

ارزیابی رویکرد بایوفیلیک در کاهش مصرف انرژی خانه‌های مسکونی شهر کرمان

سارا محمدی^۱، بهزاد وثیق^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران

۲- هیات علمی دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰)

چکیده

مصرف بی‌رویه انرژی و سوخت‌های تجدیدناپذیر باعث هدررفت منابع انرژی و آلودگی محیط‌زیست شده است. لذا هم‌زیستی با شرایط طبیعی از طریق معماری امری ضروری به نظر می‌رسد. از دیرباز، طبیعت منبعی از راه‌حل‌ها برای طراحان بوده است. رویکرد بایوفیلیک براساس باور به تأثیرات طبیعت بر زیست، روان و سایر ابعاد اجتماع به عنوان راهکار طراحی طرح شده است. سقف و جداره‌های سبز، باغ-آسمان و حیاط‌های خلوت‌های سبز^۱ راهکارهای طراحی این رویکرد هستند. جغرافیای شهر کرمان، به عنوان شهری با آب و هوای گرم و خشک، به گونه‌ای است که با توجه زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و شب‌های سرد در اکثر سال، نیاز به مصرف انرژی بالایی دارد. نظر به ویژگی‌ها و مزایای پوشش گیاهی، می‌توان با استفاده از سبزی‌نگی به سرمایش و گرمایش غیرفعال ساختمان‌ها کمک شایانی کرد. رشد روزافزون جمعیت که همزمان نیاز به تامین انرژی بیشتر و نیز کمبود سرانه فضای سبز در این شهر لازم می‌دارد تا با تکیه بر پوشش سبز در جداره‌ها و فضاهای داخلی مانند حیاط خلوت‌های سبز راهکاری عملی گردد. اینجا سه راهکار، اجرای مستقیم گیاه روی نما، پوشش گیاهی غیرمستقیم و دیوار زنده‌ای برپایه گلدان‌های مملو از خاک، قابل بررسی است. فرض بر این است که رویکرد بایوفیلیک بتواند به‌عنوان راهکاری اقلیمی گزینه‌های طراحی معتبری برای کاهش هدررفت انرژی طرح نماید. هدف تحقیق بررسی اثر کیفیت سبزی‌نگی جداره عمودی ساختمان در اقلیم گرم‌وخشک کرمان بر کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی است. روش تحقیق در این مقاله مبتنی بر ترکیب روش‌های نیمه‌تجربی و شبیه‌سازی است. برای این منظور، به صورت تجربی، نمونه‌های جداره‌های سبز با مقیاس واقعی ساخته و به‌وسیله ابزارهای اندازه‌گیری دما و رطوبت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج میدانی به کمک نرم‌افزار کامسول، قیاس شده‌اند. با توجه به مقایسه خروجی‌های نرم‌افزار کامسول و داده‌های میدانی، بهترین عملکرد دمایی و رطوبتی به صورت قابل ملاحظه‌ای متعلق به دیوار زنده بوده و بعد از آن به ترتیب دیوار سبز غیرمستقیم و دیوار مرجع قرار دارند. همچنین دیوار زنده بیشترین میزان افزایش رطوبت در فضای داخل را تامین نموده است.

کلیدواژه‌ها: اقلیم گرم و خشک، کرمان، بایوفیلیک، دیوار زنده، شبیه‌سازی

*- نویسنده مسئول: Email: vasiq@jsu.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله‌ی ارشد معماری با عنوان: طراحی مجموعه مسکونی با رویکرد بایوفیلیک با تأکید بر کاهش مصرف انرژی در شهر کرمان است؛ که با راهنمایی دکتر بهزاد وثیق به انجام رسیده است.

پرسش پژوهش

کدام یک از گونه جداره‌های سبز می‌تواند بهینگی مصرف انرژی را در ساختمان‌های مسکونی کرمان به همراه داشته باشد؟

۱- مقدمه

از سال ۱۹۸۴م تاکنون با افزایش ۴۹ درصدی مصرف انرژی، ۴۳ درصد تولید دی اکسید کربن نیز رشد یافته است

(Pérez, et al. 2008). سهم مصرف انرژی در ساختمان‌ها، ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی و ۳۶ درصد از کل کربن دی اکسید منتشر شده در دنیا است (Wang and Zhao, 2018). تولید دی اکسید کربن منجر به ازدیاد گرمایش زمین و در نتیجه نیاز به مصرف انرژی جهت تعادل حرارتی در ساختمان‌ها می‌شود (Vera, et al. 2018). اکبری و همکارانش اذعان می‌کنند به ازای هر درجه سانتی‌گراد، تقاضای برق ۲-۴ درصد افزایش یافته است (Akbari, et al. 2001). گرمایش ساختمان، تهویه مطبوع، سیستم روشنایی موارد مصرف کننده انرژی هستند؛ لذا راهکارهای غیرفعالی که میزان گرمایش و تهویه مکانیکی را کاهش دهند، در میزان مصرف انرژی موثر هستند.

با توجه به اینکه فاکتورهای محیطی، مانند: دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشید، در ارزیابی آسایش حرارتی موثرند (Lin, et al. 2010)؛ یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی، استفاده از فضای سبز جهت ارتقاء عملکرد پوشش ساختمان است (Boafo, et al. 2017). بام و جداره سبز و باغ آسمان‌ها در داخل ساختمان و خارج از

بنا از راه‌های به کاربردن پوشش گیاهی در ساختمان هستند. در این میان سطح نمای عمودی ساختمان نسبت به بام نقش فعال‌تری در گرمایش ساختمان خواهد داشت (Pérez, et al. 2014).

از این رو تلاش محققان در یافتن راهی متناسب با بحران و مناسب برای کنترل مصرف بی‌رویه انرژی به وسیله راهبردهای طبیعت محور بوده است. نقطه مشترک رویکردهای کنترل مصرف انرژی وجود طبیعت به عنوان یک مولفه کلیدی است و از بین رویکردها، بایوفیلیک بیشترین شاخص‌های طبیعت محور را دارا است. در این رویکرد، بین طبیعت و انسان رابطه دوسویه‌ای وجود دارد. از منظر مداخله کالبدی، طبیعت باید در همه قسمت‌های ساختمان حضور داشته و مردم بین محیط انسان‌ساخت و فضای طبیعی، تفاوتی حس نکنند (Soderlund and Newman, 2015). نقطه تمایز این رویکرد و سایر رویکردهای طبیعت‌منا آن است که راهبرد بایوفیلیک به نقش آفرینی طبیعت به معنای موجودات زنده، در حال رشد و مداخله‌گر در روند، توجه دارد؛ فلذا از منظر راهکار و اجرا با رویکرد سبز در یک دسته قرار نمی‌گیرد

(Kılıç and Altun, & Guan, et al. 2018). (2018).

از آنجا که در میان انواع معماری، معماری مسکونی پرکاربردترین و پرمصرف‌ترین گونه در مصرف انرژی است؛ به کارگیری این رویکرد در معماری مسکونی می‌تواند موثر باشد. این مورد آنجا اهمیت می‌یابد که اقلیم زمینه، از گونه‌ای باشد که نیاز به سرمایش یا گرمایش بیشتر از حد متوسط است.

کرمان، به عنوان شهری دارای اقلیم گرم و خشک، با توجه به زمستان سرد، تابستان گرم و شب‌های سرد در اکثر سال، نیاز به مصرف انرژی بالایی دارد. این مطلب آن‌جا برجسته می‌شود که دانسته شود، نرخ رشد جمعیت در استان بالاتر از سطح کشوری بوده و نیاز به مسکن و به تبع آن مصرف انرژی در حال افزایش است. نظر به ویژگی‌ها و مزایای پوشش گیاهی، می‌توان با استفاده از سبزی‌نگی در جداره و فضای داخلی به سرمایه‌گذاری به دلیل سطح قابل توجه دیوارها، این مورد اهمیت بالایی دارد که می‌تواند به صورت اجرای مستقیم گیاه روی نما، پوشش گیاهی غیرمستقیم و دیوار زنده‌ای بر پایه گل‌دان‌های مملو از خاک، اجرا گردد. هدف پژوهش، تعیین جداره بهینه ساختمان در کرمان مبتنی بر رویکرد بایوفیلیک است. روش تحقیق مبتنی بر ترکیب روش‌های شبیه‌سازی و نیمه‌تجربی است که در طی آن، با ساخت سه نمونه دیوار، در بازه زمانی مشخص، به وسیله ابزارهای اندازه‌گیری دمایی-رطوبتی، دما و رطوبت نقاط مورد نیاز، محاسبه شد. هم‌چنین به وسیله شبیه‌سازی نمونه‌ها در نرم‌افزار کامسول، تلاش شده تا داده‌های نیمه‌تجربی و شبیه‌سازی با هم مقایسه و صحت‌سنجی شود.

۲- پیشینه تحقیق

پس از ضرورت بررسی اثر معماری و جداره‌های بنا بر روی میزان مصرف انرژی تحقیقات متعددی آغاز شد که به طور عمده معطوف به شناسایی میزان اثر جداره‌های خارجی بنا بر میزان جذب

گرما و یا ایجاد رطوبت جهت ایجاد سطح سرمایه‌گذاری تبخیری است. کاتیا پرینی و همکاران، مطالعه‌ای جهت درک تاثیرات دمایی (سطح و هوا) و جریان هوای نزدیک جداره سبز انجام دادند. در این تحقیق سه نمونه دیوار ایجاد شد؛ نتایج آن‌ها نشان داد این امکان وجود دارد که ضخامت بهینه حفره در سیستم‌های سبز، سرعت باد، مقاومت حرارتی سطح بیرونی، بر روی مقاومت حرارتی کل تاثیر گذاشته و در نهایت منجر به صرفه‌جویی در انرژی شود (Perini, et al, 2011). مالیس و همکارانش در پژوهش خود به منظور دستیابی به کاهش جزایر حرارتی و صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها، پوشش سبز برای ساختمان‌ها را پیشنهاد دادند. ایشان در سقف یک مدرسه سه نمونه دیوار سبز و یک دیوار عریان را در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که دمای اندازه‌گیری شده در سطح برگ و داخل لایه‌ها در هر سه نمونه، پایین‌تر از دیوار مرجع و هوای سطح بام است. هم‌چنین یک مدل هیدروترمال (گرمایی) دیوار سبز و سقف سبز برای پیاده‌سازی در نرم‌افزار شبیه‌سازی اقلیمی سلن-ماکروکلایمت، ارائه دادند (Malys, et al. 2014). در تحقیق دیگری فننگ یانگ و همکاران، با بررسی نمای دو پوسته‌ی سبز در یک ساختمان ۵ طبقه نشان دادند که جداره‌های سبز عمودی یک خرده اقلیم متفاوت در حفره (فاصله‌ی بین دیوار و پوشش سبز) به وجود می‌آورند. بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که میانگین کاهش درجه حرارت سطح خارجی در جبهه جنوبی، توسط جداره سبز عمودی، ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر آن ۹ درجه سانتی‌گراد است.

ساختمانی در هنک کنگ، دما تا ۸/۴ درجه در همان منطقه کاهش می‌دهد (Pulselli, et al. 2014). شینگ و همکاران نیز با بررسی دو اتاق با ساختار مشابه، که یکی از آن‌ها دارای سیستم سبز عمودی بود دریافتند که: در حالت بدون گرمایش، نوسان هوای داخلی اتاق دارای سیستم سبز عمودی در مقایسه با اتاق مرجع به شدت کاهش پیدا کرده بود و در شرایط اعمال گرمایش میانگین شار حرارتی دیواره‌ها در اتاق مرجع ۳/۱ وات بر متر مربع بیشتر از اتاق دارای جداره سبز است. هم‌چنین میزان مصرف انرژی الکتریکی اندازه‌گیری شده در اتاق مرجع ۱/۲۲ برابر اتاق دارای سیستم سبز محاسبه شد. به علاوه میزان ۱۸ درصد صرفه‌جویی در انرژی در اتاق دارای سیستم سبز عمودی اندازه‌گیری شد (Xing, et al. 2019). در اکثر بررسی‌های موجود، به دلیل بستر آزمایش، کمتر توجهی به اقلیم گرم و خشک شده است. در پژوهش حاضر، با توجه شرایط جغرافیایی شهر کرمان، تاثیر جداره‌های سبز در آب و هوای گرم و خشک بررسی شده است.

۳- ادبیات تحقیق

اصطلاح بایوفیلیا از سال ۱۹۷۳ در ادبیات رسمی به کار رفته و به معنی عشق به زیست بوم توصیف شده است. ویلسون (۱۹۸۴) بایوفیلیا، توجه به زیست و فرایندهای زیستا، از هر دو جنبه روانشناسی و سلامت جسمی است (Guan, et al. 2018 & Orman, 2017). در این دیدگاه، طبیعت چنان در تمام بخش‌های ساختمان عجین می‌شود که تفاوتی بین انسان در طبیعت و

درحالی‌که میانگین کاهش درجه حرارت سطح داخلی ۱.۲ درجه سانتی‌گراد و حداکثر ۲ درجه است. این اعداد برای جبهه شمالی به ترتیب ۰/۵، ۴/۲ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد است (Yang, et al. 2018). در بررسی دیگری، وانگ و همکاران، به‌وسیله یک دیتالاگر دما و رطوبت نمونه‌های مد نظرشان را در دو لایه‌ی بستر و دیوار اندازه گرفتند. این فرایند را سه روز در طول سه ماه انجام دادند. بیشترین کاهش دما در جایی که تراکم شاخ و برگ بیشتر بود، اتفاق افتاد. ایشان نشان دادند که استفاده از گیاهان رونده، علی‌رغم نداشتن لایه خاک (مانند دیوارهای زنده) باعث کاهش دمای ۴/۳۸ درجه سانتی‌گرادی می‌شود. بیشترین کاهش دما به اندازه ۱۱/۵۸ درجه سانتی‌گراد در سطح دیوار اندازه‌گیری شده است (Wong, et al. 2010). پالسلی و همکاران نیز دو مدل متفاوت پوشش بیرونی را مورد ارزیابی قرار دادند: پوشش عایق‌دار (عایق پلی استایرن بین حفره‌های آجرهای دیوار-دیوارهای بزرگ سنتی (سنگی یا آجری). هر دو مدل را در نرم‌افزار انرژی پلاس جهت به دست آوردن نیاز انرژی ایده‌آل سرمایه‌گذاری و گرمایش مدل‌سازی کردند. متغیرهایی که در مدل‌سازی سنجیده شدند اثر سایه پوسته سبز و حفره هوای پشت لایه‌های سبز بود. در این بررسی اثرات ناشی از تبخیر و تعرق مورد بررسی قرار نگرفته است. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از سیستم دیوار زنده و دیوار چمنی می‌تواند شرایط جامع پایداری را در شرایط امرژی^۱ و در طول عمر ۲۵ ساله، به‌وجود بیاورد. با توجه به بررسی‌ها، در صورت اعمال دیوار و بام سبز در یک بلوک

می‌شود؛ نوعی گیاهان بالارونده بر روی دیوار یا یک ساختار نزدیک به دیوار بدون هیچ‌گونه بستر آبیاری در نظر گرفته می‌شود. دسته دوم که «پرده خورشیدی» نامیده می‌شود زیرا اثر آن عمدتاً تابشی است و با دسته اول در وجود یک حفره هوا با دمای متفاوت در زیر شاخ و برگ‌ها تفاوت دارد؛ شامل یک سیستم پشتیبانی شبکه‌ای است که از دیوار فاصله دارد. در این دسته‌بندی دسته سوم با عنوان «دیوار زنده» شناخته شده است؛ شامل طیف گسترده‌ای از شیوه‌هاست که در آن از بستر آبیاری به شیوه طبیعی یا مصنوعی استفاده می‌شود (Malys, et al. 2014). پرز دسته‌بندی و تعاریف مشابهی برای دیوارهای سبز دارد که این‌گونه بیان می‌کند: در جداره‌های سبز سنتی، گیاهان بالارونده به صورت مستقیم روی نما قرار می‌گرفتند که منجر به آسیب نما، جذب حیوانات و هزینه‌های تعمیر می‌شد. سیستم‌های جدید جداره سبز از لحاظ فنی پیشرفت کرده‌اند. نمای سبز سیستمی است که یا شامل گیاهان بالارونده است یا گیاهان آویزی که به وسیله سازه‌هایی آویزان شده‌اند. در این حالت گیاهان یا در زمین کاشته می‌شوند یا در گلدان‌هایی در ارتفاع‌های متفاوت. نمای سبز به سه سیستم تقسیم می‌شود: ۱. جداره سبز سنتی: گیاهان بالارونده از نمای ساختمان ۲. نمای دو پوسته سبز: که از نمای اصلی ساختمان فاصله دارد. دیوار زنده از پانل‌ها یا نمدهای جنو تکستایل^۲ ساخته شده‌اند. این مدل دیوارها گاهی از قبل کشت شده و به سازه عمودی جداره سبز متصل می‌شوند. این پانل‌ها نگهدارنده گیاهانی مثل سرخس، بوته‌های کوچک و... هستند (Pérez, et al. 2011). دیوار

انسان در بنا وجود ندارد. رویکرد بایوفیلیک می‌تواند راهبردهایی نو در زمینه مدیریت منابع زیستی مانند منابع آب، کاهش کربن، تصفیه محیط به وسیله عوامل طبیعی و کاهش جزایر حرارتی (Soderlund and Newman, 2015) پیشنهاد دهد.

جداره‌های داخلی و بیرونی ساختمان می‌تواند مهمترین عرصه به‌کارگیری این رویکرد باشد. فن‌آوری‌های نو در مهندسی این فرصت را فراهم آورده که فضای سبز به عنوان عنصر اصلی، نه الحاقی، در شکل ساختمان طرح شود. با این دیدگاه است که جداره‌های عمودی سبز به مفهوم دیوارهای زنده تحول یافت. منظور از جداره خارجی، جداره‌های عمودی و افقی است. نمای عمودی ساختمان‌ها مساحتی بیشتر از سطح بام را در معرض عوامل جوی قرار می‌دهد و این نشان‌دهنده اهمیت دیوارها می‌باشد (Pérez, et al. 2014). سیستم سبز عمودی، می‌تواند چندین مزیت داشته باشد: کاهش اثرات جزایر گرمایی شهر، افزایش منظرهای سبز، بهبود کیفیت جو، از بین بردن مشکلات مربوط به زه‌کشی و بهبود بهره‌وری انرژی

(Wang and Zhao, & Xing, et al. 2019) دیوارهای سبز با عناوینی مانند باغچه‌های سبز عمودی، سیستم سبز عمودی و دیوار زیستی نیز نامیده می‌شوند. این سیستم دربردارنده سرمایش غیرفعال برای داخل و خارج بنا، بدون اشغال زمین شهری است (Yang, et al. 2018).

پوشش سبز عمودی در سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: نخستین دسته‌بندی که «نمای سبز» نامیده

نتیجه دیوار سبز با داشتن ویژگی سایه‌اندازی و ایجاد عایق توسط گیاهان و همچنین همراه با عایق‌های حرارتی معدنی مجزا می‌تواند به عنوان بهترین راهکار در اقلیم گرم و خشک کرمان با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد برای رسیدن به آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی معرفی شود.

در طراحی گیاه در دیوار، شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، بازتاب برگ و میزان تابش برگ در انتخاب گیاه و کارکرد دیوار موثر است. هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی، تراکم و ضخامت دیوار از سویی دیگر بر اثرگذاری عملکرد گیاه اثر دارد (Vera, et al. 2018). مطالعه پارامتری مدل‌سازی گرمایی سطوح گیاهی بر اساس تعدادی از پارامترها نشان‌دهنده رفتار فیزیولوژیکی گیاهان، رفتار حرارتی هوا بین سایبان و رفتار دمایی و هیدرولیکی بستر است. پنج پارامتر مورد استفاده برای پوشش گیاهی شامل: چگالی شاخساره (LAI)، ضخامت تاج گیاه (L)، ضریب ریزش برگ (ks)، آلیدو شاخ و برگ (pf)، ضریب توزیع مجدد گرمای پنهان است (Malys, et al. 2014). مطالعات در اقلیم‌های متفاوت نشان داده که شاخص سطح برگ و ضخامت بستر مهم‌ترین پارامترهای گیاه و بستر هستند (Vera, et al. 2018). دمای سطح برگ‌ها پایین‌تر از مصالح سایبان‌هاست. این اثر سرمایشی به دلیل تعرق برگ‌هاست. لذا، عملکرد حرارتی گیاهان بهتر از سایبان‌های سنتی است (Larsen, et al. 2015) در یک تحقیق کاهش دمای حاصل از تبخیر تعرق یک خاک چمن‌دار و مرطوب با خاک ساده، ۶

زنده امکان پوشش گیاهی بیشتر و یکنواخت‌تری را می‌دهد. (Saleh, et al. 2017).

در استفاده از سبزی‌نگی در جداره، به عنوان یک سیستم سرمایشی غیرفعال، چهار عامل در نظر گرفته می‌شود: ۱. سایه ایجاد شده توسط گیاهان و ایجاد مانع برای انتقال اشعه خورشید ۲. عایق حرارتی ایجاد شده توسط گیاهان و لایه خاک ۳. سرمایش تبخیری حاصل از گیاهان و لایه خاک ۴. مسدود کردن باد (Pérez, et al. 2011). استفاده از گیاهان در دیوار یک استراتژی بایوفیلیک است، که به دلیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی مورد توجه قرار گرفته است. گیاه یک جزء زنده از نما است که به وسیله تنظیم میزان تعرق، به محیط‌زیست پاسخ می‌دهد. به‌طور کلی شبیه‌سازی این فرآیند در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی حرارتی ساختمان وجود ندارد (Larsen, et al. 2015). بررسی‌ها نشان داده که سایه‌اندازی و عایق حرارتی دیوار خارجی بهترین راهکار برای کاهش مصرف برق در تابستان‌های داغ و زمستان‌های سرد است. در نمونه موردی بررسی شده توسط وانگ و همکارانش این صرفه‌جویی به ترتیب به میزان ۱۱/۳۱ و ۱۱/۵۱ درصد به دست آمده است. بهینه‌سازی راهبردهای مختلف، می‌تواند کاهش سالانه ۲۱/۰۸ درصدی سرمایش و ۳۴/۷۷ درصدی گرمایش را به دنبال داشته باشد (Wang and Zhao, 2018). مقاله ریلی (۲۰۱۷) و وانگ (۲۰۱۰) نیز تاییدی بر برخی از مزایای سیستم سبز است: ریلی بیان می‌کند صرفه‌جویی در هزینه انرژی در ارتباط با ترکیب گیاهان با ساختمان در مطالعات اخیر ثابت شده است (Riley, 2017). در

نیز جابه‌جایی رطوبت از کنار پوشش گیاهی را تسریع می‌کند و در افزایش سرمایه‌های موثر است (Theodosiou, 2003 & Yuan, et al. 2017). جهت ایجاد رطوبت و کاهش دما، راهکارهایی مثل استفاده از درختان و پوشش گیاهی، آب، سایبان‌های گیاهی و غیرگیاهی، جهت‌گیری مناسب، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا و ایجاد خلل و فرج‌هایی برای حرکت باد و ... طرح می‌شود (Webb, et al. & Salata, et al. 2015). (2018).

این پژوهش از حیث ماهیت و رویکرد آن، پژوهشی کاربردی است. در این تحقیق، مدل‌های آزمایشی دیوار سبز در ابعاد $1 \times 1 \text{m}^2$ ساخته شده‌اند و به وسیله یونولیت، محفظه ایزوله‌ای در پشت آن‌ها ایجاد شده است. سپس داده‌های دمایی رطوبتی در طی ۱۵ روز اول تابستان برداشت گردید. در مرحله بعد، نمونه‌ها در نرم‌افزار سی‌اف‌دی کامسول، شبیه‌سازی شدند. همان‌طور که گفته شد به صورت کلی در طراحی دیوار سبز سه نوع تقسیم‌بندی دیوار سبز مستقیم، دیوار سبز غیرمستقیم و دیوار زنده وجود دارد. با توجه به عدم وجود نمونه‌های یادشده در شهر کرمان با ویژگی‌های مدنظر پروژه، مانند مکان جغرافیایی مشابه، ابعاد مشابه، جهت‌گیری مشابه و فراهم نبودن امکان اندازه‌گیری از داخل بناهای شهروندان و ... اقدام به ساخت نمونه‌ها به صورت آزمایشی شد. در این پروژه دو نوع دیوار سبز غیرمستقیم و دیوار زنده با یک دیوار مرجع بررسی و مقایسه شدند. به دلیل استفاده گسترده آجر و سفال و سازگاری و بومی بودن این مصالح برای

درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. هم‌چنین یک مترمربع چمن در یک روز آفتابی می‌تواند ۱۲مگاژول انرژی جذب کند. از مزایای دیگر استفاده از سطوح سبز، تاثیری است که بر نیاز انرژی برای آسایش محیط داخلی می‌گذارند (Salata, et al. 2015). از جمله فاکتورهای تاثیرگذار دیگر گیاهان بحث سایه‌اندازی آن‌هاست. وانگ و همکارانش در یک مطالعه میدانی با استفاده از سنسورهای مختلف نشان دادند که کاهش دما در زیر گیاهان با شاخص سطح بالاتر، بیشتر از گیاهان کم‌پشت و زمین خالی است. به علاوه نشان داد که انتقال حرارت از بام عریان بیشتر از بام سبز و خاک بدون گیاه است (Wong, et al. 2003). هم‌چنین اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد سایه درختان و بوته‌هایی که در مجاورت ساختمان هستند می‌توانند مستقیماً نیاز به خنک‌سازی را کاهش دهند (Akbari, 2009)؛ و رفتار و نحوه رشد گونه‌های مختلف گیاهی بر میزان کارآمدی گیاه به عنوان عنصری از جداره سبز، در کنترل شرایط جوی موثر است (Pérez, et al. 2011).

۴- مواد و روش‌ها

خورشید، دما و انتقال گرما، رطوبت و باد و سرمایه‌های تبخیری از عوامل موثر در کنترل انرژی مصرفی ساختمان است (Santamouris and Kolokotsa, 2013). تئودوسیو اهمیت سرعت باد و رطوبت نسبی را در سرمایه‌های حاصل از بام سبز مطرح می‌کند و توضیح می‌دهد که یک محیط خشک میزان تبخیر و تعرق را افزایش می‌دهد و باد

این اقلیم، از آجر در اجرای نمونه‌ها استفاده شده داده شده است. بخشی از مراحل ساخت در تصویر ۱ نشان



تصویر ۱- بخشی از مراحل ساخت (ماخذ: نگارندگان)

خاک گلدان، شن بادی و ورمی کمپوست است. با نظر به اینکه جهت‌گیری اقلیمی در کرمان، شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است و شکل بافت شهری تنها در جهت شمال و جنوب نورگیری را ممکن می‌سازد؛ نمونه‌ها در جبهه جنوب‌شرقی ساختمان قرار داده شدند. نمونه‌ها در تصویر ۲ نشان داده شده‌اند.

از دو نوع گیاه شاخ گوزنی (ناز یخی) در دیوار زنده و گیاه پایتال در دیوار سبز غیرمستقیم استفاده شده است. گیاه شاخ گوزنی^۳، گیاهی پوششی مقاوم در برابر گرما و خشکی محسوب می‌شود. پایتال^۴، از لحاظ ظاهری شکل رونده و آویز دارد. برای ایجاد شرایط مشابه و قابل مقایسه، در طول دوران ثبت اطلاعات، گیاهان در بازه شبانه آبیاری شده‌اند. خاک استفاده شده در این آزمایش،



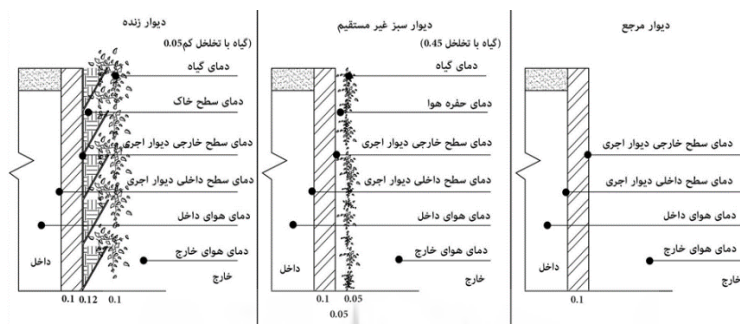
تصویر ۲- راست: دیوار سبز غیر مستقیم. وسط: دیوار مرجع. چپ: دیوار زنده (ماخذ: نگارندگان)

برودت تبخیری و جلوگیری از نفوذ گرما را داراست. لذا از یکم تا پانزدهم تیرماه، بین ساعت ۹

با توجه به اقلیم کرمان و گرمای زیاد و خشکی هوای تابستان، این فصل از سال بیشترین نیاز به

افزایش دقت کار، دما-رطوبت‌سنج‌ها و دیتالاگر به‌وسیله دماسنج الکلی کالیبره شدند. در تصاویر ۳ و ۴ نقاط نصب ابزار اندازه‌گیری نشان داده شده است.

تا ۱۷، در بازه‌های دو ساعته، آزمایش انجام شده است. تعداد ۱۳ عدد دما-رطوبت‌سنج دیجیتال مدل UNIT A12-T برای بررسی نمونه‌ها و یک عدد دیتالاگر دما و رطوبت مدل DS83 جهت ثبت اطلاعات هوای خارج استفاده شد. جهت



تصویر ۳- محل قرارگیری ابزار اندازه‌گیری. (ماخذ: نگارندگان)

دو مورد از محل نصب دما-رطوبت‌سنج‌ها در تصویر ۴ نشان داده شده است.



تصویر ۴- نمونه نصب دما-رطوبت‌سنج (ماخذ: نگارندگان)

میانگین دمای هوای خارج ب- میانگین دمای شاخ و برگ گیاه ج- میانگین دمای خاک د- میانگین دمای حفره هوا ه- میانگین دمای سطح خارجی دیوار و- میانگین دمای سطح داخلی دیوار ز- میانگین دمای هوای داخل a- میانگین رطوبت هوای بیرون b- میانگین رطوبت شاخ و برگ گیاه

۵- نتایج و یافته‌ها

نتایج در دو قسمت آزمایش نیمه‌تجربی و شبیه‌سازی کامپیوتری به صورت جداگانه بررسی و سپس مقایسه شده‌اند. داده‌های حاصل آمده از آزمایش، به صورت میانگین در قالب جداول و نمودارها نشان داده شده است. در جدول ۱، الف-

c- میانگین رطوبت خاک d- میانگین رطوبت میانگین رطوبت دیوار داخلی g- میانگین رطوبت حفره هوا e- میانگین رطوبت دیوار خارجی f- هوای داخل است.

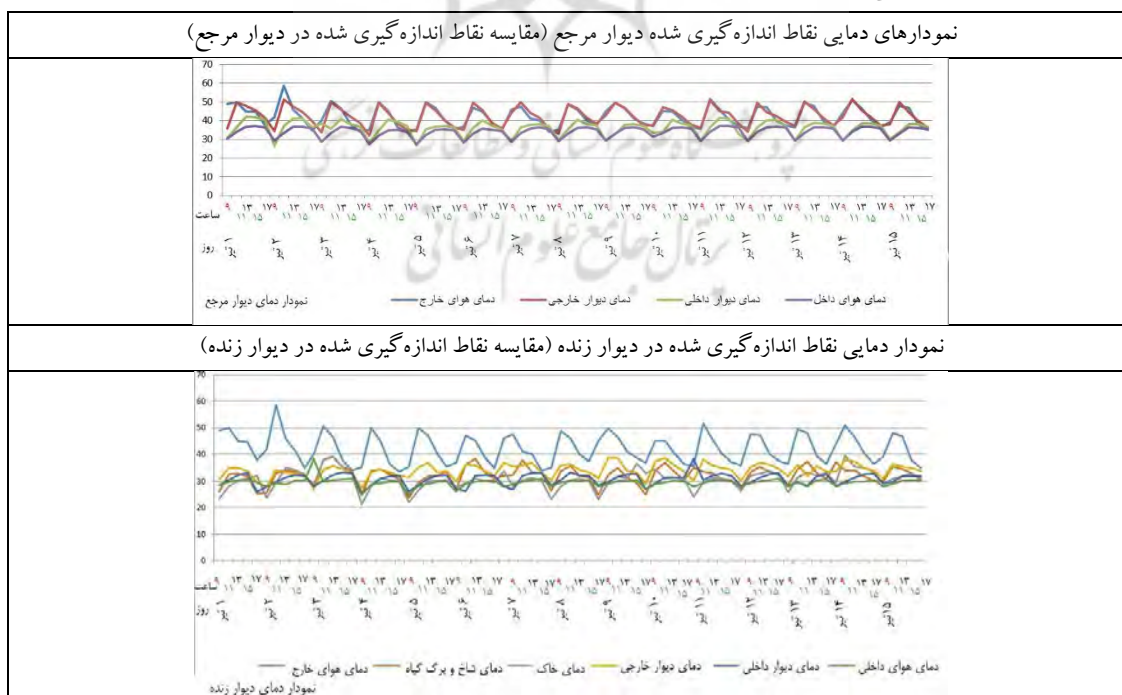
جدول ۱- میانگین دما و رطوبت دیوارهای آزمون (ماخذ: نگارندگان)

میانگین دما و رطوبت ۱۵ روزه													نوع دیوار	
g	f	e	d	c	b	a	ز	و	ه	د	ج	ب		الف
۱۴/۱	۱۲/۳	۱۰				۱۵/۸	۳۳/۶	۴۰/۴	۴۱/۷				۴۱/۶	دیوار مرجع
۲۷/۵	۲۴/۸	۲۱/۲		۳۸/۲	۱۹/۵	۱۵/۸	۲۹	۳۰/۳	۳۳/۵		۳۰/۱	۳۱/۷	۴۱/۶	دیوار زنده
۱۸	۱۵/۱	۱۰/۵	۱۱/۷		۱۵/۸	۱۵/۸	۳۱/۴	۳۳/۵	۳۷/۵	۳۷/۸		۳۲/۷	۴۱/۶	دیوار سبز غیرمستقیم

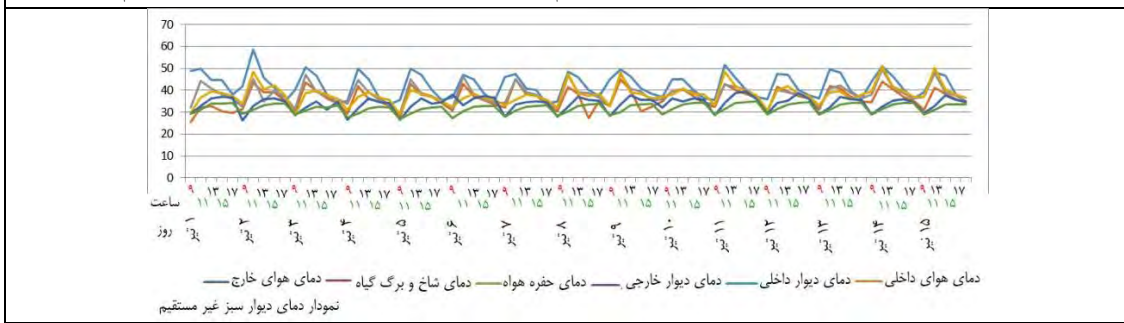
با توجه به نمودارهای موجود در جدول ۲، که محدوده خنک‌تری را نسبت به دیوار مرجع نشان می‌دهد. در دیوار زنده، بازه دمایی دمای هوای داخل در محدوده کمتر از سی است که نسبت به دیوار مرجع و دیوار سبز غیرمستقیم در محدوده خنک‌تری قرار دارد.

مشخص می‌شود که، در نمودار دمایی دیوار مرجع، دمای داخلی از دمای بیرون کمتر است؛ اما بازه عددی دمای داخل، بین سی تا چهل درجه است. بازه دمایی هوای داخل نمودار دیوار سبز غیرمستقیم در محدوده سی تا سی و پنج است

جدول ۲- نمودارهای دمایی در نقاط اندازه‌گیری شده به صورت جداگانه برای هر دیوار در دوره ۱۵ روزه (ماخذ: نگارندگان)

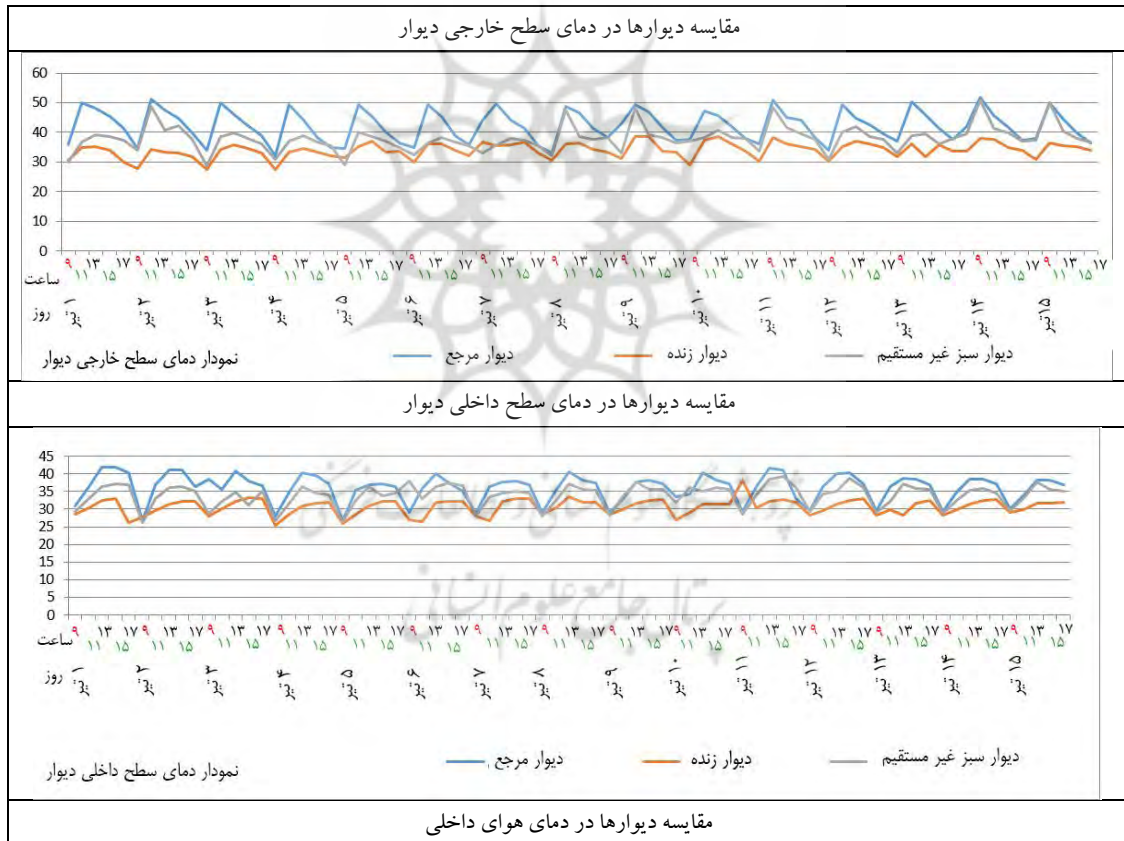


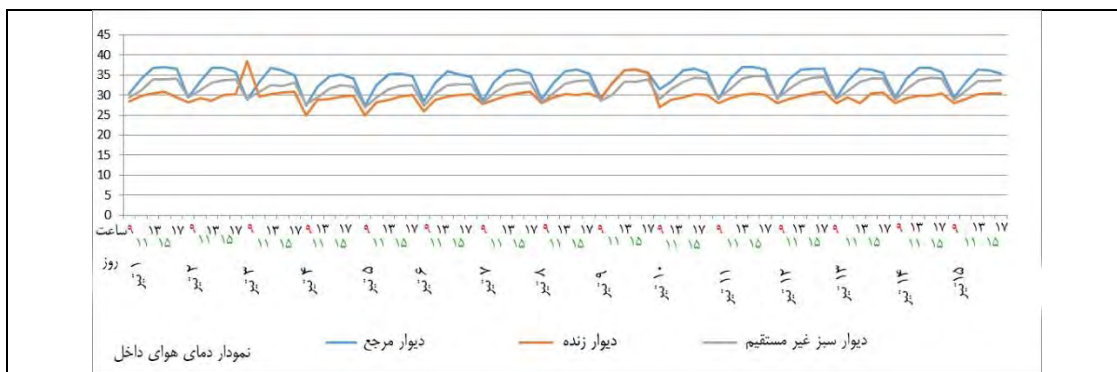
نمودار دمایی نقاط اندازه‌گیری شده در دیوار سبز غیر مستقیم (مقایسه نقاط اندازه‌گیری شده در دیوار سبز غیر مستقیم)



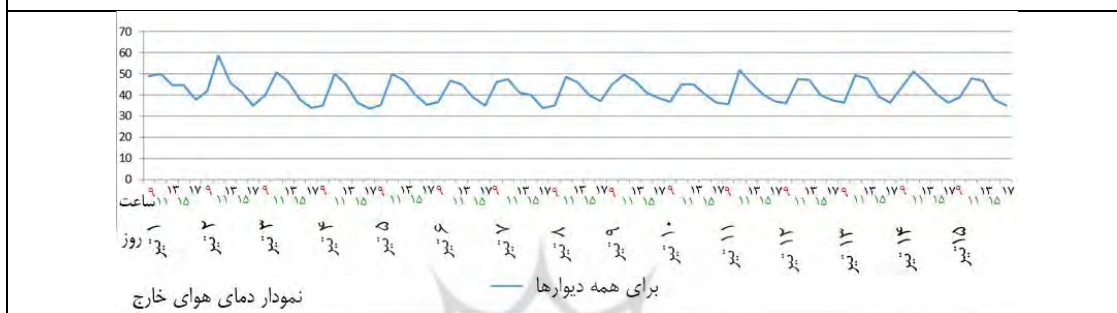
در جدول ۳ نمودار دمایی سطح داخلی و خارجی و مقایسه دیوارها در نقاط اصلی آورده شده است. دیوار و دمایی هوای داخلی و هوای خارجی برای

جدول ۳- مقایسه دیوارها در نقاط سطح داخلی، سطح خارجی و هوای داخل و هوای خارج (ماخذ: نگارندگان)



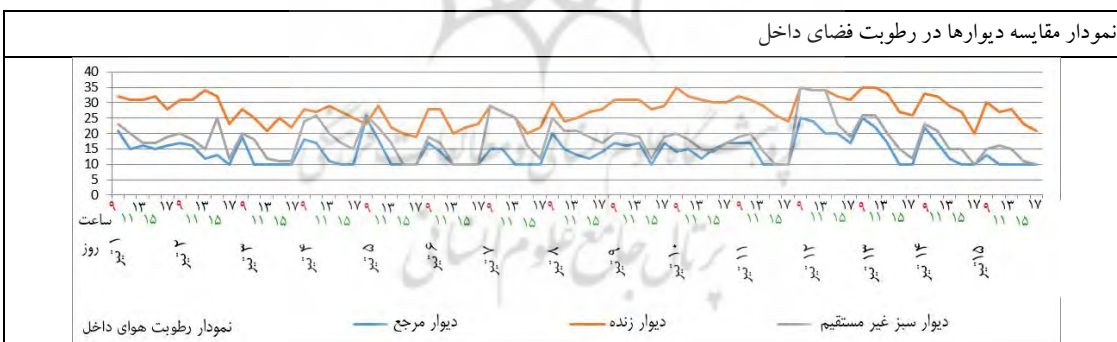


مقایسه دیوارها در دمای هوای خارجی (برای همه دیوارها یکسان است)



در ادامه به دلیل اهمیت رطوبت در اقلیم گرم و خشک، نمودار مقایسه رطوبت در فضای داخلی در

جدول ۴- نمودار داده‌های رطوبتی (ماخذ: نگارندگان)



۱-۵- بررسی و مقایسه داده‌های تجربی به دست آمده

با توجه به آزمایش تجربی و تحلیل نتایج، دمای هوای داخلی، در دیوار زنده نسبت به دیوار سبز غیرمستقیم و دیوار مرجم نسبت به دیوار مرجع کاهش و رطوبت افزایش پیدا کرده است.

۲-۵- شبیه‌سازی

در ادامه در نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی انجام شده است. این مرحله برای صحت‌سنجی آزمایش تجربی مبنی بر دینامیک سیالات محاسباتی است. از جمله نرم‌افزارهای سی‌اف‌دی، نرم‌افزار کامسول است. برای مقایسه و صحت‌سنجی از طریق این

ضریب رسانش متفاوت خاک نسبت به هوا عملکرد کمتری دیده می‌شود. در نتیجه حالت دوم یعنی دیوار زنده، بهترین عملکرد را دارد. تغییرات دمایی در هر ساعت در جدول ۵ نشان داده شده است.

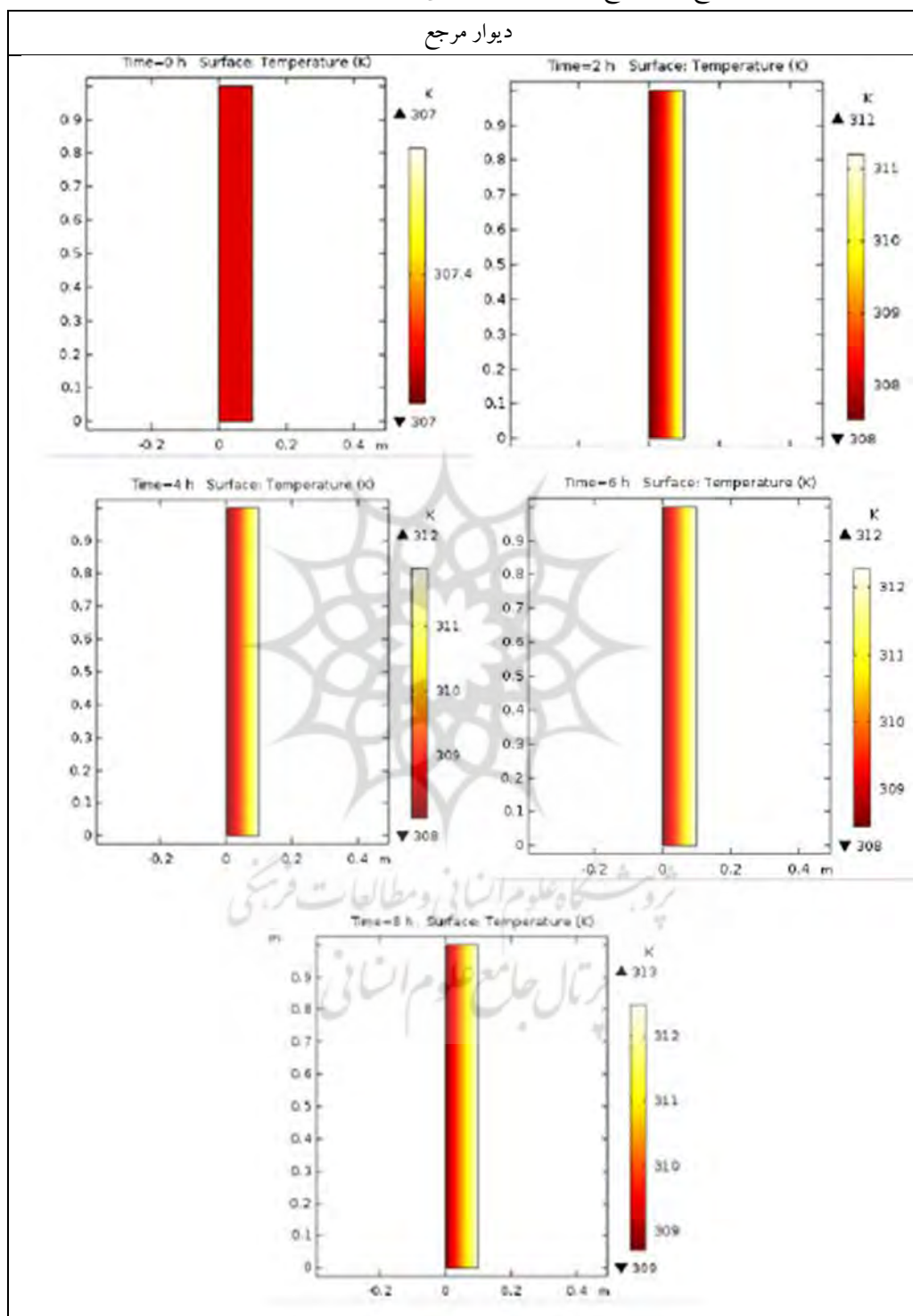
۵-۳- بررسی شرایط مرزی در خروجی‌های شبیه‌سازی

بعد از اتمام فرایند شبیه‌سازی و مشاهده نتایج، برای مقایسه بیشتر، اطلاعات مرزها استخراج شد. مرزها به رنگ آبی در اشکال زیر نشان داده شده است که نشان‌دهنده مرز بین لایه‌های تشکیل دهنده دیوارها است. در تمامی حالت‌های زیر، بازه‌های زمانی دو ساعته، از نه صبح تا هفده و ساعت‌ها به صورت اعداد صفر تا هشت نشان داده شده‌اند. عدد صفر نشان‌دهنده ساعت نه بوده و دما به واحد کلوین است. در جدول ۶ می‌توان نرخ اطلاعات دمایی دیوار مرجع را مشاهده نمود. با توجه به خروجی شبیه‌سازی، دمای شرایط مرزی بین سطح داخلی دیوار و هوای داخل (۳۴/۲۹ تا ۳۵/۵) و نیز دمای شرایط مرزی بین سطح خارجی دیوار و هوای خارجی (۳۴/۳ تا ۳۹/۳)، برای دیوار مرجع، از ساعت نه تا هفده افزایش یافته است. اختلاف دمای شرایط مرزی داخلی و شرایط مرزی خارجی در دیوار مرجع به طور میانگین ۳ درجه، و در بیشترین حالت ۳/۸۵ درجه سانتی‌گراد است و نشان‌دهنده این میزان تاثیر مصالح آجر و فضای ایزوله شده است.

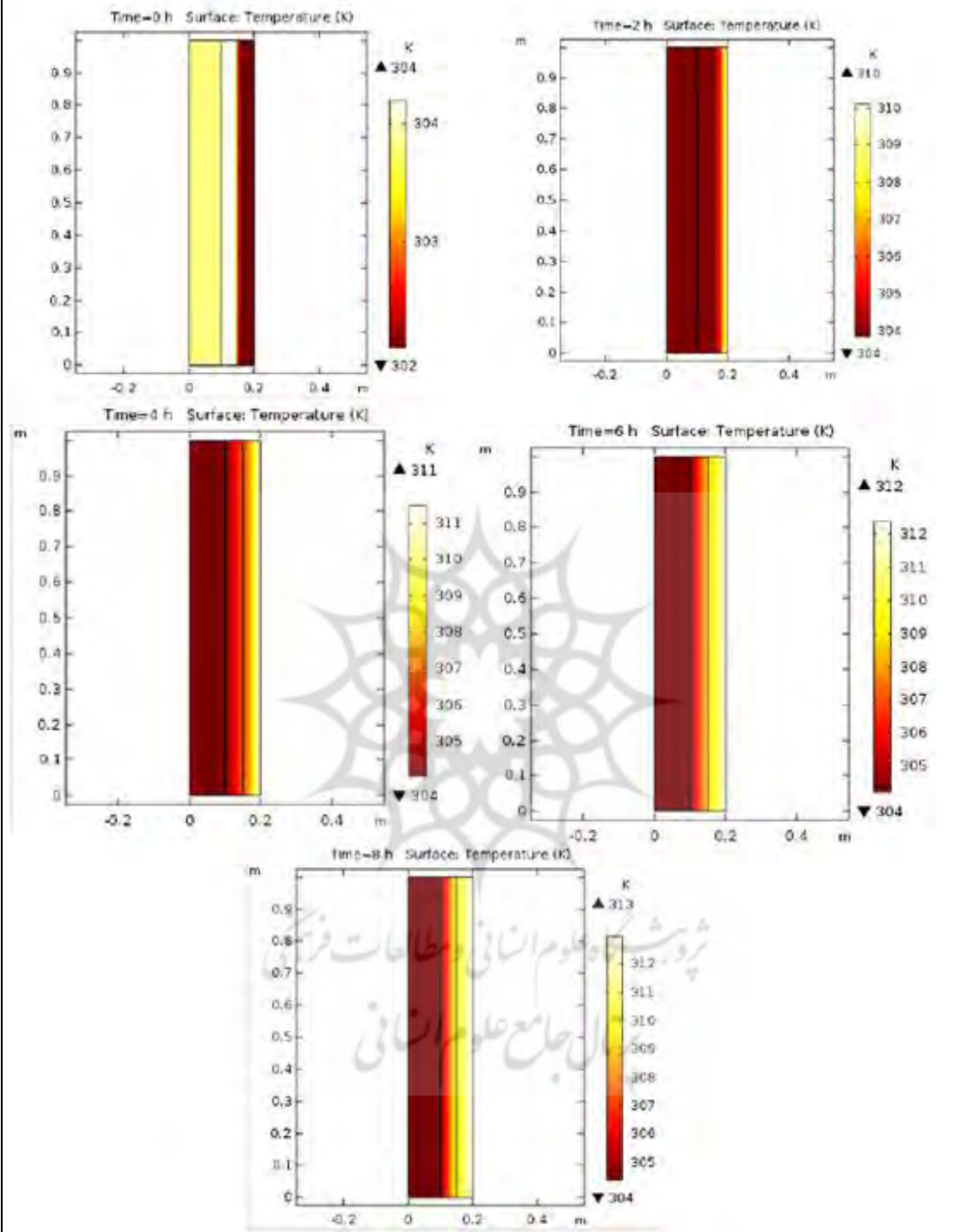
نرم‌افزار، ابتدا هر سه نمونه دیوار مدل‌سازی شد؛ مشخصات فیزیکی لایه‌های هر نمونه مانند ظرفیت حرارتی، مقاومت حرارتی، تخلخل و دماهای مورد نیاز مانند: دمای شرایط اولیه و میانگین دمای شرایط مرزی در دوره ۱۵ روزه و ویژگی گیاهان وارد شد. هم‌چنین مطابق با آزمایش تجربی، مساله وابسته به زمان تعریف شد. در نهایت نرم‌افزار با استفاده از معادلات جابه‌جایی و هدایتی و معادله محیط متخلخل، خروجی‌های شبیه‌سازی را ایجاد می‌کند. با بررسی شبیه‌سازی و شرایط مرزی هر نمونه و مقایسه آنها با هم و با نتایج تجربی، می‌توان به نتیجه‌گیری رسید. خروجی‌های نرم‌افزار کامسول در زیر آورده شده و مورد بررسی و تحلیل و مقایسه قرار گرفته است. تغییرات دمایی در هر ساعت در اشکال زیر نشان داده شده است. در حالت اول (دیوار مرجع)، دمای خارجی دیوار به علت h (ضریب جابه‌جایی هوا) بیشتر و شرایط مرزی وابسته بیشتر است و هر چه به سمت داخل تر نزدیک شده، دما کمتر و دیوار خنک تر می‌شود. در حالت دوم (دیوار زنده) دمای خارجی بیشتر است و هر چه به سمت داخل نزدیک شده، هوا خنک تر می‌شود؛ زیرا h (ضریب جابه‌جایی هوا) نیز کاهش می‌یابد. در حالت سوم (دیوار سبز غیرمستقیم) نیز همان روند دو حالت بالا برقرار است. روند کاهش دما در همه حالت‌ها یکسان و از خارج به داخل با کاهش دما روبه‌رو هستیم. اما در حالت سوم (دیوار سبز غیرمستقیم) نسبت به حالت دوم (دیوار زنده) به دلیل ضریب تخلخل بیشتر و عرض لایه‌های کمتر و هم‌چنین به دلیل

جدول ۵- خروجی شبیه‌سازی- نمودارهای انتقال حرارت برای هر یک از دیوارهای مرجع، دیوار سبز غیرمستقیم و دیوار زنده در بازه زمانی ۸ ساعته.

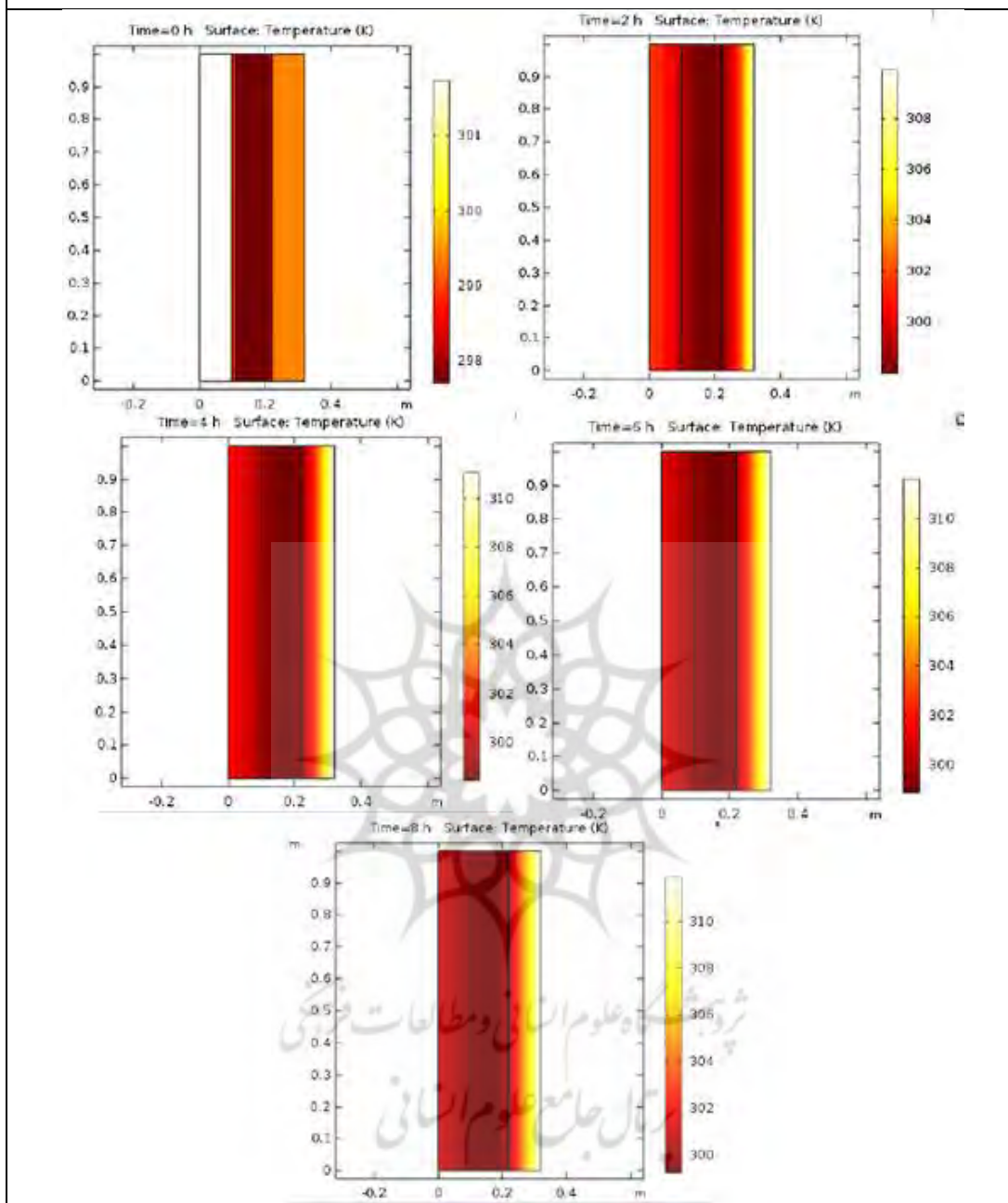
(۰ بیان گر ساعت ۹ صبح است. نتایج در بازه های دو ساعته تا ساعت ۱۷ (عدد ۸ است). (ماخذ: نگارندگان)



دیوار سبز غیرمستقیم



دیوار زنده



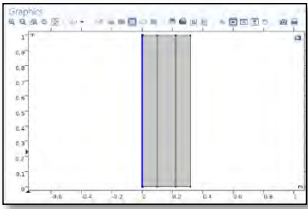
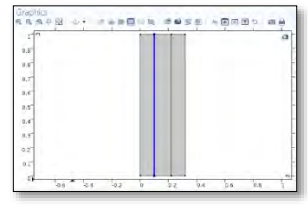
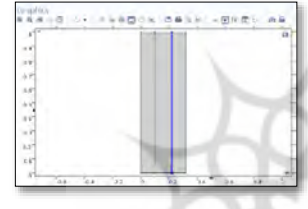
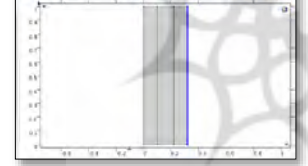
جدول ۶- اطلاعات دمایی شرایط مرزی برای دیوار مرجع (ماخذ: نگارندگان)

الف) اطلاعات دمایی مرز شماره ۱ (سطح داخلی دیوار و هوای داخل)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>% Table:</th> <th>Table 1 - Line Average 1 (T)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Time (h)</td> <td>Temperature (K)</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>307.44980472984497</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>307.52515979167373</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>308.05651239078816</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>308.45339968412264</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>308.70596654849084</td> </tr> </tbody> </table>	% Table:	Table 1 - Line Average 1 (T)	% Time (h)	Temperature (K)	0	307.44980472984497	2	307.52515979167373	4	308.05651239078816	6	308.45339968412264	8	308.70596654849084
% Table:	Table 1 - Line Average 1 (T)															
% Time (h)	Temperature (K)															
0	307.44980472984497															
2	307.52515979167373															
4	308.05651239078816															
6	308.45339968412264															
8	308.70596654849084															
ب) اطلاعات دمایی مرز شماره ۲ (سطح خارجی دیوار و هوای بیرونی)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>% Table:</th> <th>Table 2 - Line Average 2 (T)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Time (h)</td> <td>Temperature (K)</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>307.45235087849426</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>311.2063306285776</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>311.904548793798</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>312.28430862682865</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>312.50959859864</td> </tr> </tbody> </table>	% Table:	Table 2 - Line Average 2 (T)	% Time (h)	Temperature (K)	0	307.45235087849426	2	311.2063306285776	4	311.904548793798	6	312.28430862682865	8	312.50959859864
% Table:	Table 2 - Line Average 2 (T)															
% Time (h)	Temperature (K)															
0	307.45235087849426															
2	311.2063306285776															
4	311.904548793798															
6	312.28430862682865															
8	312.50959859864															
ساعت	دمای مرز ۱ (سانتی گراد)	دمای مرز ۲ (سانتی گراد)	اختلاف دما													
۹	۳۴/۲۹	۳۴/۳	۰/۰۱													
۱۱	۳۴/۳۷	۳۸/۰۵	۳/۶۸													
۱۳	۳۴/۹	۳۸/۷۵	۳/۸۵													
۱۵	۳۵/۳	۳۹/۱۳	۳/۸۳													
۱۷	۳۵/۵۵	۳۹/۳۵	۳/۸													

در جدول ۷ می‌توان نرخ اطلاعات دمایی دیوار زنده را مشاهده نمود. با توجه به خروجی شبیه‌سازی، دمای شرایط مرزی بین سطح داخلی دیوار و هوای داخلی برای دیوار زنده، از ساعت نه تا هفده تا هفده تا حدودی کاهش یافته است. (۲۸/۶ تا ۲۸) با توجه به خروجی شبیه‌سازی، دمای شرایط مرزی بین خاک و سطح خارجی دیوار برای دیوار زنده، از ساعت نه تا هفده، بسیار نزدیک به هم بوده و تقریباً روند کاهشی دارد. (۲۶/۷ تا ۲۶) با توجه به خروجی شبیه‌سازی، دمای شرایط مرزی بین گیاه

و خاک برای دیوار زنده، از ساعت نه تا هفده تقریباً روند افزایشی داشته است. (۲۷/۰۵ تا ۲۵/۳۹) با توجه به خروجی شبیه‌سازی، دمای شرایط مرزی بین گیاه و هوای خارجی برای دیوار زنده، از ساعت نه تا هفده افزایش یافته است. (۲۶/۲۵ تا ۳۸/۸۲) لذا، اختلاف دمای شرایط مرزی داخلی و شرایط مرزی خارجی در دیوار زنده به طور میانگین ۷.۳۶ درجه، و در بیشترین حالت ۱۰/۷۷ درجه سانتی‌گراد است و نشان‌دهنده این میزان تاثیر مصالح ظرفیت حرارتی خاک و گیاه است.

جدول ۷- اطلاعات دمایی شرایط مرزی برای دیوار زنده (ماخذ: نگارندگان)

الف) اطلاعات دمایی مرز شماره ۱ (سطح داخلی دیوار و هوای داخل)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>% Table:</th> <th>Table 5 - Line Average 1 (T)</th> </tr> <tr> <th>% Time (h)</th> <th>Temperature (K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>301.7500476021679</td></tr> <tr><td>2</td><td>301.63003621610744</td></tr> <tr><td>4</td><td>301.36333681012604</td></tr> <tr><td>6</td><td>301.23982301185896</td></tr> <tr><td>8</td><td>301.20317995570326</td></tr> </tbody> </table>	% Table:	Table 5 - Line Average 1 (T)	% Time (h)	Temperature (K)	0	301.7500476021679	2	301.63003621610744	4	301.36333681012604	6	301.23982301185896	8	301.20317995570326
% Table:	Table 5 - Line Average 1 (T)															
% Time (h)	Temperature (K)															
0	301.7500476021679															
2	301.63003621610744															
4	301.36333681012604															
6	301.23982301185896															
8	301.20317995570326															
ب) اطلاعات دمایی مرز شماره ۲ (خاک و سطح خارجی دیوار)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>% Table:</th> <th>Table 6 - Line Average 2 (T)</th> </tr> <tr> <th>% Time (h)</th> <th>Temperature (K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>299.7249832917131</td></tr> <tr><td>2</td><td>299.40643711868177</td></tr> <tr><td>4</td><td>299.44638336714416</td></tr> <tr><td>6</td><td>299.5303826030483</td></tr> <tr><td>8</td><td>299.6550554061316</td></tr> </tbody> </table>	% Table:	Table 6 - Line Average 2 (T)	% Time (h)	Temperature (K)	0	299.7249832917131	2	299.40643711868177	4	299.44638336714416	6	299.5303826030483	8	299.6550554061316
% Table:	Table 6 - Line Average 2 (T)															
% Time (h)	Temperature (K)															
0	299.7249832917131															
2	299.40643711868177															
4	299.44638336714416															
6	299.5303826030483															
8	299.6550554061316															
ج) اطلاعات دمایی مرز شماره ۳ (گیاه و خاک)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>% Table:</th> <th>Table 7 - Line Average 3 (T)</th> </tr> <tr> <th>% Time (h)</th> <th>Temperature (K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>298.54979741220615</td></tr> <tr><td>2</td><td>298.37485788513703</td></tr> <tr><td>4</td><td>298.9336022832897</td></tr> <tr><td>6</td><td>299.582937994939</td></tr> <tr><td>8</td><td>300.203676131934</td></tr> </tbody> </table>	% Table:	Table 7 - Line Average 3 (T)	% Time (h)	Temperature (K)	0	298.54979741220615	2	298.37485788513703	4	298.9336022832897	6	299.582937994939	8	300.203676131934
% Table:	Table 7 - Line Average 3 (T)															
% Time (h)	Temperature (K)															
0	298.54979741220615															
2	298.37485788513703															
4	298.9336022832897															
6	299.582937994939															
8	300.203676131934															
د) اطلاعات دمایی مرز شماره ۴ (هوای بیرون و گیاه)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>% Table:</th> <th>Table 8 - Line Average 4 (T)</th> </tr> <tr> <th>% Time (h)</th> <th>Temperature (K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>299.40279241156895</td></tr> <tr><td>2</td><td>309.90729351451813</td></tr> <tr><td>4</td><td>311.08933469411664</td></tr> <tr><td>6</td><td>311.64947131849743</td></tr> <tr><td>8</td><td>311.97514598581705</td></tr> </tbody> </table>	% Table:	Table 8 - Line Average 4 (T)	% Time (h)	Temperature (K)	0	299.40279241156895	2	309.90729351451813	4	311.08933469411664	6	311.64947131849743	8	311.97514598581705
% Table:	Table 8 - Line Average 4 (T)															
% Time (h)	Temperature (K)															
0	299.40279241156895															
2	309.90729351451813															
4	311.08933469411664															
6	311.64947131849743															
8	311.97514598581705															
ساعت	دمای مرز ۱ (سانتیگراد)	دمای مرز ۳ دمای مرز ۲ (سانتیگراد)	دمای مرز ۴ (سانتیگراد)	اختلاف دمای مرز ۱ و ۴												
۹	۲۸/۶	۲۶/۵۷	۲۵/۳۹	۲۶/۲۵	-۲/۳۵											
۱۱	۲۸/۴۸	۲۶/۲۵	۲۵/۲۲	۳۶/۷۵	۸/۲۷											
۱۳	۲۸/۲۱	۲۶/۲۹	۲۵/۷۸	۳۷/۹۳	۹/۷۲											
۱۵	۲۸/۰۸	۲۶/۳۸	۲۶/۴۳	۳۸/۴۹	۱۰/۴۱											
۱۷	۲۸/۰۵	۲۶/۵	۲۷/۰۵	۳۸/۸۲	۱۰/۷۷											

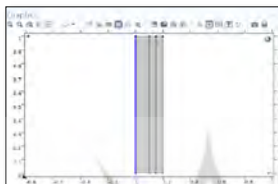
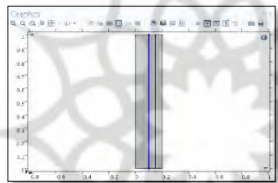
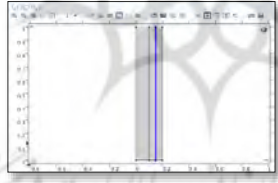
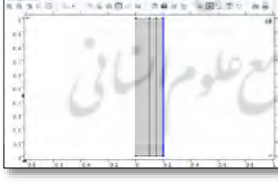
دیوار و هوای داخلی برای دیوار سبز غیرمستقیم، از ساعت نه تا هفده افزایش یافته است (۳۰/۶۵ تا ۳۱/۳) با توجه به خروجی شبیه سازی، دمای

در جدول ۸ می توان نرخ اطلاعات دمایی دیوار سبز غیرمستقیم را مشاهده نمود. با توجه به خروجی شبیه سازی، دمای شرایط مرزی بین سطح داخلی

بین هوای بیرون و گیاه برای دیوار سبز غیرمستقیم، از ساعت نه تا هفده به وضوح افزایش یافته است. (۲۸/۹۵ تا ۳۹/۸۴) لذا، اختلاف دمای مرز داخلی و خارجی در دیوار سبز غیرمستقیم به طور میانگین ۵/۵ درجه و در بیشترین حالت ۸/۵۴ درجه سانتی-گراد است که نشانگر این میزان تاثیر سایه‌اندازی و ظرفیت حرارتی گیاه است.

شرایط مرزی بین حفره هوا و سطح خارجی دیوار برای دیوار سبز غیر مستقیم، از ساعت نه تا هفده افزایش یافته است. (۳۰/۸۴ تا ۳۱/۶) با توجه به خروجی شبیه‌سازی، دمای شرایط مرزی بین گیاه و حفره هوا برای دیوار سبز غیر مستقیم، از ساعت نه تا هفده به وضوح افزایش یافته است. (۲۹/۹۹ تا ۳۶/۹۷) با توجه به خروجی شبیه سازی، دمای مرز

جدول ۸- اطلاعات دمایی شرایط مرزی برای دیوار سبز غیرمستقیم (مأخذ: نگارندگان)

الف) اطلاعات دمایی مرز شماره ۱ (سطح داخلی دیوار و هوای داخل)		<pre>% Table: Table 1 - Line Average 1 (T) % Time (h) Temperature (K) 0 303.8000846264452 2 304.17165833977333 4 304.27066059490716 6 304.36144462791555 8 304.454761844179</pre>			
ب) اطلاعات دمایی مرز شماره ۲ (حفره هوا و سطح خارجی دیوار)		<pre>% Table: Table 2 - Line Average 2 (T) % Time (h) Temperature (K) 0 303.9998000589942 2 303.85935053598786 4 304.0867273277786 6 304.3383640164719 8 304.5791604006922</pre>			
ج) اطلاعات دمایی مرز شماره ۳ (گیاه و حفره هوا)		<pre>% Table: Table 3 - Line Average 3 (T) % Time (h) Temperature (K) 0 303.14971640365553 2 304.13488914415336 4 306.6940600236513 6 308.7032656005542 8 310.12529868097926</pre>			
د) اطلاعات دمایی مرز شماره ۴ (هوای بیرون و گیاه)		<pre>% Table: Table 4 - Line Average 4 (T) % Time (h) Temperature (K) 0 302.10132591808343 2 310.1218898234218 4 311.49614863124356 6 312.3823689055889 8 312.99028355109385</pre>			
ساعت	دمای مرز ۱ (سانتیگراد)	دمای مرز ۲ (سانتیگراد)	دمای مرز ۳ (سانتیگراد)	دمای مرز ۴ (سانتیگراد)	اختلاف دمای مرز ۱ و ۴
۹	۳۰/۶۵	۳۰/۸۴	۲۹/۹۹	۲۸/۹۵	-۱/۷
۱۱	۳۱/۵۵	۳۰/۷	۳۰/۹۸	۳۶/۹۷	۵/۴۲
۱۳	۳۱/۱۲	۳۰/۹۳	۳۳/۵۴	۳۸/۳۴	۷/۲۲
۱۵	۳۱/۲۱	۳۱/۱۸	۳۵/۵۵	۳۹/۲۳	۸/۰۲
۱۷	۳۱/۳	۳۱/۴۲	۳۶/۹۷	۳۹/۸۴	۸/۵۴

۵-۴- بررسی و نتیجه تحلیل مرزها

برای مقایسه بهتر، میانگین اختلاف بیرونی ترین مرز با داخلی ترین آن در سه دیوار (ماخذ: نگارندگان) در جداول ۹ و ۱۰ آورده شده است.

جدول ۹- مقایسه میانگین اختلاف دمای بیرونی ترین مرز با داخلی ترین آن در سه دیوار (ماخذ: نگارندگان)

میانگین اختلاف دمای بیرونی ترین مرز با داخلی ترین آن	
دیوار مرجع	۳
دیوار زنده	۷/۳۶
دیوار سبز غیر مستقیم	۵/۵

جدول ۱۰- مقایسه حداکثر اختلاف دمای بیرونی ترین مرز با داخلی ترین آن در سه دیوار (ماخذ: نگارندگان)

حداکثر اختلاف دمای بیرونی ترین مرز با داخلی ترین آن	
دیوار مرجع	۳/۵۸
دیوار زنده	۱۰/۷۷
دیوار سبز غیر مستقیم	۸/۵۴

۶- نتیجه گیری

با توجه به خروجی های نرم افزار و تحلیل نقاط مرزی، مشخص می شود که دیوار زنده احتمالا به علت ظرفیت حرارتی خاک و گیاه، سایه اندازی و تخلخل کمتر گیاه، عرض بیشتر نمونه، به طور قابل ملاحظه ای عملکرد بهتری نسبت به دیگر نمونه ها دارد. در حالت دوم با تغییر جنس از هوا به خاک تغییرات چشم گیری حاصل شده است. برای نتیجه گیری کلی با توجه به نتایج حاصل از آزمایش تجربی و شبیه سازی کامپیوتری، در جدول ۱۱، مقایسه میانگین اختلاف دماهای هوای بیرون و داخل در دو حالت آورده شده است.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اختلاف دماهای هوای بیرون و داخل در دو حالت آزمایش تجربی و شبیه سازی کامپیوتری (ماخذ:

نگارندگان)

میانگین اختلاف دمای هوای بیرون با دمای هوای داخل			
نوع دیوار	دیوار مرجع	دیوار دیوار سبز غیر مستقیم	دیوار زنده
میانگین اختلاف دمای هوای بیرون با دمای هوای داخل در آزمایش تجربی	۸	۱۰/۲	۱۲/۶
	۲/۲+	۲/۴+	
میانگین اختلاف دمای هوای بیرون با دمای هوای داخل در شبیه سازی کامپیوتری	۳	۵/۵	۷/۳۶
	۲/۵+	۱/۸۶+	

می‌تواند تاثیر آبیاری، تبخیر و تعرق خاک و گیاهان باشد، که زمان ارائه تحقیق نرم‌افزاری با قابلیت دقیق محاسبه و لحاظ آن طراحی نشده است. با این حال، نتایج به طور کلی دارای روند مشابه و یکسانی هستند و نشان از برتری دیوار زنده دارد.

شایان ذکر است جهت تدقیق بیشتر این گزاره، سن گیاهان، همگی زیر یک سال بودند و میزان تخلخل گیاهان بر اساس سن و رشد آنها محاسبه شده است. بدیهی است که با گذر زمان این میزان تغییر خواهد کرد. نتایج این تحقیق تنها بر اساس شرایط دمایی-رطوبتی کرمان به دست آمده است و نمی‌تواند بدون بررسی اقلیمی سایر شهرهای اقلیم گرم و خشک، تسری یابد.

با توجه به جدول ۱۱، در هر دو مورد بهترین عملکرد به صورت قابل ملاحظه‌ای متعلق به دیوار زنده است و بعد از آن به ترتیب دیوار سبز غیرمستقیم و دیوار مرجع قرار دارند. بین دیوار مرجع و دیوار سبز غیرمستقیم و دیوار سبز غیرمستقیم با دیوار زنده، میانگین اختلاف دما در هر دو مورد تجربی و شبیه‌سازی ۲-۳ درجه است. اما میزان دماها متفاوت است که این شاید به دلیل عدم توانایی نرم‌افزار در پوشش کامل شرایط محیطی، ثابت فرض کردن برخی شرایط محیطی (به دلیل نبود شرایط و امکانات اندازه‌گیری) و h(ضریب جابه‌جایی هوا) متفاوت، خطاهای انسانی و... باشد. اما مهمترین دلیل در نتایج بهتر نمونه‌های آزمایش تجربی نسبت به خروجی‌های شبیه‌سازی،

پی‌نوشت‌ها

1. Atrium

1. Emergyr انواع مختلف انرژی و منابع (مانند نور خورشید، آب، سوخت‌های فسیلی، معدن و غیره) محسوب می‌شود. به مقدار انرژی، که در تحولات مستقیم و غیر مستقیم برای تولید محصول یا خدمات مصرف می‌شود نیز گفته می‌شود.
2. Geotextile نوعی پارچه نفوذپذیر هستند که در هنگام استفاده با خاک، قابلیت جداسازی، فیلتر کردن، تقویت، حفاظت و زه‌کشی دارد.

3. Aptenia Cordifolia

4. Hedera Helix

منابع

- Akbari, H. (2009). "Cooling our communities. A guidebook on tree planting and light-colored surfacing".
- Akbari, H., et al. (2001). "Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas." *Solar energy* **70**(3): 295-310.
- Biederman, I. and E. A. Vessel (2006). "Perceptual pleasure and the brain: A novel theory explains why the brain craves information and seeks it through the senses." *American scientist* **94**(3): 247-253.
- Boaf, F. E., et al. (2017). "Evaluating the impact of green roof evapotranspiration on annual building energy performance." *International Journal of Green Energy* **14**(5): 479-489.
- Guan, X., et al. (2018). *Biophilic city, vertical city, forest city? Towards an Architectree*. IFLA 2018: Biophilic city, smart nation, and future resilience: Proceedings of the 55th International Federation of Landscape Architects World Congress 2018, International Federation of Landscape Architects.
- Guéguen, N. and J. Stefan (2016). "'Green Altruism' Short Immersion in Natural Green Environments and Helping Behavior." *Environment and behavior* **48**(2): 324-342.
- Kılıç, M. and A. F. Altun (2018). Achieving Green Building Standards via Energy Efficiency Retrofit: A Case Study of an Industrial Facility. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, Elsevier: 55-69
- Kuo, F. E. (2001). "Coping with poverty: Impacts of environment and attention in the inner city." *Environment and behavior* **33**(1): 5-34.

- Larsen, S. F., et al. (2015). "Modeling double skin green façades with traditional thermal simulation software." Solar energy **121**: 56-67.
- Lin, T.-P., et al. (2010). "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort." Building and environment **45**(1): 213-221.
- Malys, L., et al. (2014). "A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption." Building and environment **73**: 187-197.
- Orman, P. (2017). Understanding the Biophilia Hypothesis through a Comparative Analysis of Residential Typologies in Phoenix, São Paulo, and Tokyo, Arizona State University.
- Park, S.-H. and R. H. Mattson (2008). "Effects of flowering and foliage plants in hospital rooms on patients recovering from abdominal surgery." HortTechnology **18**(4): 563-568.
- Pérez-Lombard, L., et al. (2008). "A review on buildings energy consumption information." Energy and Buildings **40**(3): 394-398.
- Pérez, G., et al. (2014). "Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review." Renewable and sustainable energy reviews **39**: 139-165
- Perez, G., et al. (2011). "Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings." Applied energy **88**(12): 4854-4859
- Perini, K., et al. (2011). "Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope." Building and environment **46**(11): 2287-2294.
- Pulselli, R., et al. (2014). "Emergy based evaluation of environmental performances of Living Wall and Grass Wall systems." Energy and Buildings **73**: 200-211.
- Riley, B. (2017). "The state of the art of living walls: Lessons learned." Building and environment **114**: 219-232.
- Salata, F., et al. (2015). "How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study." Energy and Buildings **99**: 32-49.
- Santamouris, M. and D. Kolokotsa (2013). "Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art." Energy and Buildings **57**: 74-94.
- Samia Saleh, J. B. K., Michael Sanchez (2017). "Analysis of Possible Energy Savings Impacts of Green Walls on Urban Dwellings in Bangladesh." American Journal of Engineering Research (AJER) **6**(7): 10.
- Soderlund, J. and P. Newman (2015). "Biophilic architecture: a review of the rationale and outcomes." AIMS Environmental Science **2**(4): 950-969.
- Theodosiou, T. G. (2003). "Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique." Energy and Buildings **35**(9): 909-917.
- Vera, S., et al. (2018). "A critical review of heat and mass transfer in vegetative roof models used in building energy and urban environment simulation tools." Applied energy.
- Wang, Z. and J. Zhao (2018). "Optimization of Passive Envelope Energy Efficient Measures for Office Buildings in Different Climate Regions of China Based on Modified Sensitivity Analysis." Sustainability **10**(4): 907.
- Webb, M., et al. (2018). "Simulation of a biomimetic façade using TRNSYS." Applied energy **213**: 670-694.
- Wong, N. H., et al. (2003). "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment." Building and environment **38**(2): 261-270.
- Wong, N. H., et al. (2010). "Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls." Building and environment **45**(3): 663-672.
- Xing, Q., et al. (2019). "Experimental investigation on the thermal performance of a vertical greening system with green roof in wet and cold climates during winter." Energy and Buildings **183**: 105-117.
- Yang, F., et al. (2018). "Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: A case study in Shanghai." Sustainable Cities and Society **39**: 43-51.
- Yuan, Y., et al. (2017). "Bionic building energy efficiency and bionic green architecture: a review." Renewable and sustainable energy reviews **74**: 771-787.

Evaluation of the Biophilic Approach to Energy Conservation in Residential buildings of Kerman

Sara Mohammadi¹, Behzad Vasigh^{2*}

1- Department of Architecture Jundi-Shapur University of Technology, Dezful Iran

2- Department of Architecture Jundi-Shapur University of Technology, Dezful Iran

Abstract

Uncontrolled consumption of Energy and fossil fuels has led to the loss of resources and environmental pollution. Therefore being Consistent with natural conditions through architecture is essential. nature has always been a source of solutions for designers. The biophilic approach is a design approach based on belief in the effects of nature on the psyche and life. The green roof and surfaces, sky garden and green courtyards are design solutions based on this approach. The climate of Kerman is hot and dry and therefore it is necessary to consume a lot of energy. Depending on the vegetation features, green space can be used to assist in passive cooling and heating of the building. Increasing population growth requires energy supply and a lack of green space in Kerman has made the use of the green wall necessary. Here are three solutions, direct implementation of the plant on the facade, indirect vegetation and live wall. It is assumed that the biophilic approach can provide valid design options as a climatic solution to reduce energy loss. **The purpose** of this study is to investigate the effect of plant use on the vertical faces of buildings in hot-aridclimate of Kerman. In this study, the effect of green wall on reducing energy consumption and increasing thermal comfort is investigated. **The research method** in this paper is based on a combination of quasi-experimental and simulation methods. For this purpose, empirically made green wall samples with real scale have been investigated by temperature and humidity measuring instruments. The field results have been compared with the help of the software. According to comparison of the outputs of the software and the field data, the best temperature and humidity performance with substantial difference belongs to the the live wall, followed by the indirect green wall and the reference wall, respectively. Also the living wall provided the highest amount of moisture in the interior.

Keywords: hot and dry climate, Kerman, biophilic, living wall, simulation

*Email: vasiq@jsu.ac.ir

CONTENTS

Explaining the Concept of Architecture Stylistics by Introducing a New Approach in Iran's Architecture Stylistics (Motivated by architectural conservation)	30
Hadi Nadimi, Reza Abouie, Zeinab Moradi	
Physical - Spatial typology of Safavid Religious tombs in Isfahan	52
Azita Belali Oskuyi, Yahya Jamali	
Wind flow patterns in ancient wind catchers of Yazd based on a long term measurement (case study: Mortaz house)	70
Zhaleh Hedayat, S.Zeinab Emadian Razavi, S.Mohammad hosein Ayatollahi	
Design of temporary accommodation model after the Qom potential earthquake	93
Zohair Motaki, Akbar Haj Ebrahim Zargar, AbdolMajid Khorshidian, Sayyed Masood Mirghasemi	
Maidan: Understanding its Conceptual domain and the range of it's instances in Qajar period, Based on Historical Maps	118
Mahnab Najafi, Reza Shakouri	
Studying the effect of khavunchini on heat transfer from South facade in summer, in very hot and semi-arid climate of Khuzestan	139
Ali Dahar, Mansoureh Tahbaz, Mohsen Taban	
Investigation of the Historical-physical classification of Haft-shoyeh Jame Mosque based on Comparative Studies	174
Mehdi Razani, Yadolahe Haydari Babakamal	
Evaluation of the Biophilic Approach to Energy Conservation in Residential buildings of Kerman	197
Sara Mohammadi, Behzad Vasigh	
Documentation of urban open spaces based on the principles of the Sofia Charter Case Study: Pamenar neighborhood open spaces in Kerman	225
Sakineh Tajaddini, Mohsen Keshavarz, Mahboubeh Eslamizadeh, Mahdieh Ziaadini Dashtkhaki	
Learning from the past; applying space syntax theory in Atrvash and Mohtasham houses in continuity of sense of place in contemporary houses	250
Amin Habibi, Elham Fallahi, Sina Karmirad	
Optimization of the building orientation to receive solar radiation in hot-aridclimate (Case Studies: Isfahan, Semnan, Kerman and Yazd cities)	267
Hassan Akbari, Fatemeh Sadat Hosseini Nezhad	
Indoor Environmental Quality in Qajar Houses of Shiraz with an emphasis on Thermal Comfort and Daylighting (case study: Nemati House)	291
Aida Zare Mohazzabieh, Shahin Heydari, Azadeh Shahcheraghi	

INSTRUCTIONS TO CONTRIBUTORS



- Scientific-research articles published after peer review and approval of the editorial board. Other papers such as translation, compilation, book reviews allll llll ll ll l lceeee..
- The paper con not be previously published in other journals or other publications or conferences ever to be sent for review and printing.
- The paper should preferably Persian. Although this publication is to be confirmed in writing to publish the English language.
- The paper should have an appropriate level of scientific and research methods and rules are formulated in writing to abide by and be smooth.
- The editorial board may accept or reject the article is accepted.
- In the first page, the author (s) full name, title and affiliation, subsidiary of the organization, address, email and phone number of author/authors should be given. Also, if the paper is based on a grant or a student thesis, it should be noted accordingly on the first page.
- The paper should include an abstract, introduction (including the problem statement, the importance and necessity, goal, history, questions or hypotheses, research methods, introduced variables and domain research), concepts and on theoretical grounds, the application of methods and techniques and analysis and conclusions (in line with the goals and hypotheses or questions and results of applying the techniques and methods), and references.
- Abstracts should be written in Persian and English and its review of the problem statement, goals, methodology, findings and conclusions and key words (4 to 6 words). This alone should be expressed in all the paper, especially the results. Persian abstract is about 350 words. Persian and English abstracts must be provided in a separate page and be numbered from No. 1 to the end.
- Papers typed on Bzar font. The main title font is 14 Black, the sub title font is 12 Black, text font is 14 and abstracts font will be typed size 12.
- The right margin of 3 cm, left margin of 2/5, up 3/5 and bottom 2/5 cm and distance between the lines to be single.
- Bibliographic information about papers, books, reports and other references will be made this way:
 - Book: Author(s). (year). book title, translator, publisher and location, publishing time.
 - Pae:: rrrrrr (rr. (yea)). llll ll eer iille, Jnnnrasss aa,, mmmmm number.
 - Thesis: Author. (year). full thesis title, supervisor name, university name.
- The sole responsibility for views and statements expressed in the paper remains with the author/autors.
- If a paper has several authors, one must be represented as the author corresponding.