰ هیأت محترم وزیران، جهت پایش عملکرد دستگاه‌های اجرایی در مدیریت آب و انرژی ادارات و سازمان‌های دولتی و عمومی ابلاغ شده است که به موجب این مصوبه، عملکرد دستگاه‌های اجرایی در مدیریت مصرف آب و انرژی به صورت منسجم پایش و حسابرسی خواهد شد که هرچند در این آیین‌نامه صرفاً به دستگاه‌های دولتی پرداخته می‌شود و هنوز در ابتدای راه با مشکلات زیادی مواجه است اما نفس به عمل رسیدن آن حائز اهمیت می‌باشد.

به منظور بررسی بهره‌وری انرژی ساختمان و نقش مبحث ۱۹ در این مسیر، فیاض و همکاران [۸] این مبحث را با استاندارد ایزو ۹۱۶۴، E.N ۸۳۲، مقررات ملی آلمان، مقررات ملی ترکیه با کد تی-اس ۸۲۵ و مقررات ملی چین با کد G.B ۵۰۱۸۹ را مقایسه نمودند. به منظور مطالعه میدانی، ۵ ساختمان را بر اساس مبحث ۱۹ و مقررات ملی ترکیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه فیاض و همکاران [۸] مشخص نمود که مبحث ۱۹ در مورد پوسته ساختمان عملکرد مناسبی دارد اما در نظر گرفتن نقش منابع حرارت داخلی یا بیرونی مانند خورشید نیازمند ارتقا می‌باشد. عباسپور و باجگیران [۹] به بررسی نرم‌افزارهای بین‌المللی و ملی موجود در زمینه تحلیل انرژی در ساختمان پرداختند، لیستی از آن‌ها به همراه مزایا و معایب‌شان را ارائه و نقش و اهمیت این نرم‌افزارها را تبیین نمودند. ابوالحسنی و همکاران [۱۰] نقش عایق‌بندی ساختمان را در کاهش مصرف انرژی در یک ساختمان در اقلیم سرد مورد مطالعه قرار دادند. بر مبنای شبیه‌سازی‌های انجام شده به کمک نرم‌افزار Energy Plus، عباسپور و باجگیران [۹] استفاده از یک پوسته دوم روی پوسته اصلی ساختمان به

منظور دریافت تابش انرژی خورشید را برای مناطق روستایی پیشنهاد کردند. با توجه به این مورد که اغلب ساختمان‌های کشور با توجه به استانداردهای مصرف انرژی غیر کارا هستند و سهم غالب را در بخش مصرف انرژی در ساختمان دارند، کریمیان [۱۱] به مطالعه امکان بهسازی یک ساختمان اداری در اصفهان پرداخت و نتیجه گرفت که با کمترین تغییرات در پوسته ساختمان می‌توان ۱۹٪ از میزان مصرف انرژی را کاست. شاه حسینی و کارگر شریف آباد [۱۲] در تحقیقی مشابه برای یک ساختمان اداری در گرمسار، تاثیر عایق‌کاری سقف و دیوارها بر میزان مصرف انرژی ساختمان بررسی کردند و دریافتند که میزان انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش به ترتیب به میزان ۵۸ و ۸ درصد کاهش خواهد داشت.

بام سبز به عنوان یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی، بهبود شاخص فضای سبز در محیط مسکونی و همچنین یک ابزار موثر در جلوگیری از پدیده جزیره حرارتی^۱ معرفی شده است که در دید کلان باعث بهبود کیفیت محیط شهری به کمک ایجاد فضای سبز گسترده خواهد شد [۱۳، ۱۴]. همانگونه که طاهری و همکاران [۱۵] اشاره نمودند، رویکرد به بام سبز در ایران مثبت بوده و پتانسیل استفاده از آن نیز با توجه به اقلیم کشور بالا است هرچند که مطالعات بیشتری در این زمینه لازم است صورت پذیرد. عبادتی و احیایی [۱۶] در سه اقلیم مختلف شامل شهرهای تهران، تبریز و بندعباس دریافتند که اضافه شدن بام سبز باعث کاهش میزان نیاز به برق برای تامین سرمایش و گرمایش به کمک پمپ گرمایی در یک ساختمان دوطبقه به ترتیب به میزان ۱۶،۳، ۱۲،۵ و ۲۳ درصد در مقایسه با سقف از جنس آسفالت می‌شود. زانیانی و همکاران [۱۷] با مطالعه یک ویلا در سمنان به کمک نرم افزار دیزاین بیلدر نتیجه گرفتند که می‌توان میزان مصرف انرژی سالیانه را به میزان ۷،۹ درصد کاهش داد.

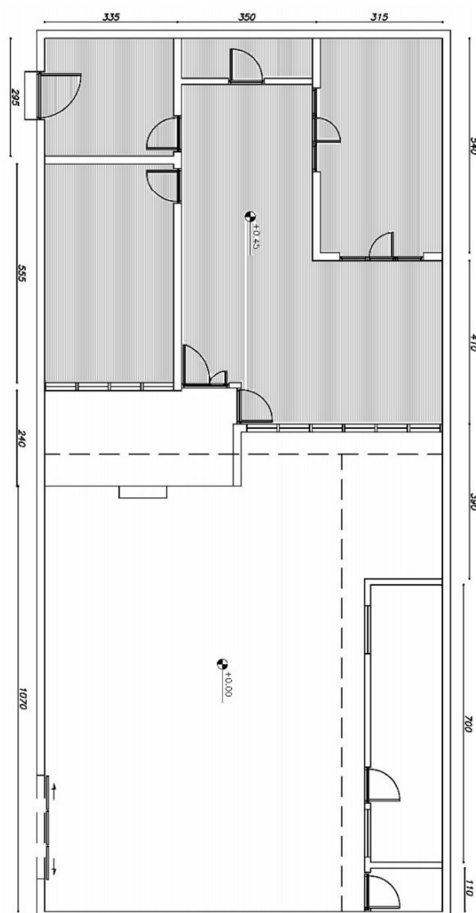
نتایج مطالعاتی که اخیراً در مورد تاثیر بام سبز در آب و هوای مدیترانه‌ای بر کاهش میزان مصرف انرژی به صورت تجربی و شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار TRANSYS انجام شده نشان داده است که بام سبز در یک ساختمان معمولی که جداره آن به خوبی عایق نشده است تا میزان ۳۵ درصد کاهش در بار سرمایشی را به همراه خواهد داشت [۱۸]. مضافاً این کاهش نیاز به انرژی با افزایش شرایط مطبوع داخلی نیز همراه بوده و همچنین سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای ساختمان را به شدت کاهش داده است. در تحقیقی تجربی در استرالیا دیده شده است که بکارگیری بام سبز به طرز چشمگیری باعث کاهش تنش‌های حرارتی در ساختمان شده و همچنین از تغییرات ناگهانی بار حرارتی مورد نیاز نیز جلوگیری می‌کند و به عنوان یکی از بهترین روش‌های بهسازی ساختمان‌های موجود معرفی شده است [۱۹]. برای بهبود عملکرد حرارتی یک ساختمان موجود سناریوهای مختلفی ممکن است که دو مورد از پر کاربردترین و موثرترین آن‌ها شامل بهبود مقاومت حرارتی جدارهای ساختمان و همچنین استفاده از بام سبز در ساختمان است که این مساله از دیدگاه فنی و اقتصادی در یک ساختمان موجود در دانشگاه پلی‌تکنیک میلان مورد مطالعه و نتایج نشان دادند که نیاز انرژی ساختمان تا ۴۰ درصد قابل کاهش است

¹ Heat island

جدول ۱- پارامترهای ورودی شبیه سازی

عنوان	مقدار	واحد
ساکنین	۰,۰۵	نفر $\frac{m^2}{m^2}$
تجهیزات	۲	$\frac{W}{m^2}$
روشنایی	۴	$\frac{W}{m^2}$
نفوذ ناخواسته هوا	۰,۱	ACH

ساختمان یک طبقه بوده و ارتفاع آن ۳,۷ متر می باشد. گرمایش ساختمان به کمک گاز طبیعی (بخاری گازی) و سرمایش آن به کمک کولر آبی صورت می پذیرد که به همراه سایر مصرف کننده های انرژی از جمله آب گرم کن گازی و لامپ های روشنایی در نرم افزار وارد شده اند.



شکل ۱- طرحواره دوبعدی ساختمان

[۲۰]. البته لازم به ذکر است که این تغییرات هر چند از دیدگاه مصرف انرژی نقش به سزایی دارند اما زمان بازگشت سرمایه بلند مدتی دارند. در تحقیقی که در کانادا صورت گرفته است مشاهده شده که با بهبود خواص پوسته یک ساختمان اداری موجود می توان باعث کاهش تا ۴۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه ای و تا ۳۹ درصدی مصرف انرژی شد اما زمان بازگشت سرمایه آن بین ۷,۷ الی ۱۱,۶ سال طول خواهد کشید [۲۱].

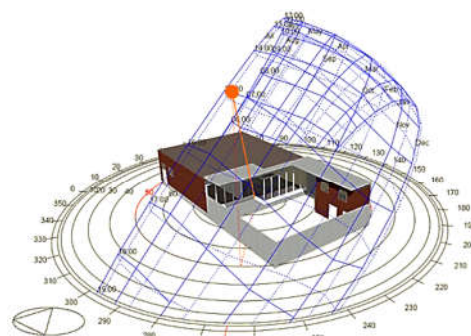
با وجود اهمیت و روند استفاده از بام سبز در مباحث مرتبط با انرژی، معماری ساختمان و همچنین کاهش تاثیرات منفی زیست محیطی مناطق مسکونی بالاخص در انتشار گازهای گلخانه ای در سطح بین المللی، به این مبحث در سطح ملی و در بین مجلات عملی- پژوهشی فارسی زبان توجه درخوری نشده است و مطالعات چاپ شده به زبان فارسی محدودی در این زمینه دیده می شود [۲۲-۲۵]. در بین همین مطالعات محدود، متأسفانه مطالعه نقش بام سبز بر عملکرد حرارتی و میزان مصرف انرژی ساختمان نیز نادر است [۲۲، ۲۴ و ۲۵] و مضافاً استانداردهای ملی و بین المللی موجود در خصوص الزامات انرژی در آن ها مورد بررسی قرار نگرفته است. با هدف رفع خلا مطالعات موجود در زمینه تاثیر بام سبز بر عملکرد حرارتی ساختمان و تحلیل نتایج آن در اقلیم ایران، مطالعه موردی یک ساختمان موجود در اقلیم اصفهان در مطالعه حاضر مورد توجه قرار گرفته است. در این مسیر ابتدا عملکرد حرارتی ساختمان ویلایی موجود و میزان انرژی مورد نیاز آن برای سرمایش و گرمایش در طول سال با نمونه بهسازی شده آن بر مبنای مقررات ملی ساختمان مبحث ۱۹ و استاندارد ۹۰/ASHRAE به کمک شبیه سازی با نرم افزار DB (نسخه ۶,۱) مورد مقایسه تطبیقی قرار گرفته است. در ادامه نقش بام سبز در حالت بهسازی شده این ساختمان بر میزان مصرف انرژی تحلیل و بررسی شده است تا دید بهتری از تاثیر بام سبز بر عملکرد انرژی در یک ساختمان استاندارد را ملاحظه نمود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- ساختمان موجود

در مرحله اول به منظور شبیه سازی ساختمان موجود که در شهر اصفهان واقع شده است از نرم افزار دیزاین بیلدر^۱ (نسخه ۶,۱) که نرم افزار تخصصی طراحی و تحلیل مشخصه های معماری و انرژی ساختمان می باشد، استفاده شده است. نقشه دو بعدی ساختمان در شکل ۱ و نمای سه بعدی ساختمان با ترسیم نحوه حرکت سالیانه خورشید (به عنوان یکی از مهم ترین عوامل محیطی بر میزان مصرف انرژی ساختمان) در شکل ۲ نمایش داده شده و در شبیه سازی نیز از بانک اطلاعاتی نرم افزار استفاده شده است. قسمت مسکونی ساختمان که باید دمای آن در طول سال در محدوده مطبوع کنترل گردد به صورت هایلات شده در شکل ۱ نمایش داده شده است. تعداد افراد و سایر تنظیمات لازم در شبیه سازی نیز به شرح جدول ۱ می باشد.

^۱ DesignBuilder(DB)



شکل ۲- طرحواره سه‌بعدی ساختمان و محوطه آن

به منظور تطابق با استانداردهای بهره‌برداری از ساختمان، دمای تنظیم سیستم سرمایش^۱ برابر ۲۵ و دمای تنظیم سیستم گرمایش^۲ برابر ۲۱ درجه سانتی‌گراد مطابق استاندارد ۹۰/۲ASHRAE^۳ در نظر گرفته شده است. دمای راهاندازی^۴ برای حالات سرمایش و گرمایش نیز به ترتیب برابر ۲۸ و ۱۶ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است. جنس مصالح سقف و دیوار از آجر، ملات سیمان، گچ و خاک و گچ تشکیل شده که به ترتیب مطابق جداول ۲ و ۳ می‌باشد. در حالت موجود پنجره ساختمان از نوع شیشه تک‌جداره بوده و ضریب انتقال گرما آن برابر برابر با $W/m^2.K$ ۵/۷۷۸ است.

جدول ۲- مشخصات مصالح سقف

مشخصات سقف	ضخامت	واحد
بیرونی ترین لایه	۰/۱ (پوکه)	m
لایه ۲	۰/۱۱ (آجر)	m
لایه ۳	۰/۰۳ (ملات)	m
درونی ترین لایه	۰/۰۳ (گچ)	m

جدول ۳- مشخصات مصالح دیوارها

دیوار خارجی	ضخامت	واحد
بیرونی ترین لایه	۰/۱۳ (آجر)	m
لایه	۰/۰۳ (خاک گچ)	m
درونی ترین لایه	۰/۰۱ (گچ)	m

۲-۲- الزامات مورد نیاز ساختمان بر اساس مبحث ۱۹

با توجه به کاربری‌های تعریف شده برای ساختمان‌های مستقل برای شهر اصفهان از روش تجویزی در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، این ساختمان‌ها باید دارای جدارهایی به حداقل ضریب انتقال گرما اشاره شده در جدول ۴ باشند. حال با توجه به اختلاف در ضرایب انتقال حرارت دیوار خارجی، سقف و شیشه ساختمان، باید این موارد اصلاح شده تا مطابق الزامات مبحث ۱۹ قرار گیرد. برای این منظور مشخصات دیوار خارجی، سقف و شیشه ساختمان بدین ترتیب

^۱ Cooling Set point

^۲ Heating Set point

^۳ ASHREA 90.2

^۴ Setback

اصلاح شده‌اند. با توجه به ضخامت های اجرایی عایق کاری، به دیوار خارجی ۳ سانتی‌متر عایق پلی استایرن از داخل اضافه شده تا به ضریب انتقال گرما $W/m^2.K$ ۰/۸۸ برسد. همچنین به سقف ۸ سانتی متر عایق پلی استایرن از داخل اضافه شده تا حداقل ضریب انتقال گرما $W/m^2.K$ ۰/۳۸ رعایت شود. شیشه ساختمان نیز تعویض شده و از دو جداره ۳ میلیمتری شفاف که فضای مابین آن‌ها با گاز آرگون به ضخامت ۱۳ میلیمتر قرار داده شده است. فریم این پنجره‌ها نیز UPVC در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- الزامات تجویزی مبحث ۱۹ جهت رعایت در اقلیم اصفهان

[۳]

عناصر ساختمانی	ضریب انتقال حرارت	واحد
دیوار	۰/۸۸	$W/m^2.K$
بام	۰/۳۸	$W/m^2.K$
کف در تماس با هوا	۰/۵۷	$W/m^2.K$
کف در تماس با خاک	۱/۸۳	$W/m^2.K$
در	۴/۴۱	$W/m^2.K$
جدار نور گذر	۳/۴	$W/m^2.K$
جدار مجاور فضای کنترل نشده	۰/۶۹	$W/m^2.K$

۲-۳- الزامات مورد نیاز ساختمان بر اساس استاندارد

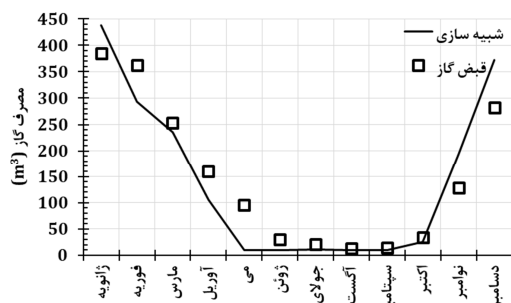
۹۰/۲ASHRAE

بر اساس استاندارد ۹۰/۲ASHRAE جزئیات و مشخصات ساختمان را بر اساس اقلیم مورد نظر باید انتخاب نمود. جزئیات ضرایب انتقال گرما جدارها و اجزای ساختمان در جدول ۵ برای اقلیم اصفهان (با کد مشخصه 3B) مشخص شده است. در جدول ۱-۳ ضمیمه این استاندارد، اغلب نقاط در سرتاسر دنیا از جمله بسیاری از شهرهای ایران تحت مناطق آب و هوایی مشخصی دسته‌بندی و کدگذاری شده‌اند. همچنین مشخصات مناسب برای تجهیزات انرژی‌بر (مانند لامپ‌ها و سیستم تهویه مطبوع) نیز به تفصیل ارائه شده است که در اینجا به منظور جلوگیری از اطاله کلام، صرفاً به این استاندارد ارجاع داده می‌شود. بنابر الزامات این استاندارد، سیستم گرمایش از بخاری گازی در حالت فعلی باید به پکیج تغییر پیدا کند که در شبیه‌سازی اعمال شده است.

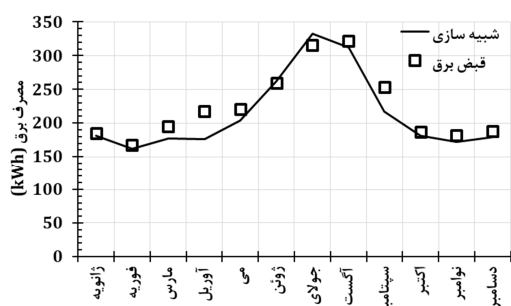
جدول ۵- الزامات استاندارد ۹۰/۲ASHRAE [۵]

منطقه آب و هوایی	پنجره‌های شیشه‌ای	سقف شیشه‌ای	پنجره‌ها	سقف شیشه‌ای	سقف	دیوارهای قلابدار	حجم دیوارها	طبقات	دیوارهای طبقه‌های زیرین	فضای خالی دیوارمدار
۰	۲۵/۳۰	۸۴/۳۰	۲۴/۴	۲۰/۲۰	۴۸/۱۲	۳۶/۱۰	۴/۲	۷۱/۲	۱۰۴/۲	۷۱/۲
۱	۲۵/۳۰	۸۴/۳۰	۲۴/۴	۲۰/۲۰	۴۸/۱۲	۳۶/۱۰	۴/۲	۷۱/۲	۱۰۴/۲	۷۱/۲
۱	۲۵/۳۰	۲۷/۳۰	۲۴/۴	۲۰/۲۰	۶۹/۱۷	۴۸/۱۲	۳۶/۱۰	۷۱/۲	۱۰۴/۲	۷۱/۲
۳*	۲۵/۳۰	۹۹/۳۰	۱۲/۱۲	۱۷/۱۷	۳۴/۵۶	۲۷/۲۷	۵۶/۲۷	۷۷/۷۷	۱۰۴/۲	۷۱/۲

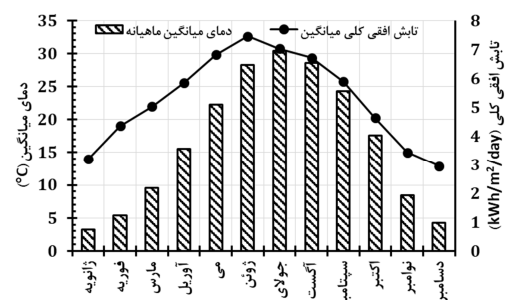
توضیحات تکمیلی در خصوص اقلیم اصفهان در مرجع [۲۸] آورده شده است.



شکل ۳- اعتبار سنجی شبیه‌سازی برای مصارف گاز ساختمان موجود



شکل ۴- اعتبار سنجی شبیه‌سازی برای مصارف برق ساختمان موجود



شکل ۵- میانگین دما و شدت تابش دریافتی در اصفهان [۲۹]

میزان مصارف بخش‌های مختلف ساختمان موجود و تغییرات آن در ماه‌های مختلف در شکل ۶ نمایش داده شده است. همچنین میزان مصارف سالیانه انرژی ساختمان (شامل مصارف برق و گاز) ساختمان موجود به تفکیک مصارف در جدول ۷ نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که عمده مصرف گاز و برق ساختمان در وضع موجود به ترتیب به گرمایش و تجهیزات الکتریکی مربوط هستند. از آنجا که سرمایه‌گذاری ساختمان با کولر آبی بوده و همچنین جهت‌گیری ساختمان به سمت شمال‌غربی می‌باشد، میزان مصرف انرژی (برق) بخش سرمایه‌گذاری چشمگیر نمی‌باشد که استفاده از سایه‌بان در معماری ساختمان موجود نیز باعث کاهش مضاعف آن شده است.

		۰	۰	۰	۰	۰	۳	۱	۰	۰	۵۲	۰
۴	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۵	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۶	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۷	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۸	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰

۴-۲- مشخصات بام سبز

پارامترهای در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی بام سبز به صورت خلاصه در جدول ۶ ارائه شده که توضیحات تکمیلی در خصوص این خواص و نحوه تغییرات و تأثیرات آن در مراجع [۲۶ و ۲۷] بیان شده است. با بکارگیری بام سبز، ضریب انتقال گرما سقف ساختمان به مقدار $0.346 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ می‌رسد که کمتر از حداقل حد تعیین شده توسط مبحث ۱۹ برابر $0.38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ می‌باشد.

جدول ۶- مشخصات بام سبز مورد استفاده در شبیه‌سازی

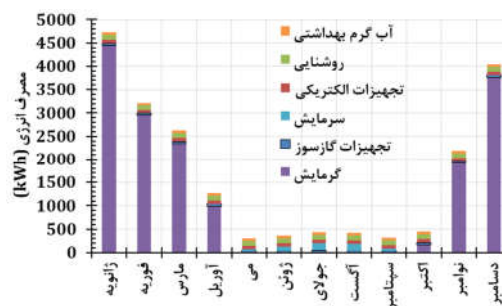
واحد	مقدار	مشخصات سقف سبز
m	۰/۱	ارتفاع خاک
W/m.K	۰/۲۵	رسانایی گرمایی
Kg/m³	۷۰۰	چگالی
J/kg.K	۱۵۰۰	گرمای ویژه
m	۰/۳	ارتفاع گیاهان
LAI	۵	شاخص سطح برگ
---	۰/۲۲	ضریب بازتاب برگ
---	۰/۹۵	ضریب انتشارات برگ
s/m	۱۸۰	حداقل مقاومت روزنه‌ای
---	۰/۵	حداکثر مقدار رطوبت حجمی در اشباع
---	۰/۰۱	حداقل مقدار رطوبت حجمی باقی مانده
---	۰/۱۵	مقدار رطوبت حجمی اولیه

۳- نتایج

در قدم اول دقت نتایج شبیه‌سازی میزان مصارف گاز و برق ساختمان موجود با مقدار واقعی آن (بر اساس تغییرات شمارشگر کنتور و قبوض گاز و برق) در شکل‌های ۳ و ۴ مورد مقایسه قرار می‌گیرد و ملاحظه می‌گردد که نتایج شبیه‌سازی با مقادیر واقعی تطابق مناسبی دارند. تغییر نقطه میزان بیشینه مصرف گاز در زمستان و همچنین تفاوت دیده شده در فصل بهار نیز به این دلیل است که نرم‌افزار DB از پایگاه داده‌های آب و هوایی که حاصل میانگین بلند مدت می‌باشند و این مقادیر بلند مدت در هر سال ممکن است با تفاوت‌ها و نوسان‌هایی همراه باشند. مشاهده می‌گردد که بیشترین میزان مصرف انرژی برای ماه ژانویه خواهد بود زیرا که کمترین میزان دمای میانگین ماهیانه در اقلیم مورد نظر (یعنی اصفهان) در این ماه مشاهده می‌گردد (شکل ۵). البته از آنجا که اصفهان در دست اقلیم بیابانی قرار دارد (با رطوبت پایین) لذا بار سرمایشی مورد نیاز در این اقلیم به نسبت بالا نیست.

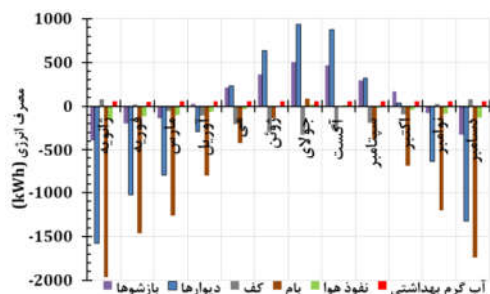
جدول ۷- مصارف انرژی بخش‌های مختلف ساختمان موجود

عنوان	مقدار مصرف انرژی (kWh)	درصد (%)
آب گرم بهداشتی	۶۶۸	۳,۳
تجهیزات گازسوز	۵۸۷	۲,۹
گرمایش	۱۶۵۵۸	۸۱,۳
روشنایی	۸۶۳	۴,۲
تجهیزات الکتریکی	۱۲۴۴	۶,۱
سرمایش	۴۴۹	۲,۲
مجموع	۲۰۳۶۹	۱۰۰



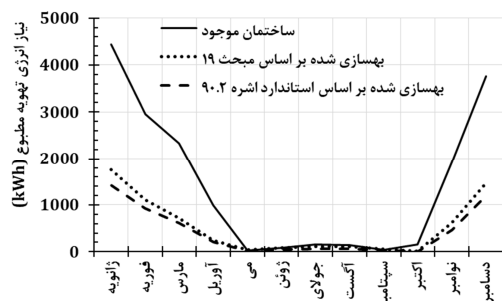
شکل ۶- مصارف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان موجود

با توجه به اینکه گرمایش بخش اعظم از نیاز به انرژی ساختمان موجود را با سهم ۸۱/۳ درصدی تشکیل می‌دهد، تبدلات حرارتی بیشترین اهمیت را در عملکرد انرژی ساختمان ایفا می‌کند. شکل ۷ میزان انرژی تبادل شده از بخش‌های مختلف ساختمان با محیط در طی ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که بیشترین میزان انتقال انرژی از دیوارها جانبی و همچنین سقف صورت می‌گیرد. مثبت بودن عدد در این شکل یعنی جهت انتقال انرژی یا همان میزان گرما از بیرون به درون ساختمان است که در ماه‌های گرم سال رخ می‌دهد و متقابلاً در ماه‌های سرد سال، ساختمان گرما از دست می‌دهد که معادل تبادل انرژی منفی است. همچنین از نمودار نیز مشخص است که میزان نیاز غالب ساختمان، نیاز گرمایشی است که به اقلیم و معماری ساختمان مرتبط است. نکته مهم، میزان انرژی تبادل شده از طریق سقف بالاخص در ماه‌های سرد سال است. از آنجا که هوای گرم در زیر سقف جمع می‌شود و هوای سرد در ماه‌های سرد در بالای سقف حضور دارد، لذا بیشینه اختلاف دما در بین دو طرف سقف شکل می‌گیرد که این مساله باعث اتلاف حرارتی بالا در ماه‌های سرد سال از طریق سقف (حتی بیشتر از دیوارهای جانبی با وجود مساحت کلی بیشتر دیوارها) می‌شود. بنابراین تغییر خواص حرارتی سقف تأثیر بسزایی بر نیاز انرژی ساختمان خواهد داشت که موضوع مطالعه حاضر نیز می‌باشد.

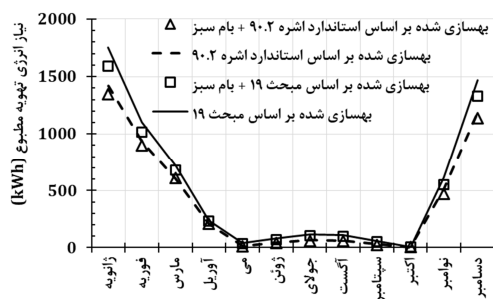


شکل ۷- تبدلات گرمایی ساختمان با محیط از قسمت‌های مختلف

به منظور بهسازی عملکرد حرارتی ساختمان و نیاز انرژی برای مصارف گرمایش و سرمایش (تهویه مطبوع) عایق‌بندی ساختمان برای مطابقت با مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹) و همچنین در حالت مطابقت با استاندارد ۹۰/۲ASHRAE که مختص ساختمان‌های کم‌انرژی و کم ارتفاع است و بر اساس مشخصات بیان شده در بخش شبیه‌سازی، بهسازی و مجدد مدلسازی شده است که نتایج آن در شکل ۸ نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که میزان مصرف انرژی بالاخص در بخش گرمایش که سهم عمده نیاز انرژی ساختمان را تشکیل می‌دهد با رعایت استانداردهای ملی یا بین‌المللی با عایق کاری مناسب و به تبع آن کاهش میزان ضریب انتقال گرما عناصر تأثیرگذار ساختمان (جدول ۸) به شدت کاهش می‌یابد. میزان نیاز به انرژی ساختمان موجود اگر حداقل‌های مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان را رعایت کند به میزان ۶۳ درصد کاهش می‌یابد که بسیار قابل تامل می‌باشد. همچنین در صورت رعایت مشخصات مورد نیاز در استاندارد جهانی ۹۰/۲ASHRAE، این میزان نیاز به انرژی به میزان ۱۹ درصد دیگر در مقایسه با مبحث ۱۹ و ۷۰ درصد در مقایسه با ساختمان موجود نیز مجدد کاهش خواهد داشت و در واقع میزان مصرف انرژی برای تهویه مطبوع به یک سوم میزان موجود خواهد رسید. نتیجه بدست آمده با نتایج حاصل از تحلیل داده‌های کلان مصرف انرژی در ساختمان و گزارش‌های ترازنامه انرژی کشور را که بیان می‌کنند میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های کشور ۳ الی ۴ برابر استانداردهای جهانی است [۱ و ۲] را نیز از دیدگاه خرد و نمونه موردی تأیید می‌کند. لذا نتایج بدست آمده ضرورت رعایت استاندارد در احداث ساختمان‌های جدید یا بازسازی ساختمان‌های موجود با حداقل هزینه و صرفاً با افزودن عایق، چه از دید خرد و چه از دید کلان و لحاظ نمودن منافع ملی، را نمایان می‌سازد.



شکل ۸- میزان مصرف انرژی برای تهویه مطبوع در ساختمان موجود و نمونه‌های مشابه بهسازی شده بر اساس مبحث ۱۹ و ۹۰/۲ASHRAE



شکل ۹- میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای تهویه مطبوع در حضور و عدم حضور بام سبز

۴- نتیجه‌گیری

میزان مصرف انرژی در یک ساختمان ویلایی با معماری سنتی در اقلیم اصفهان به کمک نرم‌افزار DB شبیه‌سازی و با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفت. دیده شد که میزان نیاز انرژی غالب با سهم ۸۱ درصدی به گرمایش ساختمان مرتبط می‌شود. با هدف تعیین عملکرد حرارتی ساختمان در صورت رعایت الزامات مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹) و همچنین استاندارد بین‌المللی ۹۰/۲ASHRAE، مشخصات پوسته ساختمان تغییر یافت که خلاصه نتایج بدست آمده از مطالعه حالت‌های مختلف برای بهسازی عملکرد حرارتی ساختمان موجود، در جدول ۹ نشان داده شده است. دیده شد عایق‌کاری جداره ساختمان نقش بسیاری در کاهش نیاز به انرژی برای ایجاد شرایط مطبوع محیطی را به همراه خواهد داشت. در این بین سقف ساختمان بیشترین نقش را در اتلاف حرارتی بالاخص در ماه‌های سرد بازی می‌کند. دلیل امر این است که سقف در ماه‌های سرد تحت بیشترین اختلاف دما قرار دارد، زیرا که از وجه زیرین با هوای گرم و از وجه فوقانی با هوای سرد محیط در تماس است. لذا تغییر مشخصات سقف بیشترین تاثیر در کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان‌هایی که در آن نیاز به گرمایش مصرف غالب را نتیجه خواهد داد. لذا استفاده از بام سبز که عنصری دوستدار محیط زیست و افزایشده فضای سبز در مناطق مسکونی است، از دیدگاه انرژی نیز نقش مثبت و سازنده‌ای را در بهبود رفتار حرارتی ساختمان بازی می‌کند که توصیه مضاعف بکارگیری از بام سبز در معماری ساختمان را نتیجه می‌دهد، درحالی‌که این مساله در ساختمان‌های کشور در عمل متأسفانه مورد توجه قرار نگرفته است.

جدول ۹- خلاصه نتایج بهسازی عملکرد حرارتی ساختمان موجود

حالت	کاهش در مصرف انرژی سیستم سرمایش	کاهش در مصرف انرژی سیستم گرمایش	کاهش انرژی کل
رعایت مبحث ۱۹	۸ درصد نسبت به حالت موجود	۶۴ درصد نسبت به حالت موجود	۶۳ درصد نسبت به حالت موجود
رعایت مبحث ۱۹ به همراه بکارگیری بام سبز	۱۲/۱ نسبت به مبحث ۱۹	۹/۳ درصد نسبت به مبحث ۱۹	۹/۵ نسبت به مبحث ۱۹

جدول ۸- مقادیر ضرایب انتقال گرما ($\frac{W}{m^2K}$)

عنوان	ساختمان موجود	بهسازی بر اساس مبحث ۱۹	بهسازی بر اساس استاندارد ۹۰/۲ASHRAE	بهسازی بر اساس استاندارد ASHRAE ۹۰/۲ + بام سبز
دیوار	۲,۳۵	۰,۸۸	۰,۸۸	۰,۵۶
سقف	۱,۶۷	۰,۳۸	۰,۳۳	۰,۱۶
پنجره	۵,۷۸	۲,۵۶	۲,۵۶	۲

همانطور که مشاهده شده است، با ایجاد تغییرات کوچکی در عایق‌بندی ساختمان موجود به منظور رعایت مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۹) یا استاندارد بین‌المللی ۹۰/۲ASHRAE، میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش ساختمان کاهش چشم‌گیری داشته است. در این قسمت بررسی می‌شود آیا باز هم می‌توان به کمک روش‌هایی دوستدار و سازگار با محیط زیست میزان نیاز به انرژی را کاهش داد یا خیر. یکی از این روش‌ها، بکارگیری از بام سبز در معماری می‌باشد. اگر مطابق مشخصات ذکر شده در قسمت شبیه‌سازی، به ساختمان‌های بهسازی شده بام سبز نیز اضافه گردد، عملکرد انرژی ساختمان مطابق شکل ۹ خواهد بود. با توجه به اینکه خاک و رطوبت موجود در بام سبز اینرسی حرارتی (حاصل‌ضرب جرم در گرمای ویژه) بسیار بیشتری نسبت به هوای محیط اطراف دارد، لذا بام سبز باعث متعادل کردن تغییرات دمای محیط خواهد شد [۲۷]. به عبارت دیگر هرچه اینرسی حرارتی بیشتر باشد، مقاومت بیشتری در برابر تغییرات دما خواهد داشت که این مساله باعث کاسته شدن از بیشینه بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز به ترتیب در زمستان و تابستان می‌شود [۱۶]. به همین دلیل علاوه بر افزودن زیبایی بصری به ساختمان و همچنین کمک به افزایش فضای سبز در محیط شهری [۳۰]، در کاهش مصرف انرژی مورد نیاز تهویه مطبوع ساختمان نیز موثر خواهد بود [۲۰]. نتایج نشان می‌دهند که با اینکه عایق‌کاری ساختمان و رویکرد کاهش رسانایی گرمایی در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان تا حد مناسبی مطلوب است، اما دیده می‌شود که میزان مصرف انرژی ساختمانی که بر اساس قواعد مبحث ۱۹ ساخته شده باشد باز هم به میزان ۹ درصد دیگر صرفاً با استفاده از بام سبز آن هم تنها با ضخامت خاک ۱۰ سانتی‌متر قابل کاهش است. این میزان کاهش مصرف انرژی برای ساختمانی که بر اساس استاندارد ۹۰/۲ASHRAE ساخته شده باشد به میزان نصف و حدود ۴ درصد خواهد بود. به عبارت دیگر الزامات کاهش رسانایی گرمایی جداره در استاندارد ۹۰/۲ASHRAE به حدی بالا است که استفاده از بام سبز تاثیر زیادی روی میزان مصرف انرژی ندارد.

رعایت استاندارد ASHRAE ۹۰/۲	۵۲/۲ درصد نسبت به حالت موجود	۷۰/۵ درصد نسبت به حالت موجود	۷۰ درصد نسبت به حالت موجود
رعایت استاندارد ASHRAE ۹۰/۲ به همراه یکارگیری بام سبز	۸/۶ درصد نسبت به ساختمان بر اساس استاندارد ASHRAE ۹۰/۲	۳/۷ درصد نسبت به ساختمان بر اساس استاندارد ASHRAE ۹۰/۲	۳/۹ درصد نسبت به ساختمان بر اساس استاندارد ASHRAE ۹۰/۲

۵- مراجع

- [1] ترازنامه انرژی سال ۹۴، وزارت نیرو، ۱۳۹۶.
- [2] خبرگزاری ایسنا، کد خبر ۹۶۱۲۱۵۰۸۵۰۰ <http://www.isna.ir/news/>، دسترسی: بهار ۱۳۹۹.
- [3] مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان: صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سازمان نظام مهندسی ساختمان، ۱۳۸۹.
- [4] ANSI/ASHRAE 90.1-2018: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), 2018.
- [5] ANSI/ASHRAE 90.2-2018: Energy-Efficient Design Of Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), 2018.
- [6] استاندارد ملی شماره ۱۴۲۵۳: ساختمان‌های مسکونی - تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی، سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۰.
- [7] استاندارد ملی شماره ۱۴۲۵۳: ساختمان‌های غیر مسکونی - تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی، سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۰.
- [8] Fayaz, R. and Kari, B.M., Comparison of energy conservation building codes of Iran, Turkey, Germany, China, ISO 9164 and EN 832. *Applied Energy*, 86(10), pp.1949-1955, 2009.
- [9] عباسپور م. و باجگیران م.ر.، جایگاه تحلیل نرم افزاری در ممیزی انرژی در بخش ساختمان، *فصلنامه انسان و محیط زیست*، ش ۸، ص ۱-۱۰، ۱۳۸۹.
- [10] ابوالحسنی ن.، کاری ب.م. و فیاض ر.، بهسازی حرارتی جدار ساختمان‌های موجود در اقلیم سرد در ایران با بهره‌گیری از ویژگی‌های دیوار ترومب، *مطالعات معماری ایران*، ش ۸، ص ۱۰۷-۱۱۸، ۱۳۹۴.
- [11] کریمیان م.، بهسازی انرژی نمای ساختمان‌های موجود در اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی: ساختمان اداری در اصفهان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۹۵.
- [12] شاه حسینی م. و کارگر شریف آباد ه.، بررسی تاثیر عایق کاری سقف و دیوار دو جداره در مصرف انرژی ساختمان اداری در شهر گرمسار با نرم افزار دیزاین بیلدر، *فصلنامه مهندسی مکانیک و ارتعاشات*، ش ۹، ص ۴۵-۵۰، ۱۳۹۷.
- [13] Lazzarin R.M., Castellotti F. and Busato, F., Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy and Buildings*, 37(12), pp.1260-1267, 2005.
- [14] Cai L., Feng X.P., Yu J.Y., Xiang Q.C. and Chen R., Reduction in carbon dioxide emission and energy savings obtained by using a green roof. *Aerosol and Air Quality Research*, 19(11), pp.2432-2445, 2019.
- [15] Taheri M.R., Rahman N.A. and Salleh E., The Perception of Cooling Roofs among Professionals in Iran. *ALAM CIPTA UPM: International Journal of Sustainable Tropical Design Research & Practice*, 2(1), pp.27-32, 2007.
- [16] Ebadati M. and Ehyaei M.A., Reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs in three different climates of Iran. *Advances in Building Energy Research*, 14(1), pp.66-93, 2020.
- [17] Zaniani J.R., Ghaifarokhi S.T., Jahangiri M. and Shamsabadi A.A., Design and optimization of heating, cooling and lightening systems for a residential villa at Saman city, Iran. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 17, pp. 41-52, 2019.
- [18] Bevilacqua P., Bruno R. and Arcuri N., Green roofs in a Mediterranean climate: Energy performances based on in-situ experimental data. *Renewable Energy*, 152, pp.1414-1430, 2020.
- [19] Feitosa R.C. and Wilkinson S.J., Small-scale experiments of seasonal heat stress attenuation through a combination of green roof and green walls. *Journal of Cleaner Production*, 250, p.119443, 2020.
- [20] Ferrari S. and Beccali M., Energy-environmental and cost assessment of a set of strategies for retrofitting a public building toward nearly zero-energy building target. *Sustainable cities and society*, 32, pp.226-234, 2017.
- [21] Charles A., Maref W. and Ouellet-Plamondon C.M., Case study of the upgrade of an existing office building for low energy consumption and low carbon emissions. *Energy and Buildings*, 183, pp.151-160, 2019.
- [22] ادیبی ا. و زرغامی ا.، ارزیابی عملکرد حرارتی بام سبز در پایداری و بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و خشک ایران، *معماری و شهرسازی پایدار*، ش ۱، ص ۷۵-۹۰، ۱۳۹۵.
- [23] علی اکبرزاده ر. و فیض منش ف.، بررسی تطبیقی انواع باغ بام سبز در جهت تعدیل جزایر حرارتی در کلان شهر اردبیل، *معماری سبز*، ش ۱۱، ص ۷۷-۸۴ و ۱۳۹۷.
- [24] تنکابنی م. و منجمی ش.، بررسی عملکرد حرارتی ساختمان‌های بهره‌مند از بام سبز، *معماری سبز*، ش ۱۶، ص ۳۷-۴۴، ۱۳۹۸.
- [25] سیدعلیرضا ذوالفقاری، مهران سعادت نسب، الهه نوروزی جاجرم، بررسی تأثیر استفاده از نماهای دوجوهر سبز بر مصرف انرژی ساختمانهای بلند مرتبه در شرایط اقلیمی تهران، *مدلسازی در مهندسی*، ش ۱۷، ص ۵۱-۶۱، ۱۳۹۸.
- [26] Khotbehsara E.M., Daemei A.B. and Malekjahan F.A., Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. *Results in Engineering*, 2, p.100010, 2019.
- [27] Mahmoodzadeh M., Mukhopadhyaya P. and Valeo, C., Effects of extensive green roofs on energy performance of school buildings in four North American climates. *Water*, 12(1), p.6, 2020.
- [28] کسمایی م.، پهنه بندی اقلیمی ایران، مسکن و محیط‌های مسکونی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۱.
- [29] Photovoltaic geographical information system of EU Commission (<https://re.jrc.ec.europa.eu>, Accessed: Jun 2019).
- [30] Besir A.B. and Cuce E., Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp.915-939, 2018.