

## ۰۷ تأثیر گودال باغچه در تعدیل دمای محیطی و مصرف انرژی در اقلیم گرم و خشک

<sup>۱</sup> مهرداد شب خیز فردوئی، <sup>۲</sup> ایرج اعتصام \*

### چکیده

ساختمان به عنوان یکی از عوامل موثر در تغییر محیط زیست به شمار می‌آید و با استناد به ترازنامه انرژی از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۹۱، به صورت میانگین در هر سال ۱۷/۳۸ درصد از انرژی کل کشور در ساختمان‌ها مصرف می‌شود؛ لذا با دستیابی به بخشی از دانش کاربردی و برای پاسخگویی به نیازهای اساسی و محیطی، به شناسایی و بررسی المان گودال باغچه در خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک می‌پردازیم تا ضمن تداوم ارزش‌های معماری گذشته، معیارهای معماری سازگار با نیازهای اساسی انسان را تبیین کنیم. از این رو روش تحقیق، کمی - کیفی و توصیفی - تحلیلی است که با استفاده از دوربین حرارتی مدل DT-982 و برداشت چندین سطح از طبقات بنا به این نتیجه می‌رسیم که بنای سنتی خواجه خضر در شهر یزد با بهره‌گیری از گودال باغچه دارای شرایطی چون تعدیل دمای محیطی تا ۱۵/۲ درجه سلسیوس است. با تجزیه و تحلیل یافته‌ها و شبیه‌سازی دو بنا که یک نمونه از بناها فاقد گودال باغچه و دیگری دارای گودال باغچه است، در برنامه دیزاین بیلدر اثبات می‌کنیم که به‌وسیله گودال باغچه امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی برق جهت تأمین روشنایی، سیستم سرمایش و گرمایش به میزان ۲۷ درصد وجود دارد.

تاریخ دریافت:  
۱۳۹۸ / ۰۳ / ۲۸

تاریخ پذیرش:  
۱۳۹۸ / ۰۶ / ۲۸

کلمات کلیدی:  
گودال باغچه،  
انرژی،  
اقلیم گرم و خشک،  
دیزاین بیلدر/

## ۱. مقدمه

در شرایط کنونی آلودگی اکوسیستم محیط زمین و استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، باعث شرایط گلخانه‌ای زمین شده است. لذا باید از راه‌های جایگزین که با تمهیداتی جهت همگام‌سازی معماری با اقلیم به صورت معماری پایدار وجود دارد مورد توجه و استفاده قرار گیرد. [۱]

فاکتورهای متعدد و تاثیرگذار بر رفتار مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، مسئله پیش‌بینی و ممیزی مصرف انرژی را به چالشی مهم در موسسات بهینه‌سازی مصرف تبدیل نموده است. احتیاجات انرژی جهان به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است و منابع انرژی‌های فسیلی در قرن‌های آینده، دیگر جوابگوی نیاز انرژی جهان برای بقاء، تکامل و توسعه نخواهد بود. [۲]

با توجه به سهم بالای مصرف انرژی در واحدهای مسکونی و دارا بودن بالاترین اولویت برای کاهش مصرف، توجه به عوامل گوناگونی که در میزان مصرف انرژی ساختمان نقش دارند، در ارائه راهکارهای صرفه جویی در بخش خانگی، تاثیر فراوانی میگذارد. [۳]

در این پژوهش به بررسی نقش گودال باغچه به عنوان یک فضای زیرزمینی می‌پردازیم که قدیمی‌ترین نوع سرپناه بشر محسوب می‌شود. استفاده از فضاهای زیرزمینی در دزفول به زمان شکل‌گیری اولیه شهر با قدمت بیش از ۱۵۰۰ سال محتمل است. اگرچه در برخی از پژوهش‌های انجام شده، کاربرد فضاهای زیرزمینی به عنوان فضای زندگی محسوب نشده و زیرزمین را اختراعی امروزی می‌دانند، اما وجود چندین نمونه از خانه‌هایی با حیاط‌های گودال باغچه درون زمین در معماری بومی روستای ماتماتا در جنوب تونس متعلق به ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد، کاربرد فضاهای زیرزمینی را تأیید می‌کند [۴] و دلیل استفاده از فضای زیر زمینی بدینسان است که زمین دارای منبع گرمایی تقریباً نامحدودی است که میزان ظرفیت حرارتی بالای آن امکان ذخیره‌سازی فصلی گرما را فراهم می‌آورد.

دمای خاک در عمق‌های پایین‌تر از ۶ متر، تقریباً پایدار و برابر با میانگین سالانه دمای سطح می‌باشد و به دلیل تابش خورشید و دمای بسیار زیاد هسته زمین، معمولاً دو یا سه درجه گرم‌تر از میانگین سالانه دمای هوا می‌باشد. در عمق کم با افزایش عمق نوسانات سالانه، دمای خاک کاهش یافته و با افزایش عمق، تأخیر زمانی در دماها ایجاد خواهد شد.

ویژگی‌های حرارتی خاک، بسته به نوع خاک (ثابت)، فشردگی آن (نسبتاً ثابت) و رطوبت (که با شرایط باران و آب‌های زمینی تغییر می‌کند) متفاوت می‌باشد. در ساختمان‌های زیرزمینی، جرم حرارتی افزایش یافته و خاک دمای نسبتاً پایداری را در سال فراهم می‌آورد که منجر به ذخیره‌سازی فصلی گرما می‌شود. بنابراین گرمای جذب شده سطوح زمین در تابستان، چندین ماه ذخیره شده و دمای فضای زیرزمینی را در فصول دیگر متعادل می‌سازد. در تابستان خاک خنک با دمای کمتر از دمای هوا منبع مناسب سرمایه‌ش است. [۵]

## ۲. داده‌ها و روش تحقیق

در این پژوهش با مطالعه اسناد کتابخانه‌ای از کتب و مقالات مرتبط با مباحث پژوهش، نمونه فضاهای مشابه با عملکرد و رویکرد پروژه، در صورت در دسترس بودن مورد بازدید قرار گرفته و با استفاده از علوم کامپیوتری به بررسی داده‌ها و تحلیل آنها پرداخته شده است. مهمترین داده‌هایی که در این تحقیق مورد نیاز می‌باشند، داده‌های جوی، خصوصیات سطح زمین و نقشه‌های کاربری سطح زمین می‌باشد. داده‌های جوی شامل داده‌های ساعت آفتابی، میزان ابری بودن آسمان، سرعت، جهت و فراوانی باد بوده که از سازمان هواشناسی و داده‌های تابش کلی از ایستگاه تابش سنجی (یزد، نایین و کاشان) تهیه شده است، همچنین با استفاده از نرم افزار design builder به شبیه‌سازی و تعیین میزان مصرف انرژی دو واحد مسکونی مجزا در شهر یزد پرداخته شده است.

## ۳. اهداف تحقیق

مطالعه نقش گودال باغچه در معماری بومی هدف تحقیق پیش رو می‌باشد و مشخصاً به این پرسش پاسخ داده می‌شود که گودال باغچه چه نقشی در مصرف انرژی ساختمان دارد؟

## ۴. تعاریف

### ۴-۱. انرژی

خاصیت کمیته یک جسم است که قابل اندازه‌گیری و انتقال به اشیای دیگر یا قابل تبدیل به حالت‌ها و شکل‌های مختلف است. انرژی، کمیته بنیادین است که برای توصیف وضعیت یک ذره، شیء یا سامانه به آن نسبت داده می‌شود.

#### ۲-۴. اقلیم گرم و خشک

در مناطق تحت نفوذ اقلیم خشک، میزان تبخیر و تعرق حاصل از سطوح آنها و پوشش رویشی و خاک، بیش از میزان بارندگی می‌باشد. از این رو نیاز به آب در محیط از طریق بارندگی تأمین نمی‌گردد. ذخیره همیشگی آبهای زیر زمینی نیز نیاز آبیاری را تأمین نمی‌کند [۶].

#### ۳-۴. گودال باغچه

گودال باغچه در معماری سنتی ایرانی، در وسط حیاط مرکزی و یک طبقه در داخل زمین قرار می‌گیرد. نمونه‌های این فضا در اقلیم‌های خشک کویری از جمله در کاشان، نائین و یزد دیده می‌شود. گودال باغچه علاوه بر تأمین خاک مورد نیاز خشت‌های استفاده شده در بنا، امکان دسترسی به آب قنات را نیز فراهم می‌کند [۷]. استاندارد گودال باغچه در فضای مسکونی طبق مبحث ۴ مقررات ملی ساختمان، بند ۴-۵-۸-۴-۱ بدین شرح است: اگر گودال باغچه جهت تأمین نور و تهویه در فضای مسکونی طراحی شده است، باید دارای حداقل ۲۰ مترمربع مساحت و حداقل ۵/۴ متر عرض باشد [۸].

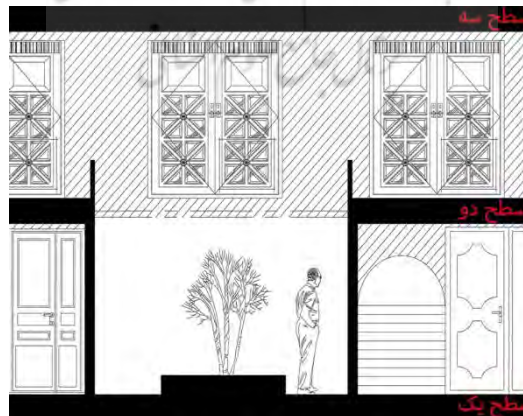
#### ۴-۴. برداشت از اقامتگاه بوم گردی خواجه خضر در یزد

با استفاده از دستگاه ترمووژن به اندازه گیری سه سطح مختلف از این بنا پرداختیم:

سطح ۱: محیط اطراف گودال باغچه که در کد ارتفاعی منفی نسبت به ساختمان قرار دارد (تصویر ۲).

سطح ۲: قسمت همکف بنا که یک طبقه روی گودال باغچه قرار دارد (تصویر ۳).

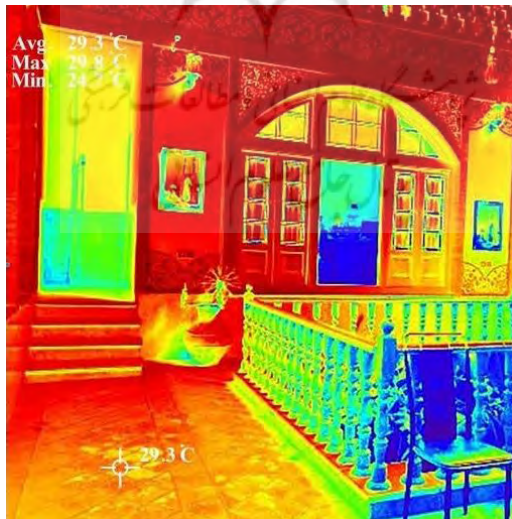
سطح ۳: برداشت دما از قسمتی که در بام قرار دارد (تصویر ۴).



شکل ۱. برشی از قسمت گودال باغچه بنای خواجه خضر

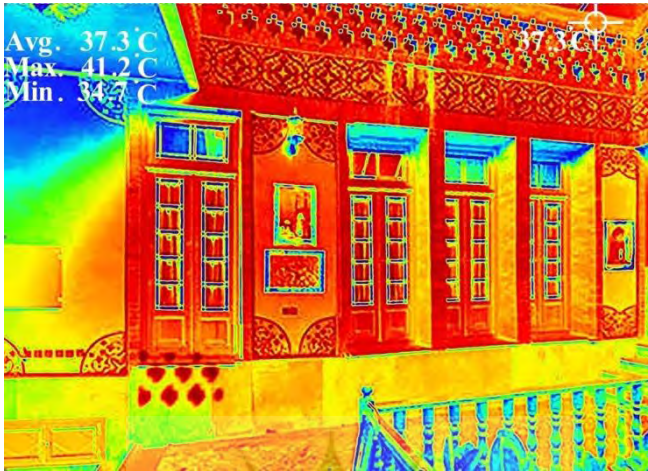


شکل ۲. تصویربرداری شده با دوربین حرارتی از بنای خواجه خضر در یزد (مأخذ: نتایج تحقیق) سطح ۲: قسمت همکف بنا که یک طبقه روی گودال باغچه قرار دارد.



شکل ۳. تصویربرداری شده با دوربین حرارتی از بنای خواجه خضر در یزد (مأخذ: نتایج تحقیق)

سطح ۳: برداشت دما از قسمتی که در بام قرار دارد.



شکل ۴. تصویربرداری شده با دوربین حرارتی از بنای خواجه خضر در یزد (مأخذ: نتایج تحقیق)

جدول نتایج به دست آمده از دوربین ترموویژن:

جدول ۱. دمای برداشتی با دوربین حرارتی از بنای خواجه خضر

نوع مصالح سطح برداشت شده	کمترین میزان دما در فاصله دو متری تارگت	بیشترین میزان دما در فاصله دو متری تارگت	دمای تارگت دوربین	سطح برداشت شده
سنگ	۱۸/۲c	۲۴/۸c	۲۲/۱c	زیرزمین (سطح یک)
سنگ	۲۴/۷c	۲۹/۸c	۲۹/۳c	همکف (سطح دوم)
آجر	۳۴/۷c	۴۱/۲c	۳۷/۳c	بام (سطح سوم)

مأخذ: نتایج تحقیق

با استناد به جدول فوق، دمای اطراف گودال باغچه در زیرزمین، ۱۵/۲ درجه ی سلسیوس خنک تر از دمای برداشت شده قسمتی از بام که نزدیک ترین فاصله به گودال باغچه را دارد، می باشد و دلیل آن نیز عدم تابش مستقیم خورشید و گردش هوا در قسمت گودال باغچه و ضریب خنک شدن خاک در بستر زیرین سطح زمین است. البته که این میزان از کاهش دما برای هر بنایی نسبت به زاویه تابش

(ساعت برداشت دما)، موقعیت جغرافیایی بنا، نوع مصالح (ظرفیت حرارتی) متغیر است [۹]. در این پژوهش سعی گردید تا برداشت دما از مصالح همگون انجام گیرد.

### شبیه سازی در برنامه دیزاین بیلدر

نرم افزار دیزاین بیلدر، نرم افزار تخصصی شبیه سازی انرژی است که از پرکاربردترین و دقیقترین نرم افزارهای موجود در زمینه انرژی می باشد و امروزه در سطح وسیع در دانشگاه ها و کمپانی های کشورهای توسعه یافته استفاده می گردد [۱۰]. استفاده از موتور مدلسازی energy plus از خصوصیات مهم این نرم افزار است که توسط دپارتمان انرژی آمریکا توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم افزارهای مدلسازی انرژی می باشد [۱۱].


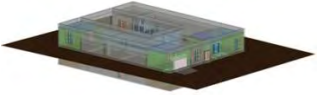
در این روش می توان ساختمان را از جنبه های مختلفی مثل فیزیک ساختمان، معماری، مصالح، پوسته، سیستم های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی، تهویه طبیعی و مکانیکی و سایر جوانب مدلسازی کرد. همچنین امکان مدلسازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصارف مختلف انرژی از قبیل انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی و غیره به صورت دینامیک در این نرم افزار وجود دارد [۱۲].

از دیگر قابلیت های نرم افزار دیزاین بیلدر، می توان به محاسبه میزان روشنایی روز، مدل سازی سیستم انرژی های نو، محاسبه آسایش حرارتی در فضاهای داخلی ساختمان، میزان اتلاف و دریافت انرژی از عناصر مختلف ساختمانی و نیز تحلیل اقتصادی پروژه ها اشاره کرد. برای بررسی تأثیر گودال باغچه در تعدیل دمای محیطی و کاهش مصرف انرژی برنامه دیزاین بیلدر با در نظر گرفتن پروژه در سایت پلان با همان موقعیت جغرافیا (شهر یزد) و با در نظر گرفتن زاویه تابش، جهت و قدرت باد مطلوب، در هر روز از سال، بهترین و دقیق ترین خروجی را ایجاد می کند [۱۳] و بر این اساس به تحلیل واحدهای مسکونی می پردازیم که یک نمونه دارای گودال باغچه است و نمونه دیگر فاقد گودال باغچه است.

با در نظر گرفتن تمام عوامل محیطی و هواشناسی به دقیق ترین داده ها می توان دست پیدا کرد و مدل ساختمان مورد نظر را با شرایط اقلیمی و ساعت واقعی شبیه سازی کرد تا مشخص گردد ساختمان مورد نظر در شرایط واقعی چگونه عمل می کند و همچنین اثرات عناصر طراحی بر روی پارامترهای کلیدی بررسی می شود که این عناصر، مصرف انرژی سالانه، ساعت های بسیار گرم و میزان

تولید دی اکسید کربن است. جدول ذیل، واحدهای مسکونی شبیه سازی شده با گودال باغچه و بدون گودال باغچه و خصوصیات هر کدام را مشخص می کند:

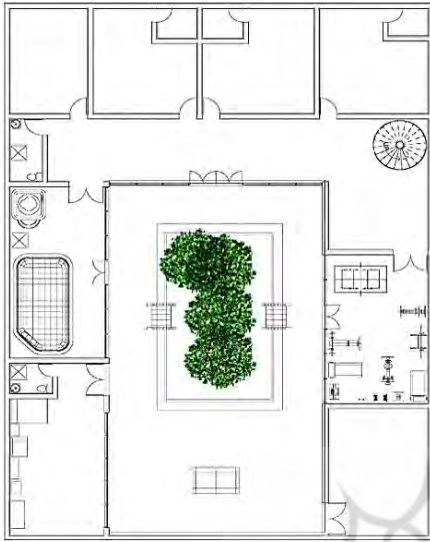
جدول ۲. واحدهای مسکونی شبیه سازی شده و مشخصات آنها

الف: واحد بدون گودال باغچه	الف	ب
ب: واحد دارای گودال باغچه		
مترائز	همکف ۴۴*۳۰ زیرزمین ۲۲/۵*۲۳	همکف ۴۴*۳۰ زیرزمین ۴۴*۳۰
موقعیت مکانی	۵۴ درجه طول شرقی و ۳۲ درجه عرض شمالی (یزد)	۵۴ درجه طول شرقی و ۳۲ درجه عرض شمالی (یزد)
مساحت حیاط و گودال باغچه	حیاط جنوبی ۱۴۵ متر	گودال باغچه ۱۷۹ متر
نوع محاسبه	مصرف برق جهت روشنایی، سرمایش و گرمایش	مصرف برق جهت روشنایی، سرمایش و گرمایش

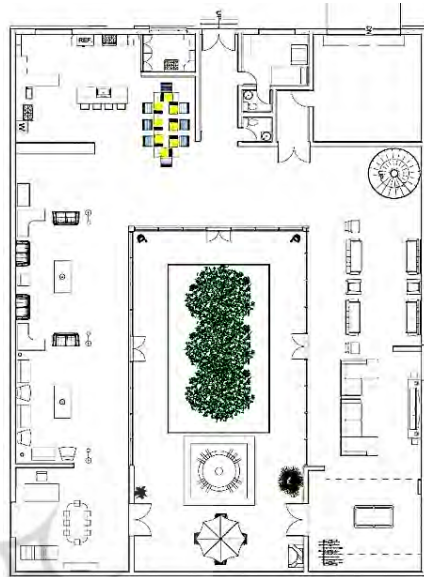
مأخذ: نتایج تحقیق

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی





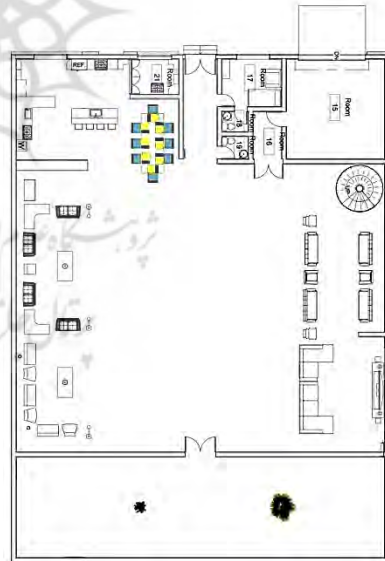
شکل ۸. پلان واحد دارای گودال باغچه طبقه زیرزمین



شکل ۷. پلان واحد دارای گودال باغچه طبقه همکف



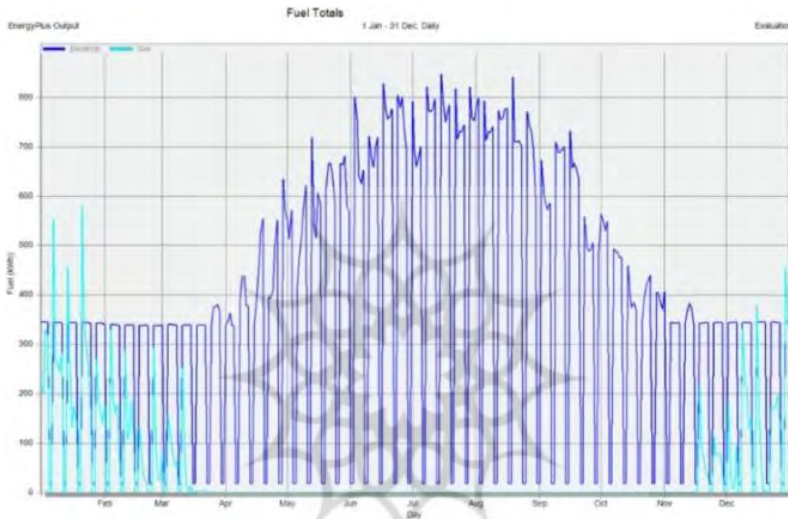
شکل ۱۰. پلان همکف واحد بدون گودال باغچه



شکل ۹. پلان زیر زمین واحد بدون گودال باغچه

## نتیجه شبیه سازی در برنامه دیزاین بیلدر

در هر دو واحد مسکونی از یک نوع مصالح و در یک سایت پلان مشخص استفاده شده است. میزان پارامترهای<sup>۱</sup> lighting, opening, construction, Activity<sup>۱</sup> برای هر دو واحد به صورت مقادیر یکسان تعیین شده است و پس از شبیه سازی نمودارهای مصرف انرژی بدین صورت است:



شکل ۱۱. میزان مصرف انرژی در طول یکسال در پلاک دارای گودال باغچه (الکتریسیته و گاز)

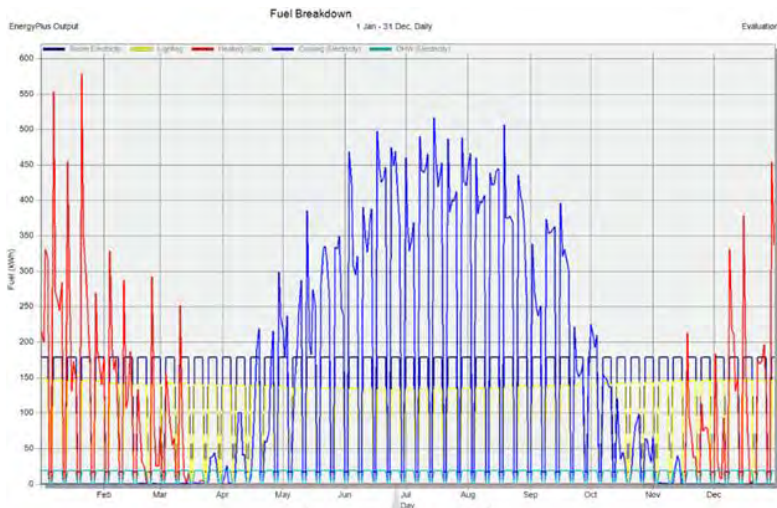
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

۱. قسمت فعالیت های مربوط به پروژه

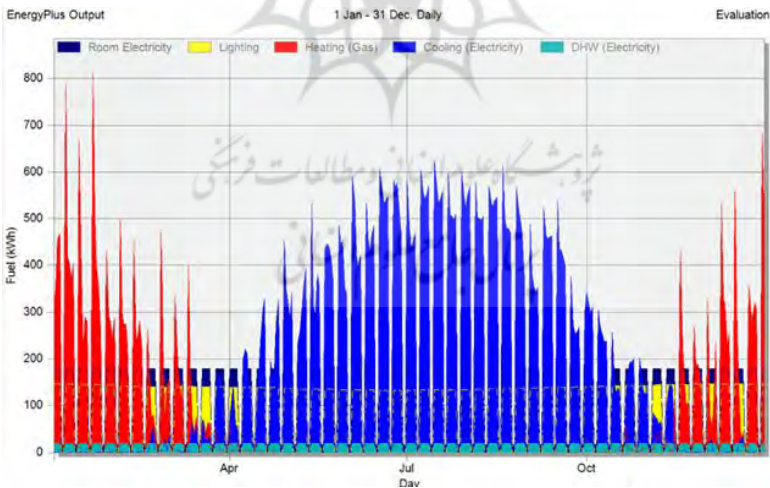
۲. مصالح و نوع سازه در پروژه

۳. بازشو ها اعم از نوع شیشه و مقدار سایه بان ها

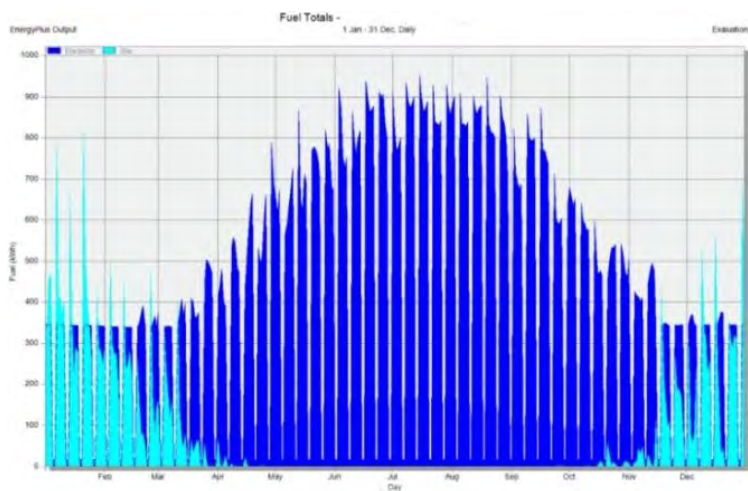
۴. تعداد و نوع المان های روشنایی



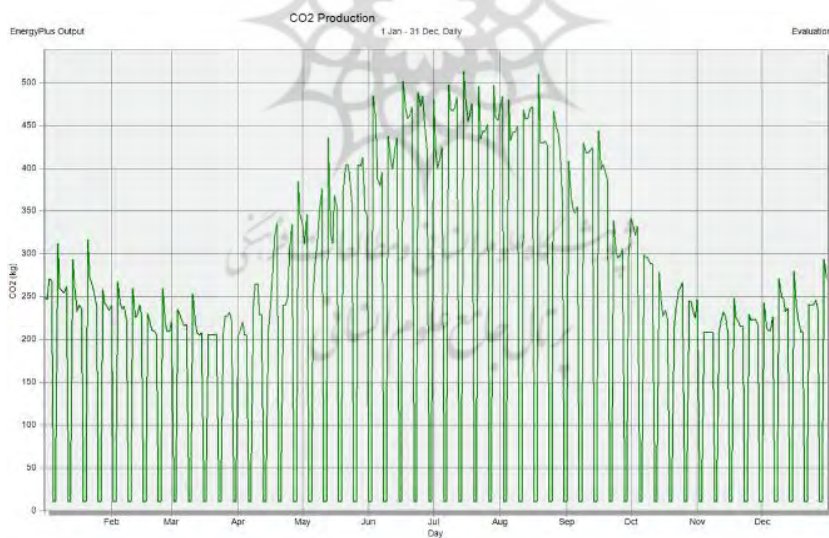
شکل ۱۲. میزان مصرف انرژی در طول یکسال در پلاک دارای گودال باغچه (الکتریسیته مصرفی اتاق‌ها روشنایی سرمایه‌ش و آب گرم و گاز مصرفی در گرمایش)



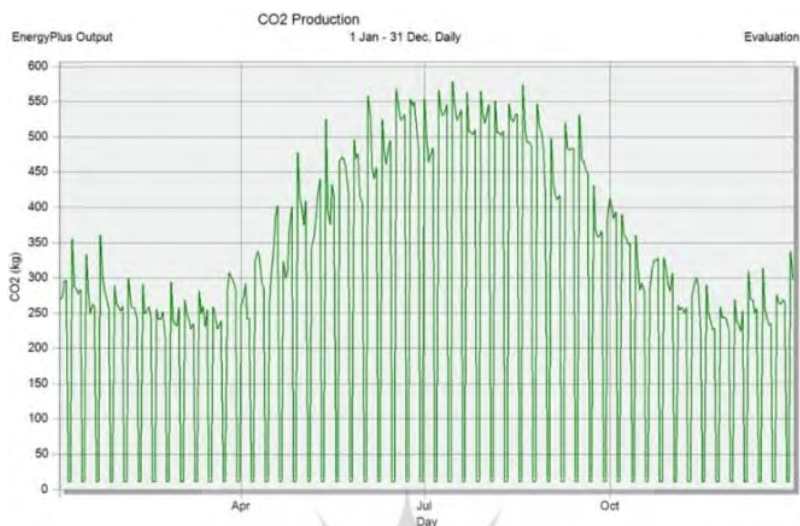
شکل ۱۳. میزان مصرف انرژی در طول یکسال در پلاک فاقد گودال باغچه (الکتریسیته مصرفی اتاق‌ها روشنایی سرمایه‌ش و آب گرم و گاز مصرفی در گرمایش)



شکل ۱۴. میزان مصرف انرژی در طول یکسال در پلاک فاقد گودال باغچه (الکتریسیته و گاز)



شکل ۱۵. میزان تولید گاز CO<sub>2</sub> در طول یکسال بر حسب کیلوگرم در پلاک دارای گودال باغچه



شکل ۱۶. میزان تولید گاز CO<sub>2</sub> در طول یکسال بر حسب کیلوگرم در پلاک فاقد گودال باغچه

تحلیل داده‌های برنامه دیزاین بیلدر:

جدول ۳. مصرف انرژی در واحدهای شبیه‌سازی شده

میزان تولید گاز CO <sub>2</sub> در یکسال	بیشترین میزان مصرف گاز برای سیستم گرمایش در ماه January	بیشترین میزان مصرف برق در یک دوره یک ماهه برای سیستم سرمایش در ماه July	بیشترین میزان مصرف برق در یک دوره یک ماهه برای روشنایی	
530 kg	570 m <sup>3</sup>	530 kwh	120 kwh	ساختمان دارای گودال باغچه
560 kg	610 m <sup>3</sup>	630kwh	150 kwh	ساختمان فاقد گودال باغچه

مأخذ: نتایج تحقیق

#### ۴. نتیجه‌گیری

معماری بومی و درونگرا در بناهای سنتی اقلیم گرم و خشک که بهره‌مند از عنصر گودال باغچه هستند، با دریافت انرژی خورشیدی بیشتر در زمستان و حداکثر سایه در تابستان، تهویه و روشنایی طبیعی، فرورفتن در دل زمین برای تعدیل هوا، ایجاد رطوبت به کمک گیاهان و حوض آب، سبب

کاهش نیاز به انرژی می‌شوند و به دلیل مصرف انرژی بالا در ایران و به تبع آن آلودگی محیط زیست و دلایلی از این قبیل، استفاده از عناصر معماری سنتی مانند گودال باغچه ضروری می‌باشد. گودال باغچه به دلیل پاسخ مناسب و بلند مدت به مسائل زیست محیطی، الگوی مناسبی برای طراحان معماری به شمار می‌آید. تأثیرات ثابت شده در بخش اقتصادی گودال باغچه‌ها مانند نیاز کمتر به سوخت‌های فسیلی، کاربرد بیشتر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشید و باد) است. با پژوهش انجام شده در این مقاله، به این نتیجه رسیدیم که واحد مسکونی که در طراحی از گودال باغچه بهره‌برده است، نسبت به واحد مسکونی که دارای حیاط و به صورت جنوبی است، در روشنایی، سیستم سرمایش و گرمایش، ۲۷ درصد برق کمتر مصرف نموده است. بدین صورت که کل مصرف برق بنایی که فاقد گودال باغچه شبیه‌سازی شده  $214450/76$  kWh است اما این عدد برای بنایی که همراه با گودال باغچه بوده  $152392/38$  kWh است. دلیل اصلی این کاهش مصرف انرژی کاهش دمای محیطی است که در تابستان، دمای محیطی بنا کاهش می‌یابد و این میزان تعدیل دما در شهر یور سال ۱۳۹۷ در بنای بوم‌گردی خواجه خضر تا  $15/2$  درجه سلسیوس بوده است و به همین صورت در زمستان با افزایش نورگیری، دمای محیطی بنا گرم‌تر می‌شود.

## منابع

- [۱] موسوی، روح‌الله؛ فرشاد غیبی، حمید اسکندری (۱۳۹۶) "بررسی عددی و تجربی برافروختگی نماهای شیشه‌ای در ساختمان‌های اداری در اقلیم گرم و خشک"، نشریه انرژی ایران، ۳۱(۳)، صص ۲۵-۴۵.
- [۲] آژانس بین‌المللی انرژی (<https://www.iea.org/>)
- [۳] جهانیان، امید؛ کوروش صدیقی، بهنام؛ پورآهنگر، قاسم و مرتضی عباسی (۱۳۹۷) "شبیه‌سازی اتلاف انرژی در ساختمان به منظور بهینه‌سازی گرمایش و کاهش مصرف گاز در اقلیم‌های مختلف استان مازندران"، نشریه انرژی ایران، ۳۱(۳)، صص ۲۵-۴۵.
- [۴] دهقان، ن. و س. مفیدی شمیرانی (۱۳۸۷) "زمین پناهاگی برای بنا"، فصلنامه معماری و ساختمان، ۳۸(۷) ۱۶.
- [۵] قبادیان، وحید (۱۳۷۷). *بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران دانشگاه تهران، تهران: موسسه انتشارات و چاپ.*
- [۶] فرامرزی، پارسا (۱۳۸۷)، "آشنایی با خانه‌های سنتی ایران"، مجله معمار، شماره ۴۸ فروردین و اردیبهشت، صص ۶-۷.

- [۷] دفتر مقررات ملی ساختمان (<http://inbr.ir>).
- [۸] جهانبخش، حیدر و آزیتا غفار زاده (۱۳۹۶). "بررسی رابطه و میزان تأثیر تابش خورشیدی بر بدنه ساختمان در تعیین جهت‌گیری بنا با هدف کاهش مصرف انرژی نمونه موردی: ساختمان مسکونی در اصفهان". نشریه انرژی ایران، ۲۰(۲)، صص ۸۵-۱۰۱.
- [9] Talib k. (1984). "Shelter in Saudi Arabia". Academy Editions st. martin press, vol.42, pp138-140 .
- [10] Zaid Romani, Abdeslam Draoui, Francis Allard (2015), Metamodeling the Heating and Cooling Energy needs and Simultaneous Building Envelope Optimization for low Energy Building Design in Morocco, Energy and Buildings, vol 102, pp.127.
- [11] Garg, V. and Bhatia A., Tetali s. and J. Mathur (2018), "Building Energy Simulation: A Workbook Using DesignBuilder". No.1, pp.249-250.
- [12] Kanoğlu M. and Y. Cengel (2017), "Energy Efficiency and Management for Engineers". No.1, pp.610.
- [13] Li-bo Z. and Y. Tao (2014). "The Evaluation and Selection of Renewable Energy Technologies in China", Energy Procedia, No. 61, pp. 245-246.

