



کاربست مدل سازی اطلاعات ساختمان در طراحی ساختمانهای بلند مسکونی با رویکرد کاهش جزایر حرارتی

مائده نوبخت^۱، محمدرضا بمانیان^۲، منصور یگانه^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، کارگاه طراحی معماری، مدلسازی و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، پست الکترونیکی:

bemanian@modares.ac.ir

۳. استادیار گروه معماری، کارگاه طراحی معماری، مدلسازی و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده:

موضوع مقاله بررسی بهترین و موثرترین مصالح نما با هدف کاهش جزایر حرارتی در شهر تهران با کاربرد مدل سازی اطلاعات ساختمان می باشد. ارائه راهکارهایی در جهت کاهش جزایر حرارتی، ارائه مصالح نوین و بررسی و دسته بندی آن ها، یافتن تیپولوژی شهر تهران و بررسی هر یک از آنها، از ضرورت های اصلی مطالعه موضوع می باشد.

روش تحقیق برحسب اهداف، توصیفی و تبیینی، نتایج، کاربردی، فرآیند، پژوهش کیفی و کمی و بر اساس روش مطالعه، تجربی شبیه سازی با نرم افزار Envi-met می باشد. تکنیک تحلیل نرم افزاری، با نرم افزار گرافیکی Leonaedo می باشد.

یافته های پژوهش نشان می دهد که جزایر حرارتی و دمای هوا با تغییر مصالح نما تغییر یافته و نحوه قرارگیری ساختمان نیز امری مهم تلقی می شود.



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

واژگان کلیدی: جزایر حرارتی، مصالح نوین، نما ساختمان، ساختمان بلند

1-مقدمه:

پیشرفت و توسعه شهرها سبب تغییر اقلیم و ایجاد جزیره حرارتی در مناطق شهری می شود. در عصر حاضر شهرنشینی رونق زیادی پیدا کرده و همین امر سبب شده تا کره ی زمین تحت تاثیر مسائل مختلف قرار گرفته و وضعیت طبیعی خود را تا حد زیادی از دست بدهد و یکی از پیامدهای آن افزایش دما است. این افزایش دما منجر به ایجاد پدیده ای در شهرها شده است که به آن جزیره ی حرارتی شهر میگویند. بسیاری از شهرها و نواحی حومه شهر دماهای بالاتری را در مقایسه با محیط های روستایی دورافتاده شان تجربه می کنند. این تفاوت در دما همان چیزی است که جزیره ی حرارتی را تشکیل می دهد و منجر به ایجاد مشکلات زیست محیطی و نیز کاهش کیفیت زندگی شهری گشته است و علاوه بر اینکه مصرف انرژی را افزایش می دهد، موجب افزایش انتشار آلاینده ها و گازهای گلخانه ای نیز می گردد. بنابراین شناخت عوامل ایجاد کننده جزایر حرارتی گامی در جهت تلاش برای کاهش جزیره حرارتی شهری می باشد. اگر بخواهیم تعریف ساده ای از «جزیره حرارتی شهری» به دست دهیم، باید آن را به هر محدوده ای اطلاق کنیم که انسان در آن به ساخت و ساز پرداخته و دمای آن منطقه در مقایسه با مناطق پیرامونی اش به طور قابل ملاحظه ای بالاتر است. این اختلاف دما در ساعات شب محسوس تر است و به حدود ۸ درجه سانتی گراد می رسد. اصطلاح «جزیره حرارتی شهری» از آن رو به این مناطق نسبت داده می شود که همچون جزیره ای گرم در پهنه خنک حومه خود حضور دارند. جزیره هایی حرارتی به این ترتیب ایجاد می شوند که مصالح ساختمانی نظیر آسفالت و سنگ حرارت را در درون خود ذخیره می سازند و با خنک شدن هوا در ساعات پس از غروب خورشید، این حرارت را بازمی تابانند. این اثر در کنار تجمع مصرف انرژی در شهرها و تهویه ضعیف تر در مقایسه با مناطق روستایی موجب پدید آمدن جزایر حرارتی شهری می شود.

2-چارچوب نظری

با توجه به اینکه نحوه استقرار ساختمان بلند تاثیر به سزایی در ایجاد جزایر گرمایی شهری دارند باید سیر تحول طراحی ساختمان بلند و عوامل موثر بر طراحی و تاثیرات اقلیمی، زیست محیطی، اجتماعی و فرهنگی به طور جداگانه مورد بررسی قرار بگیرند. ویژگی ها و شاخص های موثر بر طراحی ساختمان بلند و همچنین میزان تاثیر بر ایجاد جزایر گرمایی تبیین شود ۲-۲- سیر تحول طراحی ساختمان های بلند

ساختمان های بلند از اواخر قرن هیجده میلادی در آمریکا پدیدار شدند و با چندین دهه تاخیر در سطح جهان گسترش یافتند. بیشترین کاربری ساختمان های بلند در رابطه با مراکز تجاری و پس از آن هتل ها و ساختمان های چند منظوره بوده است. در این مقاله سعی شده تا سیر تحول ساختمان های بلند، همراه با تغییرات ساختاری آن ها مورد بررسی واقع شود. تاکید این مقاله



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

بیشتر بر روند تغییرات در ساختار، نما، پلان و نوع مصالح آنها است. روش تحقیق مقاله عمدتاً مبتنی بر مطالعات کتابخانه ای و تحقیقات اینترنتی است. بخشی از نتایجی که از بررسی سیر تحول ساختمان های بلند حاصل شده اینست که طی اواخر قرن هیجدهم و اوایل قرن نوزدهم میلادی، فرم ساختمان ها اغلب مستطیل کشیده و ساده بودند. در این بازه زمانی ابعاد پلان ها کوچک و محدود بوده و تقریباً عناصر شاخصی بر بالای تمام ساختمان ها دیده می شود. با وقوع جنگ جهانی اول و دوم ساخت بناهای بلند چند سالی رونق کمتری یافت و شاهد افول در ساختمان سازی هستیم و عملاً ساختمان ها دوباره به فرم مکعب مستطیل ساده بازگشتند. با ورود کامپیوتر به عرصه معماری در دهه ۱۹۶۰ میلادی، طراحی، محاسبات و ساخت وساز شکل دیگری به خود گرفت. از این دوره فرم ساختمان ها به تدریج از حالت ساده خارج و دارای زاوای ملایمی شدند. در اواخر این دهه برای اولین بار سیستم لوله ای ابداع شد که تاثیر مستقیم بر حجم ساختمان ها داشت. سپس سازه لوله ای مهندسی شده ساختمان های بلند را بیشتر تحت تاثیر قرار داد. بعد از آن طراحی معماری کاملاً با سازه ترکیب شد. در ادامه، گوشه های تیز در پلان، ارتفاع و حجم ساختمان حذف و فرم های جدید ساختمانی به مجموعه ساختمان های بلند اضافه شد. در قرن جدید روند تغییرات و ساخت سازه های بلند در جهان سرعت بسیار بالایی به خود گرفت، ارتفاع و وسعت آسمانخراش ها رو به فزونی گذاشت و سیستم های ترکیبی در سازه رواج گسترده ای پیدا کرد (رستاقی، زهرا و محمدرضا مغاره، ۱۳۹۶)

امروزه مدل سازی اطلاعات ساخت کاربرد گسترده ای از طراحی و ساخت تا بهره برداری و حتی مرحله تخریب ساختمان ها پیدا کرده است. این فناوری با نمایش دیجیتال خصوصیات ساختمان مدیر پروژه و ذینفعان را در هر مرحله برای تصمیم گیری درست یاری می کند. مدل سازی اطلاعات ساختمان کلیه فعالیت های مدیریت ساخت، بر اساس اسناد قرارداد، به دو مقوله نقشه ها و مشخصات وابسته هستند، به این صورت که به کمک نقشه ها کمیت کار و براساس مشخصات فنی، کیفیت آن تعریف می گردد. در واقع معیارهای ارزیابی عملکرد پیمانکاران بر اساس این دو مقوله، تعیین می گردند. ما از قبل می دانیم که در روش مرسوم مدیریت ساخت، از یک سو نقشه ها و مشخصات به صورت جداگانه ارائه می گردند و از سوی دیگر نقشه های اجرایی گروه های مختلف طراحی، به صورت جداگانه ولی هماهنگ با یکدیگر تهیه می شوند. مشکلات این روش بر همگان آشکار بوده و شاید برخی از بدترین آن ها عدم هماهنگی ها، اشتباهات و دوباره کاری ها باشد که نهایتاً علاوه بر بالا بردن هزینه ساخت، منجر به پایین آمدن کیفیت کار می گردد. یکی از هیجان انگیزترین پیشرفت های اخیر در زمینه مدیریت ساخت، معرفی تکنولوژی «مدل سازی اطلاعات ساختمان» یا به اختصار BIM می باشد.

هدف از بهینه سازی انرژی تحت فرآیند مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) موارد زیر میباشد:

تحلیل و بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ها بمنظور دستیابی به سطح مناسب و مدیریت شده انرژی مصرفی، با استفاده از نرم افزار



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

تشخیص و تخمین میزان رضایت ساکنین نسبت به راحتی گرمای داخلی

شبیه سازی و مدل سازی نمونه انتخاب شده به کمک نرم افزار

تحلیل و تخمین الگوی مصرف انرژی با در نظر گرفتن نیاز ساکنین

پیشنهاد راه های عملی جهت بهینه سازی تاسیسات مکانیک

فعالیت های این بخش با سه هدف اصلی کاهش مصرف انرژی کل و انرژی اولیه ساختمان، تولید انرژی و تعیین میزان بهره وری انرژی و اقتصادی در مراحل مختلف انجام می شود. پس از تعیین فرصتهای صرفه جویی مناسب بر اساس محاسبه میزان تلفات در هر بخش، باید این فرصت ها در نرم افزار مدل سازی شده و میزان کاهش انرژی مصرفی با اعمال هر یک از فرصت های صرفه جویی انرژی مشخص گردد. لازم به ذکر است با توجه به اتمام مراحل طراحی این ساختمان، در صورت خواست کارفرما، تمامی راهکارهای بهینه سازی با اولویت حداقل تغییرات در طرح اصلی معماری ساختمان تعیین می گردند.

3-روش تحقیق

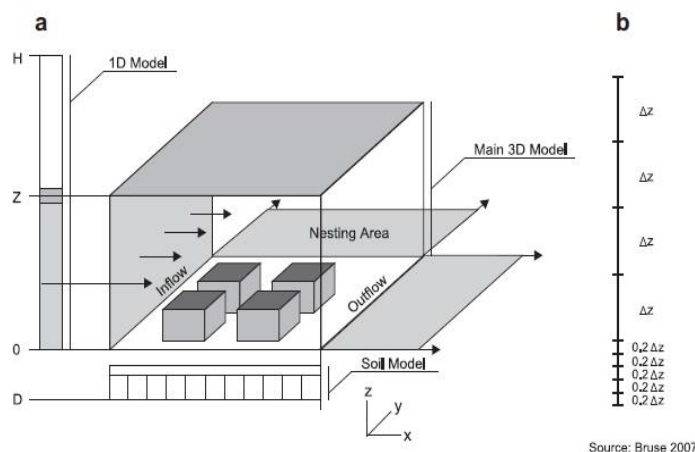
منظور از روش شناسی، جستجوی راهبردهای مورد نیاز پژوهش و به دنبال آن شناسایی ابزار و روش مورد استفاده در هر راهبرد میباشد که این مرحله با توجه به مطالعه پژوهشهای انجام شده در این حیطه صورت میپذیرد. اگر بخواهیم این پژوهش را از دیدگاه هدف پژوهش تقسیم بندی کنیم، از آنجا که این پژوهش با هدف کشف راهکارهای جدید برای آینده انسان و روشهای نوین در ساخت ساختمانها انجام شده است دارای ماهیت بنیادی نظری است و بر پایه مطالعات کتابخانهای انجام شده است، از طرف دیگر به دلیل اینکه به دنبال بهبود شرایط جزایر گرمایی و بر اساس نتایج تحقیقات بنیادی، به دنبال مصالح نوین در نما است تا شرایط آسایش انسان را بهبود بخشد دارای ویژگیهای کاربردی است. از نظر نوع دادههای به کارگرفته شده میتوان گفت غالباً از دادههای کمی بهره گیری شده است در نتیجه این تحقیق را میتوان تحقیقی با رویکرد کمی دانست و روش تحقیق این پژوهش از نظر ماهیت دادهها نیز یک تحقیق کمی است. و بر اساس راهبرد یا نحوه گردآوری دادهها توصیفی است زیرا به دنبال شناسایی عوامل تشکیل دهنده مدل برای رسیدن به هدف تحقیق و همچنین پیاده سازی آن بر روی مورد مطالعه میباشد. ابتدا مسئله قابل بحث مشخص گردید که در این پژوهش شناسایی خواص ریز ساختارهای مصالح است، تا بتوان این خواص را ابتدا شناسایی و در مرحله بعد با شناسایی پتانسیل های طراحی و تکنولوژی از آن ها نهایت استفاده مفید را کرد. سپس با استفاده از منابع کتابخانهای نظیر کتب، مقالات، پایان نامه ها و سایتهای اینترنتی به بررسی پیشینه این موضوع و کارهایی که سایر محققان تا کنون انجام داده بودند، پرداخته می شود.

۱-۳- معرفی محیط شبیه سازی



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

پایه و اساس الگوی Envi-met بر روی قوانین بنیادی دینامیک سیالات، ترمودینامیک گازها و قواعد اولری با هدف محاسبات جرم، حرکات جنبشی و تبادلات انرژی است. طرح کلی الگوی Envi-met از یک الگوی سه بعدی بسته تشکیل شده و شامل یک الگوی تک بعدی است که حدود مرزهای جوی در فرایند شبیه سازی را مشخص می کند. الگوی سه بعدی به اجزای کوچکتر در داخل سلولها (X,Y,Z) تقسیم میشود. هر بعد (سلول) دارای مقدار کاملاً مشخصی است که در عین تفکیک پذیری، ارزش آن به نسبت دیگر ابعاد



شکل ۱: پیکربندی الگوی Envi-met در قسمت a ، z ارتفاع اصلی الگوی سه بعدی و H ارتفاع الگوی یک بعدی است که پروفیلی عمودی از تمامی متغیرهای الگو برای خطوط جریانهای داخلی در الگوی سه بعدی ایجاد میکند. D الگوی خاک را تشکیل میدهد؛ به عبارتی، ویژگیهای خاک از نظر نیمرخ، لایه بندی و غیره به شکل جداگانه ای یک الگو را تشکیل میدهد که به الگوی خاک معروف است. b ساختار اصلی شبکه بندی عمودی مدل است (منبع: بروس، ۲۰۰۷؛ ۶۳).

تغییر می کند؛ به جز پنج قسمت انتهایی الگوی عمودی (Δz) که با مقدار ۰/۲ متر برای افزایش دقت در محاسبات تبادلات انرژی (رطوبت، دما، طول موهای تابشی، گازها و...) بین سطح زمین و عمق ۲ متری خاک برنامه ریزی شده است. در این الگو، شبیه سازی و پیش بینی عناصر اقلیمی در ارتباط با پوششهای گیاهی، جنس خاک، هندسه شهر و مقدار تراکم آن تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر است (بروس، ۱۹۹۹؛ بروس و فلیر، ۱۹۹۸). شکل ۱ اذیل ساختار کلی الگوی Envi-met را نشان می دهد.

۴- یافته ها

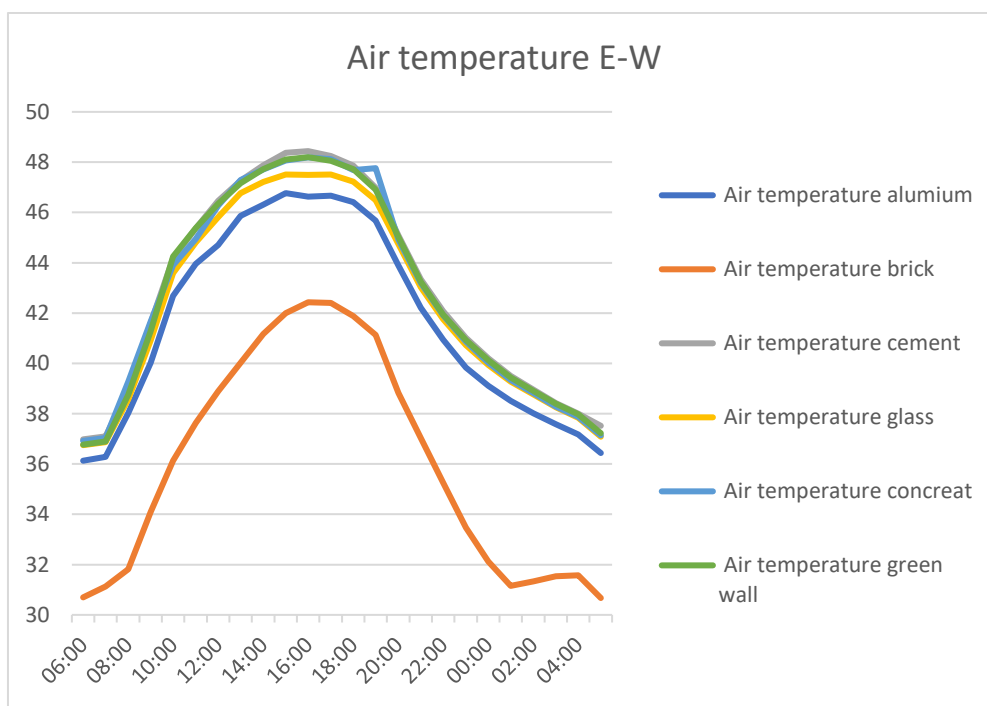
خروجیها از ارتفاع ۱.۵ از سطح زمین گرفته شده است. به منظور بررسی میزان کارایی انواع نماهای با مصالح مختلف در کاهش جزایر حرارتی، دمای خشک، متوسط دمای تابشی، شاخص های دمای معادل فیزیولوژیک، اقلیم حرارتی جهانی، پیش بینی درصد افراد ناراضی و



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

میانگین آرای پیش بینی شده در ساعت های ۲ ظهر و ۲ شب در روز سه مرداد ۱۳۹۷ به عنوان گرمترین روز سال مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. شاخص های آسایش حرارتی برای استاندارد انسانی بر اساس ISO 7730 که فردی با جنسیت مرد، سن ۳۵ سال، قد ۱۷۵ سانتی متر، وزن ۷۵ کیلوگرم است و ارزش نارسایی پوشاک برای لباس تابستانی سبک مردانه یعنی ۰/۵ کیلو و آهنک سوخت و ساز W ۸۰/۲۱ (راه رفتن با سرعت متوسط ۱.۲۱ متر بر ثانیه) محاسبه شده است.

نمودار ۱: نمودار دمای هوا برای مصالح مختلف

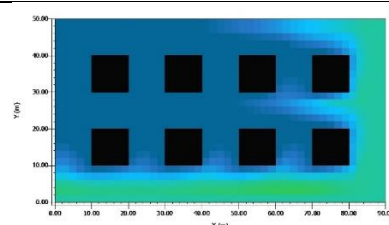
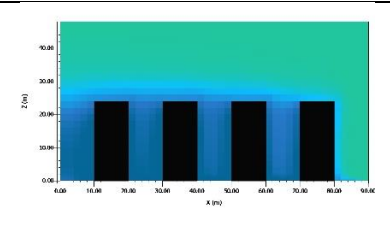
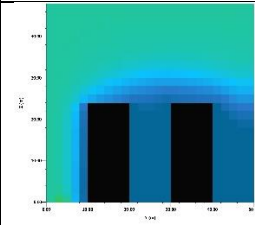
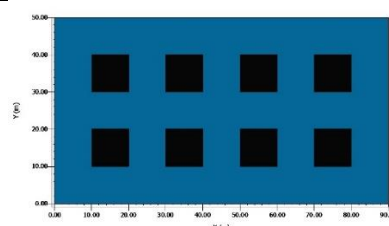
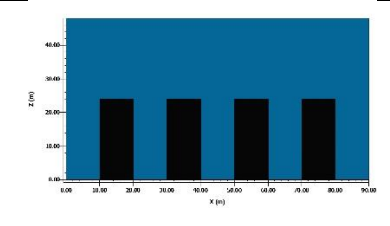
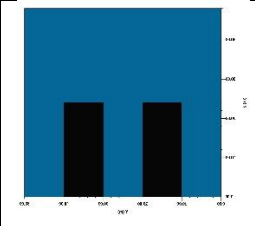
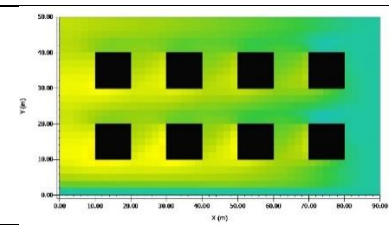
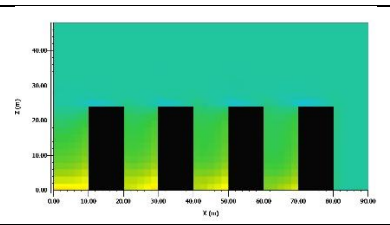
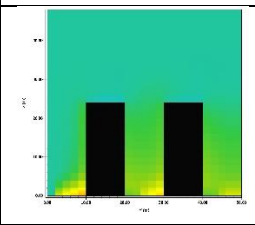
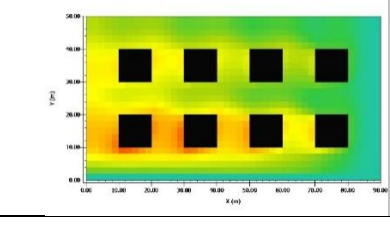
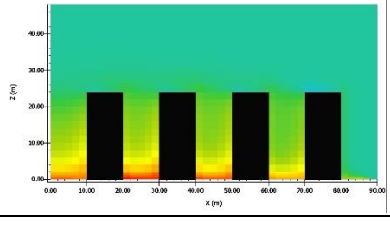
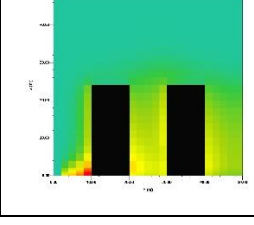


یکی از مهمترین پارامترها در بررسی جزایر حرارتی دمای خشک می باشد. نمودار خروجی های نرم افزار برای وضعیت دمای خشک در شش حالت را در ساعت های ۴ صبح تا ۶ ظهر نشان می دهد. اختلاف دمای خشک در نمونه اجری به مراتب بهینه تر از نمونه های دیگر است. در سایر نمونه ها تا حدودی الگوی تغییرات دما شبیه به هم می باشد اما اجر رفتار کاملاً متفاوتی نسبت به ۵ مصالح دیگر در ساعات مختلف داشته است. دامنه تغییرات دماها از ۳۱ تا ۴۲ در ساعات مختلف روز در نوسان بوده است.



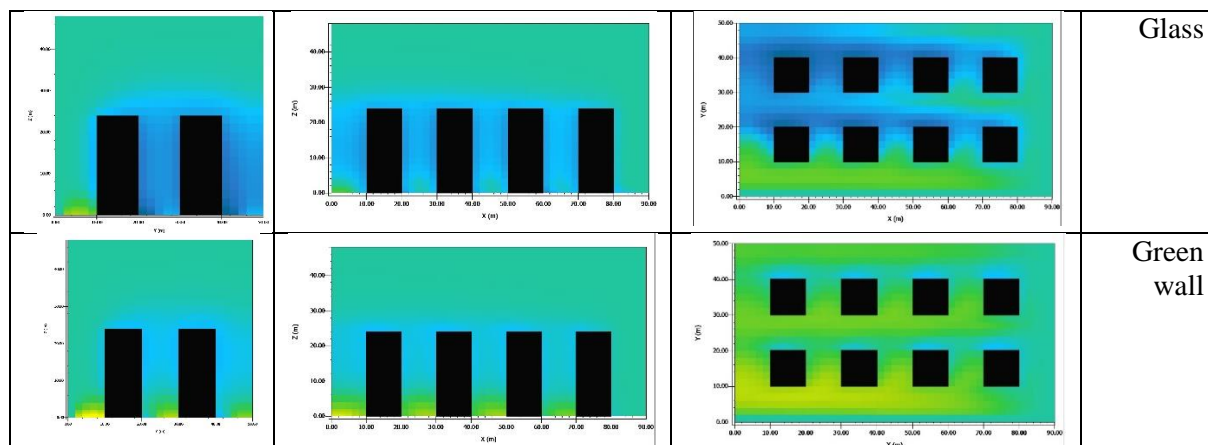
سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

جدول ۱: تاثیر مصالح در کاهش جزایر حرارتی

متریال	x-y	X-Z	y-z
Aluminum			
Brick			
Cement			
Concreat			



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان



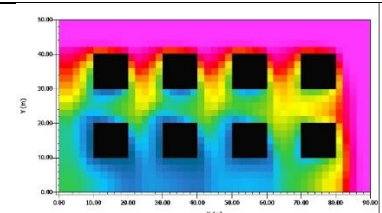
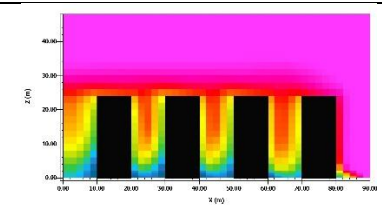
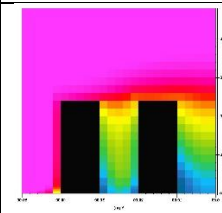
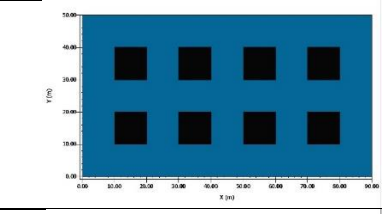
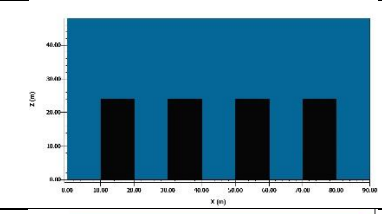
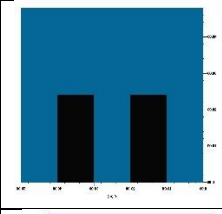
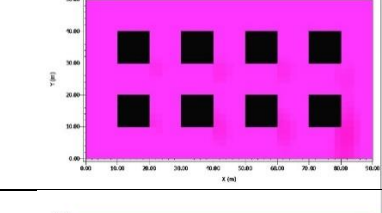
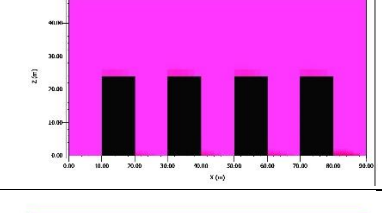
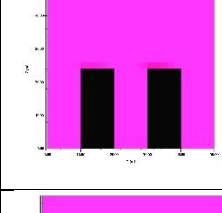
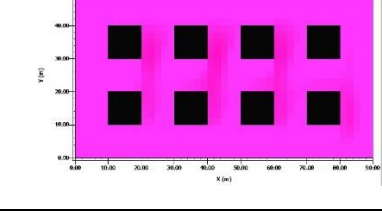
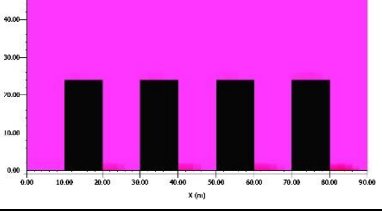
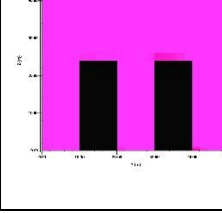
نحوه توزیع دماهای مختلف در محدوده بین بلوک ها در پلان و ارتفاع های مختلف معیار بسیار مناسبی برای میزان تاثیرگذاری پوسته انعطاف پذیر بر میزان کاهش جزایر حرارتی است. داده های نرم افزار نشان می دهد که علیرغم تاثیر نه چندان چشمگیر مصالح بر کاهش دما در بین بلوک ها، الگو توزیع دما در بخش های مختلف سایه پلان به شدت متفاوت بوده است و به عبارتی نوع توزیع طیف های رنگی مربوط به دماهای مختلف بیشتر از میزان دماها متاثر شده است.

در شب در حالت اول توزیع پراکندگی شاخص نسبت به ظهر برعکس شده و مجاورت جداره های جنوب و غرب کاهش مقدار مشاهده می شود. در ارتفاع در مجاورت جداره ها کاهش شاخص داریم و هر چه از نما فاصله می گیریم این مقدار افزایش می یابد. در حالت دوم تا ششم گوشه های شمال غرب و جنوب شرق برج ها دارای لکه های کاهش مقدار شاخص هستند و در نواحی دیگر محوطه لکه هایی از توزیع پراکنده مقدار این شاخص وجود دارد. در حالت چهارم و پنجم و ششم توزیع لکه های با شاخص پایین تر بیشتر وجود دارد. از مهمترین پارامترها در بررسی آسایش حرارتی، شاخص میانگین آرای پیش بینی شده می باشد که نشان دهنده متوسط احساس یکسان چندین نفر از یک شرایط محیطی است. خروجی های نرم افزار برای شاخص میانگین آرای پیش بینی شده در شب حالت را در ساعت های ۱۴ ظهر و ۲ شب نشان می دهد.



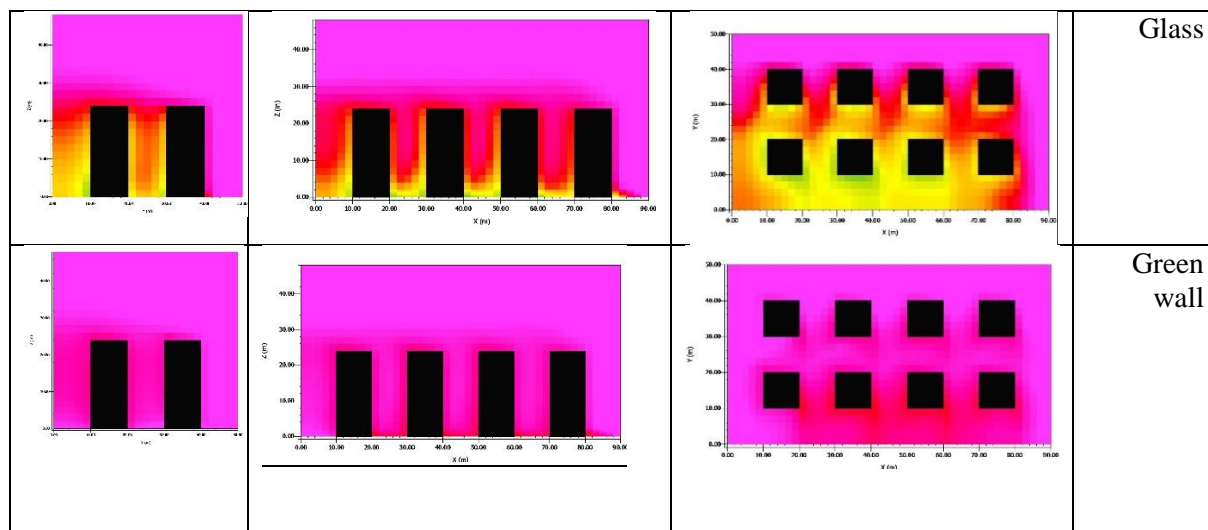
سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

جدول ۲: خروجی های تاثیر مصالح در کاهش دمای خشک محیط

متریال	x-y	X-Z	y-Z
Aluminum			
Brick			
Cement			
Concreat			



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان



تحلیل و نتیجه گیری

آنالیز انرژی در ساختمان یکی از مهم ترین عوامل در مرحله آنالیز و مدل سازی ساختمان می باشد، طوریکه که امروزه در بسیاری از کشورهای جلودار در حال سرمایه گذاری بر روی این مقوله هستند تا کیفیت ساخت ابنیه را هرچه بیشتر به سمت توسعه سوق دهند. در دنیای امروزی که بیشتر بر سر اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی های فسیلی و الکتریکی صحبت می شود، ساخت ساختمان های کم مصرف انرژی، یکی از بهترین روش ها در صنعت ساختمان می باشد. به معنای واقعی، این ساختمان ها، که تحت عنوان ساختمان های سبز شناخته می شوند؛ همسویی با طبیعت و رساندن کمترین آسیب به آن در برپایی یک بنای جدید را به دنبال دارند. از این رو، در این مقاله سعی شده است تا به منظور هم راستایی با تکنولوژی در زمینه تحلیل انرژی ساختمان، از مفهوم مدلسازی اطلاعات ساختمانی بهره گرفته شود تا قابلیت ها و تعاملات آن با این مجموعه در چارچوب یکپارچه سازی مدل سازی اطلاعات ساختمانی و تحلیل انرژی بررسی گردد. در این میان، مفاهیم مدل سازی اطلاعات ساختمانی، مدلسازی با بهره گیری از نرم افزارهای انرژی و بیان ویژگی هریک، نوع داده های ورودی و خروجی و چالش های این ارزیابی با ارائه راهکارهایی در جهت بهبود آن در این مقاله بحث شده است.

کاربردهای BIM در بهره وری انرژی از طرق زیر قابل انجام است:

محاسبه میزان مصرف انرژی کل ساختمان در قالب جداول و نمودارهای سالانه، ماهانه و روزانه



سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان

محاسبه میزان تقاضای انرژی ساختمان به تفکیک بخش های روشنایی، گرمایش، سرمایش، تهویه مکانیکی و غیره محاسبه میزان بار حرارتی و برودتی ساختمان پایه بهینه کردن بخش های مختلف طرح معماری ساختمان از قبیل محل قرارگیری و مساحت سطح بازشوها، سایبان ها بهینه کردن مصالح و ضریب انتقال حرارت پوسته ساختمان شامل دیوارهای خارجی، بام و پنجره ها بهینه کردن نور طبیعی در ساختمان شبیه سازی ساختمان نهایی پس از اعمال اصلاحات و تعیین مصارف مختلف انرژی ساختمان بهینه شده تحلیل اقتصادی استفاده از راه کارهای مختلف کاهش مصرف انرژی و تعیین میزان بهره وری اقتصادی (دوره بازگشت سرمایه)

منابع

- [۱] وانگ، دیوید و گروت، لیندا (۱۳۸۴). روش های تحقیق در معماری، مترجم: علیرضا عینی فر. تهران: دانشگاه تهران.
- [۲] لنکر، نربرت (۱۳۸۵). گرمایش، سرمایش، روشنایی: رویکردهای طراحی برای معماران، مترجم: محمدعلی کی نژاد و رحمان آذری. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
- [۳] رضازاده اردبیلی، مجتبی و ثابت فرد، مجتبی (۱۳۹۲). بازشناسی کاربرد اصول هندسی در معماری سنتی، مطالعه موردی: قصر خورشید و هندسه پنهان آن. نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۸، شماره ۱، صص ۲۹-۴۴.
- [4] Kampmann B (2010). UTCI – new index for assessment of heat stress in man. *Journal of Polish Geographical Review*. 2010;82(1):49-71.
- [5] Brode P, Fiala D, Blazejczyk K, Holmer I, Jendritzky G, Kampmann B, Tinz B, Havenith G (2012) Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol* 56: 481–494. doi:10.1007/s00484-011-0454-1
- [6] Fiala D, Havenith G, Brode P, Kampmann B, Jendritzky G (2012) UTCI Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *Int J Biometeorol* 56:429–441. doi:10.1007/s00484-011-0424-7
- [7] Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M (2001) Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol* 45:143–159. doi:10.1007/s004840100099
- [8] Matzarakis, A., (2007) "climate. Thermal comfort and tourism" Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany
- [9] Matzarakis, A, Mayer H and Iziomon M G, 1999, Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature, *Iny. J. Biometeorology*.43:78-84.



- [10] Anderson, J. R., E.E. Hardy, J. T. Roach, and R. E. Witmer, 1976: A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964, 28 pp.
- [11]
- [12] Auer, A. H., 1978: Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. J. Appl. Meteor., 17, 636–643.
- [13] Black, M., 1952: Critical Thinking: An Introduction to Logic and Scientific Method. 2nd ed. Prentice Hall, 459 pp.
- [14] Brunn, S. D., and J. F. Williams, Eds., 1983: Cities of the World: World Regional Urban Development. Harper and Row, 506 pp.
- [15] Davenport, A. G., S. B. Grimmond, T. R. Oke, and J. Wieringa, 2000: Estimating the roughness of cities and sheltered country. Preprints, 12th Conf. on Applied Climatology, Asheville, NC, Amer. Meteor. Soc., 96–99.
- [16] Ellefsen, R., 1990/91: Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. Energ. Buildings, 15–16, 1025–1049.
- [17] Grigg, D., 1965: The logic of regional systems. Ann. Assoc. Amer. Geogr., 55, 465–491.
- [18] Grimmond, C. S. B., and T. R. Oke, 1999: Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. J. Appl. Meteor., 38, 1262–1292.
- [19] Haubi, F., and U. Roth, 1980: Wechselwirkung zwischen der Siedlungsstruktur und Warmeversorgungssystemen (Interaction between settlement structure and heating supply systems). Forschungsprojekt BMBau RS II 4-704102-77.10, 270 pp.
- [20] Kostof, S., 1991: The City Shaped: Urban Patterns and Meanings through History. Thames and Hudson, 352 pp.
- [21] Loidan, T., and C. S. B. Grimmond, 2011: Characterization of energy flux partitioning in urban environments: Links with surface seasonal properties. J. Appl. Meteor. Climatol., 51, 219–241.
- [22] O'Connor, A., 1983: The African City. Hutchinson, 359 pp.