

پژوهش‌ها در معماری اسلامی ۱۲

شماره شایا: X - 980 - 2382

فصلنامه علمی - پژوهشی
قطب علمی معماری اسلامی
سال چهارم - شماره سوم - پائیز ۱۳۹۵

- نسبت اسلام با فرایندهای انسانی فرا نظریه سلام (SALAM) طرح مدلی (بنیادی - کاربردی) در (ساختار، منابع، مبانی و ارزیابی) آثار هنری، معماری و شهرسازی از منظر اسلامی (راهبردها، راهکارها، راه حل‌ها و نقد فرایندهای انسانی)
عبدالحمید نقره کار
- ارزیابی و نقد مصوبات شورای عالی شهرسازی و معماری پیرامون هویت اسلامی شهرسازی و معماری ایران
سید مجید هاشمی طغرالجردی
- مفهوم آموزش و تأثیر آن در معماری مدارس اسلامی (مقایسه‌ی تطبیقی مدارس سلجوقی و صفوی)
بهزاد وثیق / رضا قدردان قراملکی
- مزاج به مثابه کهن‌الگو در طراحی معماری حمام ایرانی
جواد دیواندری / احمد دانائی‌نیا / مهدی صیادی / مرضیه امامی میبیدی
- چشم‌اندازی به جایگاه فناوری معماری در منظومه‌ی حکمت اسلامی
مسعود ناری قمی / سلمان نقره‌کار
- ارزیابی شفافیت معنایی گنبد‌ها در مساجد با تأکید بر عملکرد روشنایی فضایی
زینب ناظر / آرزیتا بلالی اسکویی / محمدعلی کی‌نژاد
- «بررسی تطبیقی اختلاف رفتار حرارتی مصالح پیش ساخته سازی گنبد در اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی: شهر یزد و اصفهان)»
مازیار آصفی / فرزین حق پرست / فرزانه قلیزاده اورنگ
- جستاری میان رشته‌ای در اصول طراحی اتاق خواب با استناد به آموزه‌های نقلی مکتب اسلام
محمدمنان رئیسی
- دسته‌بندی شیوه‌های اجرای کتیبه‌های نستعلیق در تزئینات معماری دوره صفوی
احمد صالحی کاخکی / قباد کیانمهر / حمیدرضا قلیچ‌خانی / فرهاد خسروی بیژانم

پژوهش‌های معماری اسلامی ۱۲

شماره شایا: 980 X - 2382

فصلنامه علمی - پژوهشی
قطب علمی معماری اسلامی

سال چهارم - شماره سوم - پائیز ۱۳۹۵



مدیر مسئول: معاونت پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران

سر دبیر: مهندس عبدالحمید نقره کار

مدیر داخلی: دکتر محمد منان رئیسی

ویراستار ادبی فارسی: سارا متولی

کارشناس مجله: زهرا کاشانی دوست

ویراستار انگلیسی: محمد رضا عطایی همدانی

هیأت تحریریه:

دکتر سید غلامرضا اسلامی: دانشیار دانشگاه تهران

دکتر حسن بلخاری: دانشیار دانشگاه تهران

دکتر مصطفی بهزادفر: استاد دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر محمد رضا پور جعفر: استاد دانشگاه تربیت مدرس

دکتر مهدی حمزه نژاد: استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر اسماعیل شیعه: استاد دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر منوچهر طیبیان: استاد دانشگاه تهران

دکتر محسن فیضی: استاد دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر حمید ماجدی: دانشیار واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

دکتر اصغر محمد مرادی: استاد دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر غلامحسین معماریان: استاد دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر فاطمه مهدیزاده سراج: دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر محمد نقی زاده: استادیار واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

دکتر علی یاران: دانشیار وزارت علوم تحقیقات، فناوری

طراح جلد و صفحه آرا: امیرحسین یوسفی

قیمت: ۱۰۰۰۰ ریال

لیست داوران این شماره:

دکتر ناصر براتی (دانشیار دانشگاه امام خمینی قزوین)

دکتر مهدی حمزه نژاد (استادیار دانشگاه علم و صنعت)

دکتر حسن ذوالفقارزاده (دانشیار دانشگاه امام خمینی قزوین)

دکتر محمدمنان رئیسی (استادیار دانشگاه قم)

دکتر علی محمد رنجبر کرمانی (استادیار دانشگاه قم)

دکتر هانیه صنایعیان (استادیار دانشگاه علم و صنعت)

دکتر منصوره طاهباز (دانشیار دانشگاه شهید بهشتی)

دکتر محمدباقر کبیر صابر (استادیار دانشگاه تهران)

دکتر راضیه لیب زاده (مدرس دانشگاه علم و صنعت)

دکتر حسین مدی (استادیار دانشگاه امام خمینی قزوین)

دکتر ابوالفضل مشکینی (استادیار دانشگاه تربیت مدرس)

دکتر مسعود ناری قمی (استادیار دانشگاه کاشان)

دکتر احد نژاد ابراهیمی (استادیار دانشگاه هنر اسلامی تبریز)

دکتر شهریار ناسخیان (استادیار دانشگاه هنر اصفهان)

دکتر بهزاد وثیق (استادیار دانشگاه صنعتی جندی شاپور)

نشریه پژوهش‌های معماری اسلامی بر اساس مجوز کمیسیون نشریات

وزارت علوم تحقیقات و فناوری به شماره ۱۳۷۲۰۶ / ۱۸ / ۳ مورخ

۹۳ / ۷ / ۲۸ از شماره نخست دارای اعتبار علمی پژوهشی می باشد.

این مجله در پایگاه های (SID) و (ISC) نمایه می شود.

مقالات مندرج در این مجله، الزاماً بیانگر نقطه نظرات «پژوهش‌های معماری اسلامی» و «قطب علمی معماری اسلامی» نمی باشد و نویسندگان محترم، مسئول مقالات خود هستند.

نشانی دفتر مجله: دانشگاه علم و صنعت ایران / قطب علمی معماری اسلامی / کد پستی ۱۶۸۴۶۱۳۱۱۴ / **تلفن مستقیم:** ۰۲۱ - ۷۷۴۹۱۲۴۳

نشانی رایانامه: jria@iust.ac.ir / **نشانی وب:** <http://iust.ac.ir/jria>

۱	نسبت اسلام با فرایندهای انسانی فرانتزیه سلام (SALAM) طرح مدلی (بنیادی-کاربردی) در (ساختار، منابع، مبانی و ارزیابی) آثار هنری، معماری و شهرسازی از منظر اسلامی (راهبردها، راهکارها، راه حل ها و نقد فرایندهای انسانی) عبدالحمید نقره کار
۲۲	ارزیابی و نقد مصوبات شورای عالی شهرسازی و معماری پیرامون هویت اسلامی شهرسازی و معماری ایران سید مجید هاشمی طغرالجردی
۴۰	مفهوم آموزش و تأثیر آن در معماری مدارس اسلامی (مقایسه تطبیقی مدارس سلجوقی و صفوی) بهزاد وثیق / رضا قدردان قراملکی
۵۷	مزاج به مثابه کهن‌الگو در طراحی معماری حمام ایرانی جواد دیواندری / احمد دانائی نیا / مهدی صیادی / مرضیه امامی میبیدی
۷۶	چشم‌اندازی به جایگاه فناوری معماری در منظومه‌ی حکمت اسلامی مسعود ناری قمی / سلمان نقره کار
۹۴	ارزیابی شفافیت معنایی گنبد‌ها در مساجد با تأکید بر عملکرد روشنایی فضایی زینب ناظر / آریتا بلالی اسکویی / محمدعلی کی نژاد
۱۱۳	« بررسی تطبیقی اختلاف رفتار حرارتی مصالح پیش ساخته سازی گنبد در اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی: شهر یزد و اصفهان) » مازیار آصفی / فرزین حق پرست / فرزانه قلیزاده اورنگ
۱۳۰	جستاری میان رشته ای در اصول طراحی اتاق خواب با استناد به آموزه های نقلی مکتب اسلام محمدمنان رئیسی
۱۴۳	دسته‌بندی شیوه‌های اجرای کتیبه‌های نستعلیق در تزئینات معماری دوره صفوی احمد صالحی کاخکی / قباد کیانمهر / حمیدرضا قلیچ خانی / فرهاد خسروی بیژانم

« بررسی تطبیقی اختلاف رفتار حرارتی مصالح پیش ساخته سازی گنبد در اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی: شهر یزد و اصفهان) »



مازیار آصفی *

دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده مسئول)

فرزین حق پرست **

استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

فرزانه قلیزاده اورنگ ***

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اسلامی تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۸/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۴/۲۲

چکیده:

گنبد در معماری مسجد، عنصر و نمادی مهم تلقی می شود و بسیاری طراحان، علاوه بر مفاهیم نهفته در فضاسازی گنبد، وجود آن را دلیلی بر معماری نمادین آیین اسلام می دانند. از همین رو، مطالعه در حوزه گنبدسازی امری لازم به نظر می رسد که امروزه، پیشرفت روش های ساخت و اجرا، ضرورت شناخت ساختار آن را دوچندان می نماید. در این میان در مکانی چون مسجد آسایش کاربر در داخل بنا از منظر تامین وضعیت حداقل، در جهت ارتقای حالات معنوی نمازگزار، امری لازم است که در اقلیم گرم و خشک نیز به دلیل فاصله شرایط طبیعی با محدوده آسایش انسانی، این ضرورت مضاعف می گردد. به همین منظور، مطالعه حاضر به قیاس سه نمونه مصالح در گنبد پیش ساخته پرداخته و متریال سنتی (آجری) را در مقابل ساختار بتنی و فایبرگلاس ارزیابی می نماید. نحوه پیش ساخته سازی، از جزییات اجرایی شرکت Dkdomes که اجرا کننده بسیاری از گنبدها در دنیای اسلام از جمله گنبد مسجد ولایت کوالالامپور است؛ انتخاب گردیده و فرم نمونه ها از مسجد امام اصفهان اتخاذ شده است. رفتار حرارتی به منزله یکی از پارامترهای موثر در آسایش مخاطب و به عنوان متغیر پژوهش انتخاب گردیده و نمونه ها بر اساس تفاوت های رفتاری مورد تحلیل قرار گرفته اند. روش تحقیق، پس از تحلیلی توصیفی از جزییات مطالعات رفتار حرارتی انجام شده تاکنون، در بخش نمونه موردی، کمی، تجربی و بطور دقیق تر محاسبات دقیق است. روند مطالعه، درصدد پاسخ به این سوال گام برمی دارد که کدام نوع گنبد، پاسخ بهتری به لحاظ پارامترهای مورد مطالعه در اقلیم گرم و خشک ارائه می دهد. تحلیل ها در دو شهر یزد و اصفهان و با نرم افزار Ecotect انجام یافته و نتایج آن نشان می دهد از بین دو شهر انتخابی، ساعات آسایش آجر برای شرایط آب و هوایی شهر یزد بیشتر و ساختار بتنی گنبد در محدوده شهر اصفهان فراهم آورنده آسایش بیشتر است. بتن در هر دو نمونه تعدیل کننده دما بوده و آجر و فایبرگلاس به ترتیب ایجاد کننده تفاوت های رفتاری متوسط و بیشینه از منظر تبدلات انرژی در طول ساعات شبانه روز و بصورت سالانه در ساختار گنبدی هر دو شهر به حساب می آیند.

واژه های کلیدی: رفتار حرارتی، گنبد پیش ساخته، آجر، بتن، فایبرگلاس .

مقدمه

مسجد به عنوان مکانی آیینی از زمان تولد آیین اسلام تاکنون در خدمت مسلمانان بوده و در هر دوره با توجه به شرایط اجرا و تکنولوژی موجود، طراحی و ساخته شده است. اما آنچه تقریباً ثابت مانده و تاکنون در اکثر نمونه های موجود به چشم می خورد؛ المان هایی است که بنای مسجد را از دیگر اماکن متمایز می گرداند. گنبد یکی از برجسته ترین این المان ها که از معماری خشتی و آجری آغاز شده و اکنون در زمان پیشرفته ترین روش های اجرای خود به سر می برد؛ موضوع مطالعه حاضر بوده و شرایط حاکم بر ساخت آن، در گذر زمان مورد بررسی خواهد بود. بدیهی است که این المان معماری با توجه به مصالح آن، رفتارها و بازخوردهای متفاوتی در قبال پارامتر حرارت خواهد داشت و لذا مطالعه پیش رو، جنس مصالح گنبد را به عنوان متغیر مستقل پژوهش در نظر گرفته و رفتار حرارتی آن را که متاثر از فاکتورهای مذکور است؛ به عنوان متغیر وابسته مورد واکاوی قرار می دهد. به منظور کاهش پارامترهای موثر بر تحلیل، ساختار گنبد در هر سه متریال انتخابی، بصورت پیش ساخته در نظر گرفته شده است و نحوه اجرا، برگرفته از ساختار پیش ساخته گنبد مسجد ولایت در مالزی است که طراحی شرکت مالزیایی - آلمانی DKdomes می باشد. از آن جا که هدف طراحان در نمای ظاهری این گنبد، بهره از تزیینات گنبد مسجد امام اصفهان بوده است؛ فرم این گنبد نیز به عنوان الگوی شکلی این تحلیل، در نظر گرفته شده است. از همین رو، اقلیم مورد نظر در تحلیل ها، اقلیم گرم و خشک انتخاب گردیده و با استناد بر این امر که شرکت سازنده گنبدهای پیش ساخته، جزییات اجرایی مشابهی را برای همه مناطق ارائه می دهد؛ در نظر گرفتن ساختار اجرایی آن برای شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران خالی از اشکال خواهد بود. از آنجا که گنبد مسجد امام با اجرای آجری خود، پس از گذشت سال ها ماندگار است و این مسجد جایگاه مردمی خود را نیز حفظ نموده؛ به نظر می رسد ارزیابی پایداری حرارتی آن در صورت ساخت با روشی نوین همچون پیش ساخته سازی که بتواند آسایش کاربر را نیز در حدی حداقل

مشابه تامین نماید، مطالعه ای درخور توجه باشد. تمامی تحلیل ها با نرم افزار Ecotect انجام یافته و در نتایج نهایی، تحلیل های رفتاری، بیش از خروجی های عددی مورد توجه بوده است. از آنجا که هدف پژوهشگر، ارزیابی تفاوت رفتاری مصالح بوده و اساس مطالعه بر پیش ساخته سازی، بنا نهاده شده است؛ در ساختار گنبد به صورت آجر، شرایط آن را به صورت همگن در نظر داشته و کل گنبد را به صورت یکپارچه شبیه سازی نموده است. برای اقلیم گرم و خشک ایران، دو شهر یزد و اصفهان در نرم افزار Ecotect، تحلیل گردیده که نمونه مطالعه در هر دو شهر ارزیابی شده و نتایج تحلیل رفتار حرارتی مصالح آجر، بتن و فایبرگلاس در هر دو شهر انجام یافته است.

سوالات و متدولوژی پژوهش

به نظر می رسد پژوهش حاضر بتواند با تحلیل های نرم افزاری خود قادر به پاسخ دهی به سوالات زیر باشد:

- ۱) کدام نوع گنبد رفتار حرارتی مناسب تری در شرایط اقلیم گرم و خشک از خود نشان می دهد؟
- ۲) آیا می توان گنبدی همچون گنبد مسجد امام اصفهان را با روش های نوین اجرا نمود و پایداری حرارتی مشابهی در آن ایجاد کرد؟

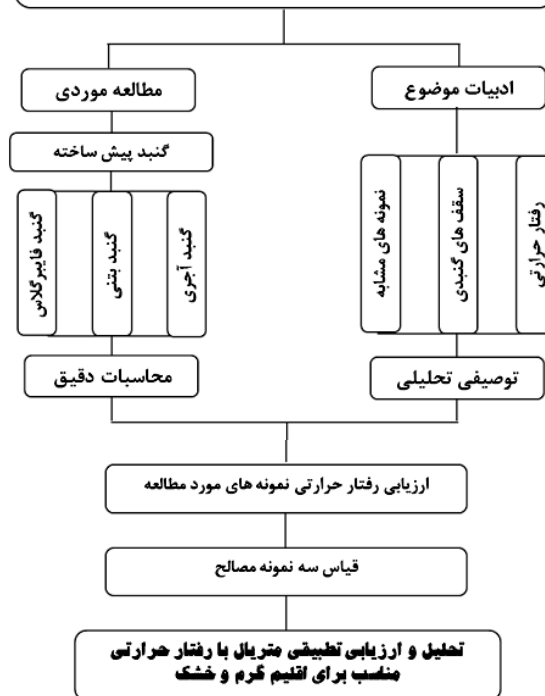
این پژوهش در راستای پاسخ دهی به سوالات فوق، مطالعه خود را در دو بخش ادبیات موضوع و مطالعه موردی آغاز نموده که پس از ارزیابی مفهوم رفتار حرارتی، عملکرد سقف های گنبدی و مطالعات حرارتی انجام یافته مشابه به روش توصیفی تحلیلی، به تحلیل نمونه مورد مطالعه خود که در سه قالب آجری، بتنی و فایبرگلاس اجرا شده اند؛ خواهد پرداخت. روش مطالعه در بخش موردپژوهی محاسبات دقیق است که پس از شبیه سازی نمونه ها در نرم افزار تحلیل حرارتی، میزان تبادل حرارت آن ها قابل قیاس بوده و نتایج پژوهش مبنی بر ارزیابی تطبیقی رفتار حرارتی سه ساختار سقف گنبدی، قابل استخراج خواهد بود. (دیگرام ۱)





طور کل در رویکرد پایداری، بنا، به منظور تضمین آسایش حرارتی در کل سال با حداقل انرژی کمکی برای گرمایش و سرمایش طراحی می‌گردد. بسیاری فاکتورهای داخلی و خارجی، نوسانات دمایی داخل را تحت تاثیر قرار می‌دهند که به نظر می‌رسد دما، باد و تابش از مهم‌ترین عوامل موثر خارجی به شمار آیند که میزان دخالت این عوامل در شرایط داخلی، به طور عمده ای به جنس بدنه بنا ارتباط خواهد داشت. (Soares et al, ۲۰۱۳, ۸۴-۸۵) بنای پایدار از مصالحی است که تاثیر محیطی را در طول چرخه عمر بنا کاهش دهد که می‌توان میزان بهره‌وری بنا خصوصا در مرحله طراحی، را با مدل سازی اطلاعات بنا (BIM) ارزیابی نمود (Shoubi et al, ۲۰۱۴, ۱) که طبیعتا متاثر از شرایط اقلیمی، محلی و ویژگی‌های خود بنا خواهد بود. (Motawa & Carter, ۲۰۱۳, ۴۲۶) به طور کلی می‌توان گفت بناها به عنوان سومین عامل مصرف انرژی، پس از صنعت و حمل و نقل به شمار می‌روند که بالطبع توجه به بهینه‌سازی مصرف انرژی در پروسه طراحی بنا، سبب پیشگیری از بسیاری مصارف و تلفات بعدی خواهد بود. (Al-Homoud, ۲۰۰۱, ۴۲۱) از طرفی با طراحی مناسب و در نظر گرفتن عامل انرژی، که توجه به سرمایش و گرمایش را نیز در پی خواهد داشت؛ تفاوت رفتار حرارتی بنا با دیگر ابنیه به صورت ناخودآگاه توسط مخاطب درک خواهد شد؛ هرچند نتواند دلایل تمایز را تشخیص دهد. در بناهای تاریخی و سنتی، عموما شرایط داخل به سمت حفظ آسایش بدون نیاز به ابزارآلات گرمایش، سرمایش و تهویه تمایل دارد. (Cantin et al, ۲۰۱۰) و (Varghese & Dili, Naseer, ۲۰۱۱, ۶۵۳) هرچند این نکته نیز قابل ذکر است که آب و هوا و مصالح، پارامترهای طراحی پلان و نما در این بناها نیستند؛ بلکه بناهای تاریخی زائیده شرایط اجتماعی فرهنگی اند و شرایط آب و هوایی، ساختار و مصالح به آن‌ها شکل می‌دهند. (Oikonomou & Bougiatioti, ۲۰۱۱, ۶۸۸) (در حالت کلی، نوسانات گرمایی در یک بنا، متاثر از آب و هوای منطقه، کاربری بنا، فاکتورهای طراحی و ویژگی مصالح (Nayak & Prajapati, ۲۰۰۶) و یا به عبارتی دیگر، اتفاقات بیرون، فعالیت‌های درون و خصوصیات جداکننده درون و بیرون است. (Balaras, ۱۹۹۶, ۱) با اجرای سیستم ساخت مناسب می‌توان

بررسی تطبیقی رفتار حرارتی در مصالح مختلف گنبد پیش ساخته



دیگرام ۱: ارزیابی متدولوژی و روند تحقیق
ماخذ: نگارندگان

پیشینه تحقیق

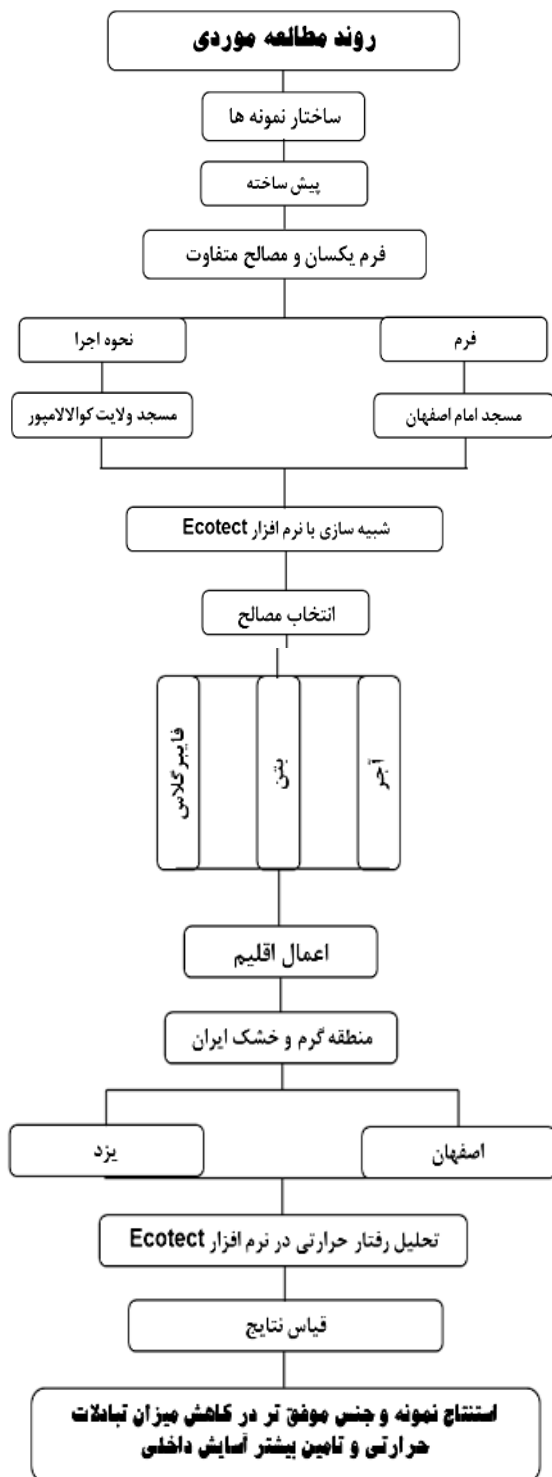
تامین آسایش در داخل بنا امری ضروری است که آسایش حرارتی یکی از مهم‌ترین پارامترهای آن بشمار می‌رود. در طراحی غیر فعال یا همان پسیو، دما و شرایط آسایش حرارتی به کنترل و دخالت مستقیم طراح نیاز ندارد و فاکتورهای متعددی چون فرم بنا، اندازه و جهت بازشوها، خصوصیات مصالح و ... که مربوط به خود بنا است؛ در ایجاد آسایش حرارتی دخیل‌اند. هر سیستمی که بتواند به پارامترهای مذکور توجه نماید؛ به گرما و سرمای اضافی جهت نیل به آسایش داخلی نیاز نداشته (Turrin et al, ۲۰۱۲, ۳۸) و (Hatamipour & Abedi, ۲۰۰۸, ۲۳۱۷) و (Dili, Naseer & Varghese, ۲۰۱۰, ۹۱۷) و لذا در حین کاهش مصرف انرژی، سلامت و آسایش کاربران را افزایش خواهد داد. (Taleb, ۲۰۱۴, ۱۵۴) به



ارزیابی شده و این شرایط در صورت پوشیده شدن با آجر مضاعف می گردد. هرچند جریان باد در این نوع پوشش و در فصل گرم نیز کمکی در ایجاد شرایط آسایش بشمار می رود؛ اما بطور کل می توان گفت حداکثر دمای هوای داخل در فضاهای با سقف گنبدی بهتر از فضاهای با سقف صاف خواهد بود. (Faghih & Bahadori ۲۰۱۱, ۱۲۶۲) راهکارهای مطالعه حرارتی بنا را می توان در سه بخش عمده خلاصه کرد. مطالعات انسانی بخش نخست و عمده آن است. چرا که تحلیل بهترین شرایط انسانی به عهده کاربر بنا بوده و قادر است بهترین ارزیابی را در صورت تعریف شرایط مناسب بدنی برای وی به لحاظ پوشش و فعالیت، ارائه دهد. (Cena Dear & Varghese ۲۰۰۱) و (Dili, Naseer ۲۰۱۱) مطالعات میدانی و سنجش های دستی نیز در صورت تداوم سالانه و اندازه گیری شرایط در پروسه یکساله بنا واجد اهمیت بوده و می توان گفت دقیق ترین نتایج را ارائه خواهد داد. این روند و به عبارتی اندازه گیری پارامترهای حرارتی در بنا توسط بسیاری محققان استفاده گردیده و در کنار محاسبات انجام یافته، ارائه دهنده نتایج متنوعی در حوزه آسایش حرارتی، رفتار بدنه ها و نوع پوشش ها خواهد بود. (Cantin et al ۲۰۱۰) و (Oikonomou & Bougiatioti ۲۰۱۱) و (Nayak & Prajapati ۲۰۰۶) و (Dili, Naseer & Varghese ۲۰۱۰) و (Cena & Dear ۲۰۰۱) و (Givoni ۲۰۱۱) اما آنچه غیرقابل انکار است حوزه مطالعات نرم افزاری در زمینه رفتار حرارتی بناست. برنامه های شبیه ساز حرارتی، قادرند بخش عمده ای از تحلیل رفتار بنا را به عهده گیرند که این امر از حوزه مرمت گرفته (Moropoulou et al ۲۰۱۳) تا اتلاف حرارتی بدنه ها قابل تعمیم می باشد. (Nayak & Prajapati ۲۰۰۶) و (Kočič, Bažantová & Černý ۲۰۱۴) و (Evins ۲۰۱۳) اساس همه این برنامه ها بهینه نمودن طرح های مهندسی است و می تواند شامل تحلیل رفتارهای حرارتی بنا همچون برنامه هایی مانند DesignBuilder (Somboonwit & CFD, EnergiPlus, Ecotect) و (Sahachaisaeree ۲۰۱۲) و (Oikonomou & Bougiatioti ۲۰۱۱) و یا نرم افزارهای طراحی پارامتریک به منظور بهره وری از حداکثر انرژی محیطی در بنا باشد. (Turrin et al ۲۰۱۲) هرچند ممکن است نتایج حاصل از تحلیل برنامه های فوق،

دمای بالاتر از حد نرمال بیرونی را تا حد آسایش کاهش داد و در شرایط با دمای پایین تر از حد نرمال، سبب افزایش دما تا محدوده آسایش شد. (Varghese & ۲۰۱۰, ۲۲۱۸) (Dili, Naseer) وقوف به همین خصوصیات است که باعث می گردد تا از ویژگی بدنه ها و پوشش بنا در راستای حفظ انرژی، به عنوان اسرار بنا یاد نمود و آن را دربردارنده تأثیری شگرف در مصرف انرژی بنا دانست. (Zhang et al ۲۰۱۳) این ویژگی ها که از آن ها با عنوان خصوصیات ترموفیزیکی یاد می شود؛ در کنار توجه به ضخامت بدنه ها، تأثیر عمیقی بر زمان تأخیر و فاکتورهای کاهش می دارند. (Asan & San ۱۹۹۸, ۱۵۹) نما و پوشش، مانعی برای گرما، هوا و روشنایی است و به همین دلیل طراحی هوشمندانه آن برای نیل به کارایی بالا ضروری خواهد بود. اکثراً این فاکتورها به انتخاب مصالح مربوط بوده و شامل عایق بندی تا جنس خود بدنه ها، سطوح شبیه ای و ... می گردد. (Evins ۲۰۱۳, ۲۳۳) (می توان گفت بحرانی ترین قسمت پوشش بنا در مقابل تابش و دیگر تغییرات محیطی، سقف آن است. از میان انواع مختلف طراحی سقف، نوع طاقی و گنبدی با اینکه در طول روز گرمای بیشتری از سقف صاف می گیرند؛ اما به طریق کنوکسیون طبیعی، گرمای بیشتری پخش و پراکنده می کنند. (Sadineni, Madala Boehm & ۲۰۱۱, ۳۶۲۲-۳۶۲۳) (در مناطق گرم که بحث سرمایه گذاری در زمینه تامین آسایش داخلی در بناست؛ ۷۰ درصد گرمای جذب شده از طریق سقف بنا انجام می گیرد (Al-Obaidi, Ismail & Abdul Rahman ۲۰۱۴, ۱) که همین امر لزوم توجه به ساختار مناسب آن را اثبات می نماید. در واقع می توان سقف های گنبدی را به دلیل جریان هوا در کاهش گرما موثر دانست و بهره از آن را به عنوان سرمایه گذاری غیرفعال در مناطق خشک واجد اهمیت قلمداد کرد. (Bahadori & Haghghati ۱۹۸۵, ۱۰۳) سقف های طاقی و گنبدی که موضوع مطالعه بسیاری پژوهشگران در حوزه قیاس با رفتار حرارتی سقف های صاف هستند؛ (Tang, Meir Wu & ۲۰۰۶) و (Tang, Meir & Etzion ۲۰۰۳) و (Bahadori & Bahadori ۲۰۱۱) پایداری حرارتی بیشتری نسبت به آن ها در فضای داخل ایجاد می نمایند. (Hadavand & Yaghoubi ۲۰۰۸) (به طور کل عملکرد گرمایی این سقف ها، بهتر،

شده و پس از تحلیل نتایج، میزان تبدلات حرارتی سه نوع گنبد قیاس خواهد شد. (دیاگرام ۲)



دیاگرام ۲: ارزیابی روند مطالعه موردی
ماخذ: نگارندگان

متفاوت باشد؛ اما دربرگیرنده اطلاعات مهمی در زمینه انرژی در بناست که در صورت بهره در مرحله طراحی و ارائه آلترناتیو و انتخاب بهترین گزینه برای اجرا، کارآمدترین و به عبارتی تنها راهکار موجود است. (Somboonwit & Sahachaisaeree) (۲۰۱۲) و (Shoubi ۲۰۱۴) و (Al-Homoud ۲۰۰۱) آنچه مسلم است ضرورت مطالعه رفتار حرارتی جداره های بنا به منظور تامین آسایش داخلی است که می توان مصالح را در شکل گیری رفتار مختص یک بدنه، دارای نقش عمده و بارز دانست. از طرفی سقف، درگیرترین عضو این جداره با عوامل محیطی است که از میان انواع مختلف آن، سقف صاف و گنبدی، پرکاربردترین آن ها در بناهاست. به منظور سهولت مطالعه این عنصر و از طرفی نیل به نتایج منطقی و لذا تحلیل شرایط ترموفیزیکی آن قبل از ساخت، مطالعه نرم افزاری و شبیه سازی، کارآمدترین راهکار مطالعه به نظر می رسد که با توجه به تعدد نرم افزارهای موجود، انتخاب مناسب ترین آن با در نظر گرفتن نتایج منتظره در هر پژوهش، صورت می گیرد. مطالعه حاضر در پروسه پیش رو با در نظر داشتن تحقیقات انجام یافته ی این عرصه، تاثیر تنوع مصالح و روش ساخت گنبد را در رفتار حرارتی این پوشش تقریباً وافر در ایران، انتخاب نموده و به دلیل ارزیابی نمونه قبل از ساخت، به روش نرم افزاری به تحلیل و قیاس ساختار مورد نظر خود می پردازد.

مطالعه موردی

روند مطالعه حاضر به نحوی است که یک فرم یکسان را برای نمونه مطالعه خود برگزیده و سعی دارد مصالح متفاوت آن ها را به عنوان متغیر مستقل پژوهش واکاوی نماید. فرم ثابت از مسجد امام اصفهان اخذ گردیده و نحوه اجرا و ساختار گنبد پیش ساخته نیز از مسجد ولایت کوالالمپور مالزی استخراج شده است. از آنجا که این نحوه اجرا در مساجد دیگر نیز توسط شرکت طراح و سازنده این نوع گنبدها (dkdomes) اجرا گردیده است؛ می توان جزییات موجود را برای اقلیم های دیگر و فرم های مختلف اجرا نمود که در این مطالعه، اقلیم گرم و خشک ایران و فرم مسجد امام برای بهره از ساختار پیش ساخته پیشنهادی این شرکت انتخاب شده است. نمونه ها برای تحلیل حرارتی وارد نرم افزار Ecotect



معرفی الگوهای فرمی و ساختاری گنبد مورد مطالعه (جدول ۱)

مسجد امام اصفهان:

گنبد دوپوسته تقویت شده مسجد امام (۴۸-۱۰۲۰ هجری) در سمت جنوبی میدان نقش جهان در اصفهان قرار دارد. گنبد دارای آوگون، یعنی دارای پیش آمدگی اندکی نسبت به گریو است و بر روی یک گریو بلند قرار گرفته است. قطر خارجی گریو ۲۶,۳ متر، ارتفاع گریو ۷ متر، و ضخامت آن در پایه و در بالا به ترتیب ۱,۷ و ۲,۲ متر است. گریو دارای ۸ عدد پنجره به ارتفاع ۳,۳ و عرض ۱,۷ متر، است که در فواصل مساوی دور گریو قرار گرفته اند. ارتفاع پوسته های بالایی و پایینی از تراز پایه گریو به ترتیب ۲۴,۴۵ و ۱۳,۲ متر و فاصله بین دو پوسته ۱۱,۲۵ متر است. پوسته بالایی دارای ارتفاع ۵,۲ متر از تراز زمین است. ضخامت پوسته پایینی دارای از ۰,۲۲ تا ۱,۳۵ متر به سمت گریو تغییر می کند و تغییرات ضخامت پوسته بالایی از ۰,۳ تا ۱,۱ متر به سمت پایه است. پوسته بالایی شلغمی شکل است. تعداد ۲۴ عدد دیوار (خشخاشی، تقویت کننده) آجری شعاعی یا نصف النهاری در فضای بین دو پوسته وجود دارد که به دو پوسته متصل شده اند. ضخامت خشخاشی ها ۰,۴۵ است. خشخاشی ها دارای سه ارتفاع مختلف هستند. خشخاشی های بلند، متوسط و کوتاه به ترتیب دارای به ترتیب ارتفاع ۱۲,۶، ۱۰,۷ و ۷,۶ متر هستند. این خشخاشی ها به ترتیب و به فواصل مساوی

دور محیط گنبد قرار گرفته اند. (حجازی و میرقادری ۱۳۸۳، ۷۴۸)

مسجد ولایت کوالالامپور:

مسجد ولایت در کوالالامپور مالزی که از فرم مساجد عثمانی ترکیه تبعیت می کند؛ ۲۰ گنبد خارجی و ۱۷ گنبد داخلی دارد که عرض کره گنبد اصلی آن ۳۱,۲ متر با پنجره های قوسی شکل در پایه است. پوسته بیرونی این گنبد با تایل های موزاییک پوشیده شده که موتیف های دکوراتیو و تزئینی آن از تزئینات مساجد صفوی الهام گرفته شده است. فرم داخلی آن دربردارنده مقرنس هایی با همان مصالح کامپوزیت خود گنبد است که به طور کل در طراحی آن تلاش تیم DKdomes به عنوان گروه طراح، بر این بوده است تا بتوانند وحدتی هنری بین جوانب سنتی و ایده های مدرن خود ایجاد نمایند. طراحی ها با بهره از نرم افزار Catia انجام یافته و دقت میلیمتری آن سبب گردیده است تا سازه قطعات دقیق بوده و همپوشانی آن ها به طور عالی تامین گردد. پس از طراحی آن در نرم افزار، برش قطعات بوسیله دستگاه برش لیزری ۵ محوری انجام می یابد که قادر است فرم های پیچیده سه بعدی همچون مقرنس را اجرا نماید. گنبد های این شرکت بر روی سازه ای استیل طراحی می شوند و صفحات پوشش دهنده آن ها از داخل و خارج به این سازه متصل میگردد. جنس این صفحات فایبرگلاس بوده و تزئینات بر روی آن ها انجام می گیرد. (dkdomes.com)

جدول ۱: مشخصات نمونه ها، ماخذ: نگارندگان

گونه زمانی	جنس	نام	مکان	تصاویر
سنتی	آجری	مسجد امام	اصفهان-ایران	
مدرن	پیش ساخته فایبرگلاس	مسجد ولایت	کوالالامپور-مالزی	



شناخت نمونه شبیه‌سازی شده

همانگونه که بیان گردید مطالعه حاضر الگوی فرمی خود را از مسجد امام اصفهان و جزئیات پیش ساخته‌سازی را از گنبدسازی شرکت DKdomes که مسجد ولایت یکی از نمونه‌های کاری این شرکت می‌باشد؛ اخذ نموده است. (جدول ۲) آنچه این مطالعه بدنبال واکاوی آن است؛ ارزیابی تفاوت‌های رفتار حرارتی در تنوع مصالح است که به همین منظور نمونه شبیه‌سازی در سه متریکال مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است. بنابراین در این مطالعه، جنس مدول‌های شرکت DKdomes که صفحات فایبرگلاس را در قالب‌های مخصوص طراحی می‌نمایند؛ در سه حالت مختلف، بتن، آجر و جنس مورد نظر خود شرکت (فایبرگلاس) در نظر گرفته شده است. از آنجا که کاهش پارامترهای موثر در تحلیل به منظور اخذ نتایج دقیق‌تر، ضروری است؛ لازم است هر سه مدل، المان محدود در نظر گرفته شود. از طرفی اساساً نرم افزار Ecotect قادر به تحلیل المان‌های نامحدودی همچون آجر در مقیاسی چون ساختار گنبد مسجد امام نیست و از همین رو، منظور از جنس آجر در شبیه‌سازی، بهره از جنس خاک در قالب مدول‌های گنبد مسجد ولایت می‌باشد.

از آنجا که تاثیر ضریب هدایت مصالح انتخابی، ارائه دهنده نتایج این پژوهش است؛ ضروری است تا ویژگی‌های حرارتی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است منظور از جنس

جدول ۲: الگوی فرمی و ساختاری نمونه مورد مطالعه. ماخذ: نگارندگان

الگو	اطلاعات شبیه‌سازی	تصاویر کمکی
فرم (مسجد امام اصفهان)		
ساختار (مسجد ولایت کوالالمپور)		

گنبد در همه نمونه‌ها، هسته و بدنه اصلی گنبد بوده و پوشش‌های درونی و بیرونی به طور مشابه در نظر گرفته شده است. جنس آجری، بتن و فایبرگلاس هسته مدنظر در این ازمون هستند که با توجه به تفاوت‌های رفتاری، نتایج متفاوتی از منظر حرارتی ارائه خواهند داد. در طرح اجرا شده شرکت مذکور در مسجد ولایت لایه بیرونی کاشی، بخش میانی فایبرگلاس و لایه داخلی با قالب‌گیری سه بعدی تزئین شده است. در مورد پژوهی این مطالعه نیز هدف، بررسی تفاوت مصالح در بخش هسته اصلی است و بخش‌های داخلی و خارجی مشابه هم در نظر گرفته شده است. لیکن به جهت انتخاب این مطالعه که الگوی فرمی خود را از مسجد امام اخذ نموده، می‌توان ترتیب لایه‌ها را از بخش بیرونی به ترتیب، کاشی، لایه چسباننده، هسته میانی گنبد بیرونی (آجر، بتن، فایبرگلاس)، هوا (به جهت دوپوسته بودن گنبد)، هسته میانی گنبد داخلی (آجر، بتن، فایبرگلاس)، ماده چسباننده و کاشی بیان نمود.

شبیه‌سازی حرارتی نمونه‌ها در نرم افزار Ecotect نمونه‌های مورد مطالعه پس از شبیه‌سازی فرمی، به منظور تحلیل حرارتی وارد نرم افزار Ecotect شده‌اند. انتخاب این نرم افزار، علاوه بر استناد به مبانی نظری و تکیه بر پژوهش‌هایی که این برنامه را به جهت تحلیل‌های خود انتخاب نموده‌اند؛ با توجه به مقیاس مطالعه انجام یافته است. تعریف این پژوهش در حوزه معماری است و اساس آن بر تبدیل انرژی و

خط بنفش رنگ مربوط به گنبد آجری، خط ممتد آبی رنگ مربوط به گنبد بتنی و رنگ سبز مربوط به جنس فایبرگلاس می باشد.

در ارزیابی‌ها دمای بیرون برحسب ساعات مختلف شبانه روز تعیین گردیده و میزان دمای داخل، خروجی نرم افزار است که نشان دهنده میزان عایق بودن گنبد مورد نظر است. هرچه اختلاف دمای بیرون و درون بیشتر باشد، جنس مورد استفاده عملکرد بهتری داشته و هرچه این اختلاف دما کمتر باشد میزان تاثیر وجود گنبد کمتر جلوه گر خواهد شد و حاکی از آن است که جنس مورد استفاده، مصالح مناسبی برای گنبد در اقلیم گرم و خشک نیست. لازم بذکر است در همه تحلیل‌ها نمودارهای یکسان دو شهر یزد و اصفهان در کنار هم ارزیابی شده اند و هدف، اخذ نتیجه ای برای اقلیم گرم و خشک ایران است. اطلاعات آب و هوایی دو شهر مذکور، پس از استخراج از نرم افزار Energyplus و وارد نمودن به Ecotect بصورت پیش فرض در همه تحلیل‌ها اعمال می گردد و باد، تابش، رطوبت و ... نمونه‌هایی از متغیرهای تعریف شده این برنامه می باشد. به عبارتی بهتر، اطلاعات ورودی با انتخاب شهرها انجام می گیرد و گزینش نوع خروجی به عهده کاربر نرم افزار می باشد که این پژوهش مناسب ترین خروجی‌ها را به منظور تحلیل رفتار حرارتی در مقیاس معماری انتخاب نموده است.

قیاس رفتار حرارتی روزانه (جدول ۳)

ارزیابی نمونه‌ها در گرم ترین روز سال نشان می دهد بتن رفتار ملایم تری از دیگر مصالح ایجاد می نماید. بیشینه اختلاف دمایی آن با بیرون در بیشینه و کمینه دمای بیرون رخ می دهد و همین امر موید خاصیت متعادل کنندگی بتن است. هرچند این تعادل رسانی در بازه ای خارج از محدوده آسایش است اما با توجه به ساعت و دمای هم دمایی درون و بیرون برای بتن که در دمای کمتر و در ساعات صبح اتفاق می افتد می توان شرایط آسایش مطلوب تری در بنای تحت پوشش بتنی متصور شد. از طرفی دو متریل دیگر نه تنها توان کاهش بیشینه دمای بیرون را ندارند؛ بلکه کمینه آن را که در این روز از سال

یا مطالعات مشابه که نیازمند واکاوی دقیق تری است؛ نمی باشد. لذا می توان Ecotect را مناسب ترین نرم افزار برای پروژه‌های در حد این پژوهش دانست. تحلیل‌های برنامه Ecotect، پاسخده و کافی برای مطالعات معمارانه مشابه است که در حد اطلاعات لازم برای ارزیابی‌های معمارانه و نه محاسبات با دقت بالایی انرژی می باشد. از طرفی دیگر، به جهت دسترسی محققین به licence معتبر این برنامه، دقت محاسبات انجام یافته با آن، بالا بوده و به برنامه‌های دیگر با دقت بالاتر لیکن با قفل شکسته اولویت دارد. نمونه‌ها پس از وارد نمودن به برنامه Ecotect، در گرمترین روز سال، سردترین روز سال، آفتابی ترین روز سال و ابری ترین روز سال، روزدرجه‌های ماهانه بر اساس میزان تبادلات انرژی، و نمودارهای بار حرارتی سالانه ارزیابی گردیده اند. تمامی اعداد وارد شده مربوط به دو شهر اصفهان و یزد بوده و نتایج آن با توجه به شرایط تعریف شده برای این دو شهر، اخذ گردیده است. به عبارتی بهتر در بخش اول تحلیل‌ها مربوط به ۴ آگوست، گرمترین روز، ۲۶ ژانویه، سردترین روز، ۱ جولای، آفتابی ترین روز و ۱۳ آوریل، ابری ترین روز می باشد. علت این انتخاب علاوه بر مرسوم بودن در حوزه مطالعات حرارتی، وابسته به شرایط اقلیمی حاکم بر محیط سنجش است که مطالعه روزهای مذکور با توجه به اقلیم انتخابی، به واقع شدیدترین حالات آب و هوایی را مشابه سازی می نماید و طراحی بر اساس فاکتورهای بدست آمده از تحلیل این روزها، شرایط بهینه ای برای دیگر مواقع فراهم می آورد.

تفاوت عمده جنس آجر در مقابل فایبرگلاس و بتن از منظر همگنی و ناهمگنی محیط است که در ساختار آجر با توجه به اجرای تک به تک و ملات بین، محیط بمراتب ناهمگن تر خواهد بود. به منظور کاهش پارامترهای مداخله گر، پژوهش حاضر گنبد

آجری را به صورت یکپارچه از آجر در نظر گرفته و احتمال می دهد تفاوت نتایج حاصله در سه نمونه به حداقل کاهش یابد. چرا که هر سه محیط، همگن در نظر گرفته شده و تفاوت فقط در

جنس مصالح مدنظر می باشد. در همه نمودارهای ذیل

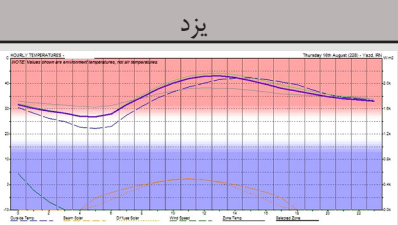
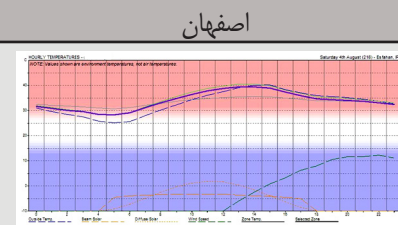
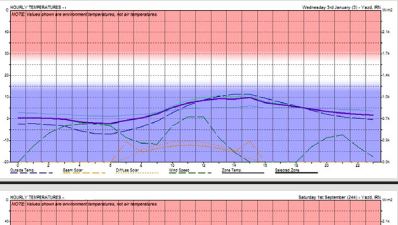
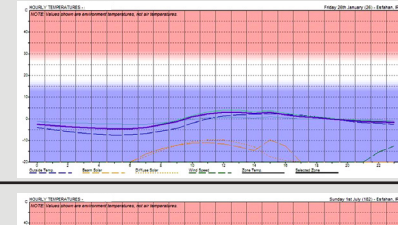
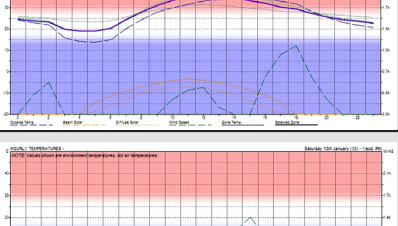
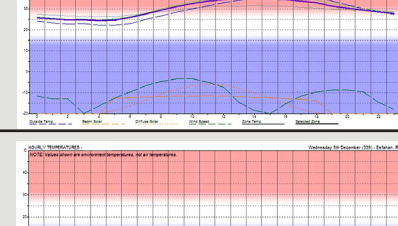
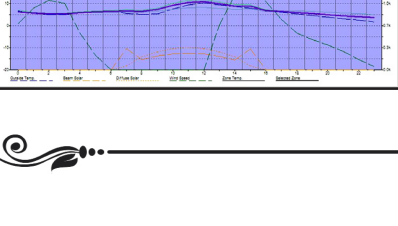
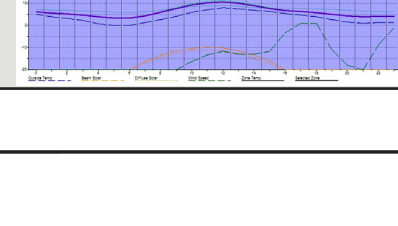


روی میدهد. در حالت کلی در بین مصالح مختلف و حتی دمای بیرون، بیشترین دما مربوط به فایبرگلاس می باشد، اما در همه حالات همه مصالح در محدوده آسایش قرار می گیرند. به طور کلی می توان گفت در اقلیم گرم و خشک ایران، که روزهای گرم و سرد بیشتر و شدیدتر هستند؛ مطالعه گرم ترین و سردترین روزهای سال نتایج کارآمدتری ارائه می دهند. آجر و فایبرگلاس بیشترین تاثیر را روی کمینه های دمایی دارند، اما بیشینه ها تقریباً ثابت می مانند و همین امر نشان می دهد در این منطقه که تعدیل دمایی بیشینه مهم تر است؛ طبیعتاً مصالحی که این مساله را تامین نمایند برای این منطقه مطلوب ترند. در سردترین روز هم که نماینده ای از ایام سرد در این منطقه است؛ ثابت ماندن یا افزایش بیشینه مطلوب تر است. آجر و فایبرگلاس قادرند دمای بیشینه را ثابت و یا با کاهش اندکی مواجه نمایند.

در وضع مطلوب تری است، افزایش می دهند. در مقابل در سردترین روز سال همه مصالح قادرند کمینه دمای بیرون را افزایش دهند که در مورد بتن میزان آن بیشتر است. آجر و فایبرگلاس در حالت کلی رفتار بسیار مشابه و نزدیک به هم دارند. فایبرگلاس دیرتر از دو جنس دیگر دمای داخل را با دمای محیط یکسان می نماید که حدود ساعت ۱۳ و در دمای حدوداً ۱۱ درجه رخ می دهد. در حالت کلی می توان گفت در سردترین روز سال صرفاً محدوده بیشینه آجر و فایبرگلاس در محدوده آسایش این اقلیم جای می گیرند. آفتابی ترین روز سال در این اقلیم در حالیکه بتن می تواند دمای داخل را در محدوده ۲۷ تا ۳۰ درجه در نوسان نگه دارد.

در بیشترین دمای بیرون بیشترین تاثیر کاهش می مربوط به بتن با ۵ تا ۸ درجه می باشد. در ابری ترین روز سال دمای داخل همسان و یا بالاتر از دمای بیرون است اما هرچه بیشینه دمایی افزایش یابد؛ بنا به ساختار بتن، کاهش دما

جدول ۳ رفتار حرارتی نمونه ها در ۴ روز شاخص سال، ماخذ: نگارندگان

		یزد	اصفهان		
وضعیت دمایی روزانه	گرمترین روز سال			وضعیت دمایی روزانه	
	سردترین روز سال				
	آفتابی ترین روز سال				
	ابری ترین روز سال				



توان گفت نمونه آجری در شهر اصفهان در آفتابی ترین روز سال، کمترین دمای داخل را در محدوده آسایش نگه داشته و بیشترین دمای داخلی ایجاد شده توسط آن ۹ درجه بالاتر از محدوده تمامی نمونه ها را در کمینه و بیشینه خود با محدوده آسایش آسایش است. در ابری ترین روز سال نیز در خنک ترین شرایط داخلی، دمای داخلی باوجود گنبد آجری ۱۲ درجه کمتر از محدوده آسایش قرار می گیرد و گرمترین دمای داخل نیز ۷,۵ درجه کمتر از آسایش خواهد بود. نشان می دهد و همانگونه که پیداست بیشترین فواصل مربوط به نمونه فایبرگلاس است که در مجموع، شرایط متفاوت تری از محدوده آسایش ایجاد می نماید. در حالت کلی کمینه های سردترین روز سال در همه نمونه ها فاصله بیشتری از مبنای آسایش دارند و عموماً دمای داخل را در حد ۲۰ درجه کمتر از محدوده آسایش نگه می دارند که در بهترین شرایط فقط ۷ درجه دمای بیرون را تعدیل می نمایند.

در حالت کلی در بین مصالح مختلف و حتی دمای بیرون، بیشترین دما مربوط به فایبرگلاس می باشد، اما در همه حالات همه مصالح در محدوده آسایش قرار می گیرند. به طور کلی می توان گفت در اقلیم گرم و خشک ایران، که روزهای گرم و سرد بیشتر و شدیدتر هستند؛ مطالعه گرم ترین و هرچند همین مساله نیز به عنوان نتیجه مطلوب محسوب نمی گردد، اما در مقابل بتن که کاهش چندین درجه در بیشینه ها ایجاد می نماید؛ وضعیت قابل قبول تری دارا هستند. به طور کلی می توان تفاوت کمینه و بیشینه ایجاد شده در هر مصالح را نسبت به محدوده آسایش، در جدول ۴ مشاهده نمود. به واقع در پی تحلیل رفتار حرارتی نمونه ها در روزهای شاخص سال می توان میزان فاصله دمای ایجاد شده زیر هر گنبد را با دمای آسایش ارزیابی نمود که بر حسب درجه سانتیگراد بیان شده و اعداد منفی نشان دهنده پایین بودن از محدوده آسایش و اعداد مثبت نشانه بالاتر بودن از محدوده آسایش می باشد. به عنوان مثال می

جدول ۴: تفاوت درجه دمای ایجاد شده در نمونه ها با محدوده آسایش. ماخذ: نگارندگان.

میزان اختلاف کمینه و بیشینه با محدوده آسایش (درجه سانتیگراد)									
یزد				اصفهان					
داخل			خارج	داخل			خارج		
فایبر گلاس	بتن	آجر		فایبر گلاس	بتن	آجر			
+۱	+۵	+۱	۰	+۲	+۵	+۲	۰	کمینه	گرمترین روز سال
+۱۸	+۱۲	+۱۷	+۱۶,۵	+۱۴,۵	+۱۰	+۸	+۹	بیشینه	
-۲۰,۵	-۱۷	-۲۰,۵	-۲۵	-۲۳	-۲۰,۵	-۲۳	-۲۵,۵	کمینه	سردترین روز سال
-۷	-۱۲	-۸	-۶,۵	-۱۴	-۱۷	-۱۵	-۱۵,۵	بیشینه	
۰	۰	۰	-۴	۰	+۰,۵	۰	۰	کمینه	آفتابی ترین روز سال
+۱۱,۵	+۵,۵	+۱۰,۵	+۸	+۱۰,۵	+۵,۵	+۹	+۶	بیشینه	
-۱۴	-۱۳	-۱۴	-۱۶	-۱۴,۵	-۱۲	-۱۲	-۱۸	کمینه	ابری ترین روز سال
-۶	-۱۰,۵	-۷	-۸	-۶,۵	-۹,۵	-۷,۵	-۱۰,۵	بیشینه	
ماکزیمم تفاوت									
بیشینه					کمینه				
یزد، فایبرگلاس، گرم ترین روز					اصفهان، آجر و فایبرگلاس، سردترین روز				



فرصتی برای تخلیه انرژی به بنا نمیدهد و سقف توانسته است انرژی را در همه ساعات همه ماه‌های سال در اطراف محدوده خنثی متعادل نگه دارد. در مقایسه سه جنس مورد ارزیابی، می‌توان گفت سقف گنبد بتنی، بمراتب کمتر از دو جنس دیگر، ایجاد کننده اختلاف دمایی در ساعات شبانه روز است.

در تحلیل ماهانه نمونه‌ها که بر حسب ساعات روز و به تفکیک شهر و جنس گنبد انجام یافت (جدول ۵)؛ می‌توان میانگین کمترین و بیشترین تبادلات انرژی را بصورت ماهانه در نمونه‌ها تحلیل نمود. این ارزیابی نیز که در جدول ۶ قابل مشاهده است؛ حاکی از میزان انرژی‌گیری و یا انرژی‌دهی نمونه‌ها از محیط می‌باشد و اعداد منفی بیان‌کننده انتقال انرژی از بنا به محیط و اعداد مثبت نشان‌دهنده انتقال از محیط به بناست.

میزان تفاوت مقادیر کمینه و بیشینه ماهانه نمونه‌ها با یکدیگر، بیان‌کننده بیشترین تنش وارده به بنا در طول ماه بطور میانگین است که در جدول ۷ نشان داده شده است. مقادیر این جدول بیان می‌دارد بیشترین تنش‌ها مربوط به مونه فایبرگلاس بوده و متعادل‌ترین شرایط در فضای داخلی گنبد بتنی ایجاد می‌گردد.

قیاس رفتار حرارتی ماهانه بر حسب ساعات روز

نمودارهای Fabric Gains - $Q_c + Q_s$ (جدول ۵) نشان می‌دهد در شرایط آب و هوایی اقلیم گرم و خشک، آجر، ایجاد کننده تفاوت متوسطی در میزان تبادلات انرژی است. به عبارتی بهتر در قبال انرژی‌دهی سقف، انرژی‌گیری هم وجود دارد، ولیکن در شدیدترین ماه‌های سرد و همچنین گرم سال، این محدوده در بازه مثبت و یا منفی خود در نوسان است و صرفاً میزان آن در حال تغییر می‌باشد. به عنوان مثال در ماه ژانویه در شهر اصفهان شدیدتر و در یزد کمتر، در همه ساعات شبانه‌روز انرژی‌دهی از بنا به بیرون رخ می‌دهد، این انرژی‌دهی صرفاً در محدوده زمانی ظهر اندکی تعدیل می‌گردد و در حالت کلی بازه تبادل انرژی منفی است. همین امر در جنس الباف شیشه نیز وجود دارد، اما تفاوت‌های تبادل، بیشتر از حالت آجری است. به عبارتی دیگر نوسانات شدیدتری در بنا اتفاق می‌افتد و سقف ساعات بیشتری را در بیشینه و کمینه دمایی طی می‌نماید. در جنس بتنی سقف، عملکرد حرارتی تقریباً ثابت سقف حاکی از آن است در همه ماه‌ها و در همه ساعات حالت هم‌دمایی بین درون و بیرون اتفاق می‌افتد. به واقع جنس سقف در طول سال، نشان از دریافت انرژی دائمی دارد. این میزان هرچند کم می‌باشد؛ اما ثبوت آن

جدول ۵: رفتار حرارتی ماهانه نمونه‌ها بر حسب ساعات روز، ماخذ: نگارندگان

یزد	اصفهان	
		آجر
		بتن
		فایبرگلاس

جدول ۶: کمینه و بیشینه تبادل انرژی ماهانه نمونه ها، ماخذ: نگارندگان

کمینه و بیشینه مطلق تبادل انرژی ماهانه نمونه ها							
یزد			اصفهان				
فایبرگلاس	بتن	آجر	فایبرگلاس	بتن	آجر		
-۱۸۱۰۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۷۲۴۰۰	-۱۸۱۰۰۰	کمینه	Jan
-۷۲۴۰۰	-۷۲۴۰۰	-۳۶۲۰۰	-۱۰۸۶۰۰	-۳۶۲۰۰	-۷۲۴۰۰	بیشینه	
-۱۸۱۰۰۰	-۷۲۴۰۰	-۱۶۲۹۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۳۶۲۰۰	-۱۸۱۰۰۰	کمینه	Feb
۳۶۲۰۰	.	.	-۷۲۴۰۰	.	-۳۶۲۰۰	بیشینه	
-۱۸۱۰۰۰	-۳۶۲۰۰	-۱۰۸۶۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۳۶۲۰۰	-۱۴۴۸۰۰	کمینه	mar
۷۲۴۰۰	.	.	۳۶۲۰۰	.	.	بیشینه	
-۷۲۴۰۰	.	-۳۶۲۰۰	-۱۴۴۸۰۰	-۱۰۰۰۰	-۷۲۴۰۰	کمینه	Apr
۱۴۴۸۰۰	۱۰۰۰۰	۳۶۲۰۰	۷۲۴۰۰	.	۳۶۲۰۰	بیشینه	
.	.	.	-۷۲۴۰۰	.	.	کمینه	May
۱۸۱۰۰۰	۳۶۲۰۰	۱۰۸۶۰۰	۱۴۴۸۰۰	۵۰۰۰	۷۲۴۰۰	بیشینه	
۳۶۲۰۰	.	.	.	.	.	کمینه	Jun
۱۸۱۰۰۰	۷۲۴۰۰	۱۴۴۸۰۰	۱۸۱۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۰۸۶۰۰	بیشینه	
.	.	.	.	.	.	کمینه	Jul
۱۸۱۰۰۰	۷۲۴۰۰	۱۸۱۰۰۰	۱۸۱۰۰۰	۳۶۲۰۰	۱۸۱۰۰۰	بیشینه	
.	.	.	.	.	.	کمینه	Aug
۱۸۱۰۰۰	۷۲۴۰۰	۱۴۴۸۰۰	۱۸۱۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۴۴۸۰۰	بیشینه	
-۶۰۰۰۰	.	.	-۷۲۴۰۰	.	-۳۶۲۰۰	کمینه	Sep
۱۸۱۰۰۰	۳۶۲۰۰	۱۰۸۶۰۰	۱۴۴۸۰۰	۵۰۰۰	۷۲۴۰۰	بیشینه	
-۱۰۸۶۰۰	.	-۷۲۴۰۰	-۱۴۴۸۰۰	.	-۷۲۴۰۰	کمینه	Oct
۱۴۴۸۰۰	.	۳۶۲۰۰	۱۰۸۶۰۰	.	۳۶۲۰۰	بیشینه	
-۱۸۱۰۰۰	-۳۶۲۰۰	-۱۴۴۸۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۳۶۲۰۰	-۱۴۴۸۰۰	کمینه	Nov
۳۶۲۰۰	.	.	.	.	.	بیشینه	
-۱۸۱۰۰۰	-۷۲۴۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۱۸۱۰۰۰	-۷۲۴۰۰	-۱۸۱۰۰۰	کمینه	Dec
.	.	-۳۶۲۰۰	-۷۲۴۰۰	-۳۶۲۰۰	-۷۲۴۰۰	بیشینه	





جدول ۷: تفاوت کمینه و بیشینه تبادل انرژی ماهانه نمونه ها، ماخذ: نگارندگان

تفاوت کمینه و بیشینه مطلق تبادل انرژی ماهانه نمونه ها						
یزد			اصفهان			
فایبرگلاس	بتن	آجر	فایبرگلاس	بتن	آجر	
۵۴۳۰۰	۵۴۳۰۰	۱۴۴۸۰۰	۷۲۴۰۰	۳۶۲۰۰	۵۴۳۰۰	Jan
۲۱۷۲۰۰	۷۲۴۰۰	۱۶۲۹۰۰	۵۴۳۰۰	۳۶۲۰۰	۱۴۴۸۰۰	Feb
۲۵۳۴۰۰	۳۶۲۰۰	۱۰۸۶۰۰	۲۱۷۲۰۰	۳۶۲۰۰	۱۴۴۸۰۰	mar
۲۱۷۲۰۰	۱۰۰۰۰	۷۲۴۰۰	۲۱۷۲۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۸۶۰۰	Apr
۱۸۱۰۰۰	۳۶۲۰۰	۱۰۸۶۰۰	۲۱۷۲۰۰	۵۰۰۰	۷۲۴۰۰	May
۱۴۴۸۰۰	۷۲۴۰۰	۱۴۴۸۰۰	۱۸۱۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۰۸۶۰۰	Jun
۱۸۱۰۰۰	۷۲۴۰۰	۱۸۱۰۰۰	۱۸۱۰۰۰	۳۶۲۰۰	۱۸۱۰۰۰	Jul
۱۸۱۰۰۰	۷۲۴۰۰	۱۴۴۸۰۰	۱۸۱۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۴۴۸۰۰	Aug
۲۴۱۰۰۰	۳۶۲۰۰	۱۰۸۶۰۰	۲۱۷۲۰۰	۵۰۰۰	۱۰۸۶۰۰	Sep
۲۵۳۴۰۰	.	۱۰۸۶۰۰	۲۵۳۴۰۰	.	۱۰۸۶۰۰	Oct
۲۱۷۲۰۰	۳۶۲۰۰	۱۴۴۸۰۰	۱۸۱۰۰۰	۳۶۲۰۰	۱۴۴۸۰۰	Nov
۱۸۱۰۰۰	۷۲۴۰۰	۱۴۴۸۰۰	۵۴۳۰۰	۳۶۲۰۰	۵۴۳۰۰	Dec

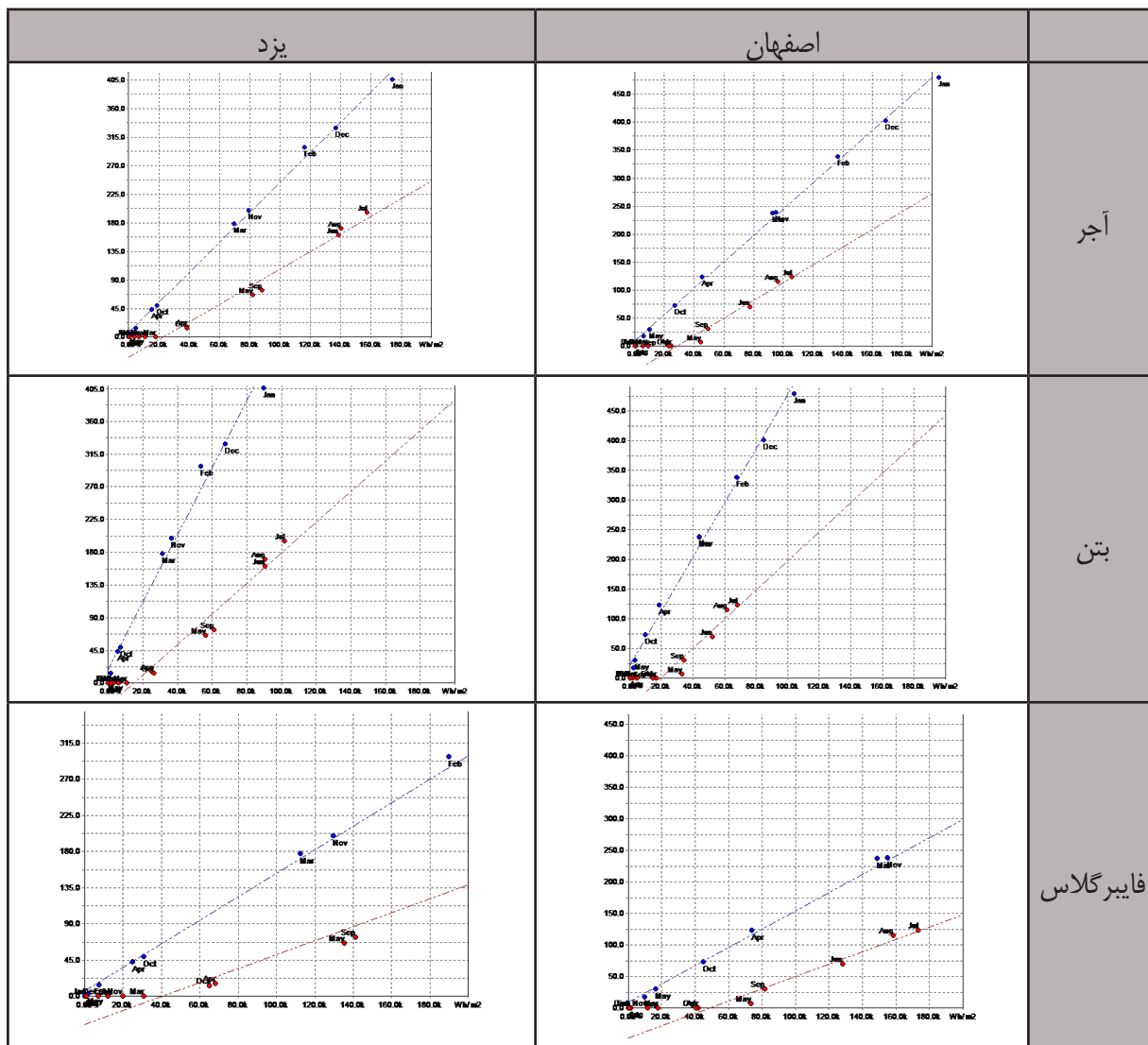
می کند. آجر حالتی میانی و فایبرگلاس با روزدرجه ماهانه کمتر انرژی بیشتری را ردوبدل می نماید.

بحث و تحلیل

در قیاس روزدرجه بر اساس میزان تبدلات انرژی (نمودارهای روزدرجه ماهانه) (جدول ۸) می توان مشاهده نمود که پراکندگی ماه های سرد در همه نمونه ها بیشتر از ماه های گرم است به عبارتی بهتر، تفاوت میزان انرژی و روزدرجه آن ها از همدیگر زیاد می باشد. ماه های گرم در فایبر گلاس نیز همین وضعیت را دارند؛ می توان گفت این متریکال بنا را دچار نوسانات شدیدی در انرژی دریافتی و داده انرژی می گرداند. آجر در رده میانی و بتن متعادل ترین رفتار را در تبدلات انرژی بنا منجر می گردد. به بیانی دیگر وضعیت ماه های گرم در بتن نزدیک به هم خواهد بود. شیب نمودارها هم که در نمونه ها به ترتیب از فایبرگلاس آغاز و در بتن بیشترین میزان را بخود اختصاص می دهد؛ حاکی از آن است بتن در قبال تبادل حرارتی کمتر، روزدرجه بالاتری در ماه های سال ایجاد



جدول ۸: نمودارهای روزدرجه ماهانه برحسب میزان تبدلات انرژی در نمونه ها، ماخذ: نگارندگان



متریال مناسبی نیست. از طرفی اثرات نوسانی دو جنس آجر و بتن معرف این مطلب است که در شهر اصفهان، بتن با اختلاف ۰٫۹ درصدی شرایط آسایش بیشتری از آجر خلق می نماید. این میزان در شهر یزد با اختلاف ۱ درصدی برای آجر حاکم است و نشان می دهد در این شهر، پوشش آجری قادر است ساعات آسایش بیشتری را برای کاربر خود فراهم نماید. لازم بذکر است این امر با در نظر گرفتن پوسته ای از مصالح موردنظر مطابق با جزییات اجرایی

برای قیاس رفتار سه گنبد آجری، بتنی و فایبرگلاس، به نظر می رسد در کنار نمونه مقایسات مطرح شده، ارزیابی سالانه رفتار حرارتی سه نمونه ضروری باشد. (جدول ۹) این تحلیل نشان می دهد از مجموع ۸۷۶۰ ساعت سال، نمونه با مصالح جدید یا همان فایبرگلاس، میزان ساعات آسایش کمتری ارائه می دهد. در هر دو نمونه محدوده آسایش بین ۱۸ تا ۲۶ درجه تعریف شده و ارزیابی ها حاکی از آن است فایبرگلاس برای پوشش سقف گنبدی در این منطقه



شدیدتر بوده و تفاوت بیشتری با فایبرگلاس از خود نشان خواهند داد. می توان گفت هرچه میزان گرم و خشکی منطقه افزایش می یابد؛ آجر مناسب تر بوده و هرچه اثرات اقلیمی منطقه گرم و خشک کمتر شده و شرایط به تعادل می گراید؛ بتن، فراهم کننده میزان آسایش بیشتری در بناست.

شرکت dkdomes محقق گردیده و به عبارتی دیگر متریکال آجری و یا بتنی در قالب های مورد استفاده این شرکت در نظر گرفته شده اند. چرا که اساس این مطالعه بر پیش ساخته سازی استوار بوده و چنانچه از بلوک های آجری و یا بتنی بجای صفحات پوسته ای موردنظر بهره گرفته شود؛ بدلیل ایجاد ناهمگنی در محیط، اثرات حرارتی آن ها

ANNUAL TEMPERATURE DISTRIBUTION			ANNUAL TEMPERATURE DISTRIBUTION			ANNUAL TEMPERATURE DISTRIBUTION		
esfehan Ajori Operation: Weekdays 00-24, Weekends 00-24. Comfort Band: 18.0 - 26.0 C In Comfort: 2709 Hrs (31.0%)			esfehan masalehe jadid Operation: Weekdays 00-24, Weekends 00-24. Comfort Band: 18.0 - 26.0 C In Comfort: 2671 Hrs (30.6%)			esfehan masalehe beton va asphalt Operation: Weekdays 00-24, Weekends 00-24. Comfort Band: 18.0 - 26.0 C In Comfort: 2791 Hrs (31.9%)		
TEMP.	HOURS	PERCENT	TEMP.	HOURS	PERCENT	TEMP.	HOURS	PERCENT
0.0	380	4.4%	0.0	359	4.1%	0.0	231	2.6%
2.0	466	5.3%	2.0	421	4.8%	2.0	439	5.0%
4.0	484	5.5%	4.0	462	5.3%	4.0	674	7.7%
6.0	556	6.4%	6.0	525	6.0%	6.0	577	6.6%
8.0	550	6.3%	8.0	539	6.2%	8.0	601	6.9%
10.0	478	5.5%	10.0	485	5.6%	10.0	546	6.2%
12.0	534	6.1%	12.0	528	6.0%	12.0	416	4.8%
14.0	547	6.3%	14.0	531	6.1%	14.0	445	5.1%
16.0	456	5.2%	16.0	490	5.6%	16.0	511	5.8%
18.0	510	5.8%	18.0	471	5.4%	18.0	628	7.2%
20.0	503	5.8%	20.0	495	5.7%	20.0	501	5.7%
22.0	586	6.7%	22.0	588	6.7%	22.0	432	4.9%
24.0	563	6.4%	24.0	573	6.6%	24.0	527	6.0%
26.0	547	6.3%	26.0	544	6.2%	26.0	703	8.0%
28.0	451	5.2%	28.0	464	5.3%	28.0	661	7.6%
30.0	435	5.0%	30.0	398	4.6%	30.0	490	5.6%
32.0	327	3.7%	32.0	376	4.3%	32.0	267	3.1%
34.0	222	2.5%	34.0	266	3.0%	34.0	100	1.1%
36.0	104	1.2%	36.0	141	1.6%	36.0	4	0.0%
38.0	30	0.3%	38.0	64	0.7%	38.0	0	0.0%
40.0	0	0.0%	40.0	8	0.1%	40.0	0	0.0%
42.0	0	0.0%	42.0	0	0.0%	42.0	0	0.0%
44.0	0	0.0%	44.0	0	0.0%	44.0	0	0.0%
46.0	0	0.0%	46.0	0	0.0%	46.0	0	0.0%
COMFORT	2709	31.0%	COMFORT	2671	30.6%	COMFORT	2791	31.9%

جدول ۹: پراکندگی دمایی سالانه نمونه ها در دو شهر اصفهان و یزد، ماخذ: نگارندگان

در جداره ها نیز از طریق سقف صورت می گیرد که در بنای مسجد، با گنبد کالبد می گیرد. در این میان با پیشرفت روش های ساخت، تکنولوژی اجرای گنبد نیز تفاوت چشمگیری با روش های سنتی یافته و به نظر می رسد ارزیابی تفاوت های ناشی از تنوع مصالح در روش های اجرای جدید، امری در خور توجه باشد. این مطالعه در راستای بررسی تطبیقی رفتار حرارتی مصالح گنبد، فرم گنبد مسجد امام را با جزئیات گنبد مشابه اما از جنس فایبرگلاس، آجر و بتن، برگرفته از جزئیات اجرایی

نتیجه گیری

مسجد به عنوان فضایی آیینی هرچند با ابعاد روحی وجود انسان درگیری بیشتری دارد؛ اما به نظر می رسد چنانچه بتواند آسایش جسمی کاربر خود را فراهم نماید، به آسایش عبادی او نیز یاری خواهد رساند. آسایش حرارتی یکی از مهم ترین این فاکتورهاست که در صورت عدم استفاده از سیستم های گرمایشی و سرمایشی، از طریق جداره های بنا، تعریف می گردد. قسمت اعظم تاثیر عوامل خارجی



صورت گرفت، شرایط برعکس شده و بتن به عنوان مصالح موفق در رفتار حرارتی جلوه می نماید. در نظر گرفتن همه متغیرهای موثر در رفتار حرارتی مانند رطوبت و باد، تحلیل های واقعی تری بدنبال خواهد داشت که همانگونه که در روند مطالعه نیز اشاره گردید؛ این پژوهش صرفاً از منظر جنس مصالح به تحلیل رفتار حرارتی پرداخت. از آنجا که مطالعه حاضر بدنبال ارزیابی تطبیقی یک فرم با مصالح متفاوت بوده است؛ کاهش پارامترهای موثر، نتایج قیاس را منطقی تر خواهد نمود. چرا که شرایط در نظر گرفته شده در همه نمونه ها یکسان است و هدف اصلی این پژوهش، واکاوی پاسخ بهتر از بین نمونه ها در شرایط مذکور می باشد. به عبارتی ساده تر چنانچه حتی شرایط این مطالعه چه به لحاظ متغیرها و چه به لحاظ زمانی محدود در نظر گرفته شده باشد؛ برای همه نمونه ها چنین است و اختلالی در قیاس نهایی ایجاد نمی نماید. مسلم است که در نظر گرفتن همین شرایط در بازه یکسال نتایج بادقت تری ارائه خواهد کرد، لیکن تعریف محدوده زمانی، چارچوب پژوهش را تدقیق نموده، در حد مطالعه ای علمی پژوهشی توجیه می نماید. پیشنهاد این پژوهش برای مطالعات بعدی، در نظر گرفتن تعداد بیشتری از پارامترهای موثر، همچنین مطالعه در بازه سالانه است که طبیعتاً منجر به حصول نتایج و یافته های منطقی و واقعی تر خواهد شد. از طرفی دیگر این مطالعه بدنبال استخراج نتایجی کلی برای یک اقلیم بود که به نظر می رسد تحلیل شهرهای مختلف در اقلیم های دیگر بتواند نتایج متنوع تری ارائه نماید.

مسجد ولایت کوالالامپور، مقایسه نموده است. نتایج حاصله نشان می دهد رفتار بتن، متعادل ترین شرایط را از بین دیگر مصالح فراهم می آورد. فایبرگلاس با ایجاد نوسانات شدید دمایی، هرچند ساعات تخلیه انرژی شدیدتری در بنا ایجاد می نماید؛ اما در مقابل به همان میزان نیز انتقال بار حرارتی آن از بیرون به بنا را نیز شدید می گرداند که برای این اقلیم مناسب نخواهد بود. آجر و فایبرگلاس در این منطقه برای متعادل تر نمودن کمینه های دمایی رفتار مناسبی دارند اما در کاهش بیشینه ها، چندان موفق عمل نمی کنند. از آنجا که بتن تحت همه شرایط، بدنبال رفتار خطی ملایم خود است؛ در همه حالات و حتی در مواقعی که نوسانات دمایی به منظور تخلیه بار حرارتی بنا لازم است؛ شرایط یکسانی ایجاد می نماید. به نظر می رسد در مناطقی که شرایط اقلیم گرم و خشک با پارامترهای قوی تری بر منطقه حاکم است؛ این میزان رفتار ملایم و تعدیل کننده، چندان هم مناسب نباشد. چرا که در شرایط گرم و خشک تر، اختلافات دمایی شب و روز و فصول گرم و سرد بیشتر خواهد بود، در این شرایط محدوده تعدیل بتن به دماهای بالاتری نیل می نماید که خارج از محدوده آسایش انسانی است. به عبارتی، بنا در وضعیت تحمیل بار همیشگی به سر می برد و فرصتی برای طی مسیر انرژی از داخل به خارج ندارد. بنابراین می توان گفت جنس آجری با ایجاد فرصت های برابر برای اخذ و تخلیه انرژی در مناطق گرم و خشک مصالح مناسب تری خواهد بود. هرچند با تعدیل بسیار جزئی در وضعیت اقلیمی، در حد مقایسه ای که بین یزد و اصفهان

منابع

1. Dili, a. S., Naseer, M. a., & Varghese, T. Z. (2010). Passive environment control system of Kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses. *Energy and Buildings*, 42(6), 917–927. doi:10.1016/j.enbuild.2010.01.002
2. Hatamipour, M. S., & Abedi, a. (2008). Passive cooling systems in buildings: Some useful experiences from ancient architecture for natural cooling in a hot and humid region. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2317–2323. doi:10.1016/j.enconman.2008.01.018
3. Turrin, M., Von Buelow, P., Kilian, A., & Stouffs, R. (2012). *Performative skins for passive climatic comfort: A parametric design process*. *Automation in Construction*, 22, 36–50. doi:10.1016/j.autcon.2011.08.001
4. Taleb, H. M. (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 3(2), 154–165. doi:10.1016/j.foar.2014.01.002
5. Soares, N., Costa, J. J., Gaspar, A. R., & Santos, P. (2013). Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency. *Energy and Buildings*, 59, 82–103. doi:10.1016/j.enbuild.2012.12.042
6. Shoubi, M. V. (2014). Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *AIN SHAMS ENGINEERING JOURNAL*. doi:10.1016/j.asej.2014.09.006





7. Motawa, I., & Carter, K. (2013). Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 74, 419–428. doi:10.1016/j.sbspro.2013.03.015
8. Al-Homoud, M. S. (2001). Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment*, 36, 421–433. doi:10.1016/S0360-1323(00)00026-3
9. Cantin, R., Burgholzer, J., Guarracino, G., Moujalled, B., Tamelikecht, S., & Royet, B. G. (2010). Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in France. *Building and Environment*, 45(2), 473–484. doi:10.1016/j.buildenv.2009.07.010
10. Dili, a. S., Naseer, M. a., & Zacharia Varghese, T. (2011). Passive control methods for a comfortable indoor environment: Comparative investigation of traditional and modern architecture of Kerala in summer. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 653–664. doi:10.1016/j.enbuild.2010.11.006
11. Oikonomou, a., & Bougiatioti, F. (2011). Architectural structure and environmental performance of the traditional buildings in Florina, NW Greece. *Building and Environment*, 46(3), 669–689. doi:10.1016/j.buildenv.2010.09.012
12. CHAPTER 4 THERMAL PERFORMANCE OF BUILDINGS Contents 4 . 3 Solar Radiation 4 . 4 Simplified Method for Performance Estimation The thermal performance of a building refers to the process of modeling the energy transfer between a building and its surrounding. (n.d.), (i).
13. Balaras, C. a. (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. *Energy and Buildings*, 24, 1–10. doi:10.1016/0378-7788(95)00956-6
14. Dili, a. S., Naseer, M. a., & Zacharia Varghese, T. (2010). Passive control methods of Kerala traditional architecture for a comfortable indoor environment: Comparative investigation during various periods of rainy season. *Building and Environment*, 45(10), 2218–2230. doi:10.1016/j.buildenv.2010.04.002
15. Zhang, Y., Chen, Q., Zhang, Y., & Wang, X. (2013). Exploring buildings' secrets: The ideal thermophysical properties of a building's wall for energy conservation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 65, 265–273. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.06.008
16. Asan, H., & San, Y. S. (1998). *Effects of Wall 's thermophysical properties on time lag and decrement factor*, 28, 159–166.
17. Evins, R. (2013). A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 230–245. doi:10.1016/j.rser.2013.02.004
18. Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631. doi:10.1016/j.rser.2011.07.014
19. Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Abdul Rahman, A. M. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. *Frontiers of Architectural Research*, 1–15. doi:10.1016/j.foar.2014.06.002
20. Britain, G., Grashof, G., Engineering, M., & Engineering, S. D. (1985). Passive Cooling in Hot , Arid Regions in Developing Countries by Employing Domed Roofs and Reducing the Temperature of Internal Surfaces, 20(2), 103–113.
21. Faghih, A. K., & Bahadori, M. N. (2011). Thermal performance evaluation of domed roofs. *Energy and Buildings*, 43(6), 1254–1263. doi:10.1016/j.enbuild.2011.01.002
22. Tang, R., Meir, I. a., & Etzion, Y. (2003). Thermal behavior of buildings with curved roofs as compared with flat roofs. *Solar Energy*, 74, 273–286. doi:10.1016/S0038-092X(03)00193-2
23. Tang, R., Meir, I. a., & Wu, T. (2006). Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roofs in comparison with flat roofs. *Building and Environment*, 41, 268–276. doi:10.1016/j.buildenv.2005.01.008
24. Hadavand, M., & Yaghoubi, M. (2008). Thermal behavior of curved roof buildings exposed to solar radiation and wind flow for various orientations. *Applied Energy*, 85(8), 663–679. doi:10.1016/j.apenergy.2008.01.002
25. Cena, K., & Dear, R. De. (2001). Thermal comfort and behavioural strategies in office buildings located in a hot-arid climate, 26, 409–414.
26. Givoni, B. (2011). Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy*, 85(8), 1692–1726. doi:10.1016/j.solener.2009.10.003
27. Moropoulou, A., Labropoulos, K. C., Delegou, E. T., Karoglou, M., & Bakolas, A. (2013). Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage. *Construction and Building Materials*, 48, 1222–1239. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.03.044
28. Kočí, V., Bažantová, Z., & Černý, R. (2014). Computational analysis of thermal performance of a passive family house built of hollow clay bricks. *Energy and Buildings*, 76, 211–218. doi:10.1016/j.enbuild.2014.02.066
29. Somboonwit, N., & Sahachaisaeree, N. (2012). Healthcare Building: Modelling the Impacts of Local Factors for Building Energy Performance Improvement in Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 50(July), 549–562. doi:10.1016/j.sbspro.2012.08.058
30. Hejazi, M. & Mirghaderi, R. (2004), A Vibration Analysis of Iranian Domes, *Journal of Engineering Faculty* 28(6), 747-757
31. www.dkdomes.com• 2015,1,15,5:33



**The comparative study of the thermal behaviour of various prefabricated dome materials in hot and dry climates of Iran (a case study of Yazd and Isfahan)****Maziar Asefi ***Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Science, University of Hakim Sabzevari
(Corresponding Author)**Farzin Haghparast ****Architectural Master Student, Faculty of Architectural and Urbanism Engineering, University of
Hakim Sabzevari**Farzaneh Gholizadeh Orang *****

Master of Architecture, School of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University

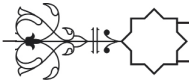
Abstract

Received: 3/11/2015

Accepted: 12/7/2016

The mosque has served as a ritual space for Muslims since the emergence of Islam; in every era it has been designed and constructed based on terms and conditions of performance and the technology. But there are almost some fixed and unchanged elements that distinguish the mosque from the other places. In the mosque architecture, the dome is considered as an important symbol and element, and in addition to the concepts hidden in the space of the dome, many designers suppose its existence as a reason for the symbolic architecture of Islam. Therefore, the study of the construction of domes seems necessary, while today the progress of the construction and implementation methods doubles the need for understanding their structures. Meanwhile, in a place like the mosque, it is required to provide the user comfort in terms of the minimal situation to improve the spiritual state of the worshippers, which is needed additionally in the hot and dry climate due to the distance between the natural conditions and the scope of the human welfare. The mosque is at least a safe place where the audience or prayer tries to upgrade his/her spiritual modes and preferably in the zones of hot and dry climate people try twice more to go to the mosque for the development of their spiritual modes and natural comfort. For this purpose, the present study compares three kinds of materials in the prefabricated domes and evaluates the traditional materials (brick) in comparison with the concrete and fiberglass structures. The method of prefabricating was selected from the operational details of the Dk domes Company that has constructed many domes in the Islamic world, including Wilayah mosque of Kuala Lumpur and the form of samples was taken from the Imam Mosque of Isfahan. Thermal behaviour is one of the effective factors for the user comfort and has been selected as the research variable and the samples were analysed based on the behavioural differences. This study aims to find which type of dome provides better response in terms of the studied parameters in hot and dry climates. The paper is to answer the following questions by the utilization of software analyses:

- 1) Which dome has appropriate thermal behavior in the hot and dry climate zones?
- 2) Is it possible to construct a dome such as the dome of The Imam Mosque in Isfahan by the implementation of the modern systems?



The paper has been classified into two sections including- The main subject and the case study to answer precisely the above questions. Firstly, the concept of the thermal behavior is evaluated; performance of dome roofs and the thermal studies and then the domes made of prefabricated concrete, brick and fiberglass are analyzed. The research methodology is descriptive analytic of the case study, quantitative and empirical aspects of the samples through more precise calculations. The analyses were done with Ecotect software in the cities of Yazd, and Isfahan and the results show that in the selected cities, the brick provides more hours of comfort in the climatic conditions of Yazd and the concrete structure of the dome provides more comfort in Isfahan. In both cases, regarding energy exchanges in the dome structure during the night and day and the total of the year, the concrete moderates the temperature and the brick and fiberglass create medium and maximum behavioural differences respectively.

It is concluded that brick dome structures provide more comfort for the prayers to the mosque for the advancement of their spiritual modes in Yazd but concrete domes in Isfahan. In both samples, the concrete is moderator of the temperature; both brick and fiberglass changed the thermal behavior of the domed roof to average and maximum levels respectively both round-the-clock and annually. Whereas the concrete always has a mild linear behavior; always develops uniform conditions even when you need temperature differences to reduce the thermal load in the mosque. It seems that such a moderate behavior is not so suitable in hot and dry zones for the existence of more powerful parameters in these zones. The temperature differences are more in hotter and dryer zones at night and during the day in cold and hot seasons. Concrete can't provide comfort for the prayers due to the constant load of thermal energy and the energy convection. The dome roof made of fiberglass material provides less comfort out of 8760 hours in a year. The concrete dome can produce more comfort than that of the fiberglass in Isfahan with 0.9 percent difference in comfort condition than that of the fiberglass. But in Yazd, the difference in comfort condition is 1 percent for the domes made of brick, then it is concluded that the concrete domes provide more comfort for the prayer in Yazd. Generally, it is concluded that brick is more suitable for hot and dry climate zones; although with a very trivial change in the weather, the concrete showed better thermal behavior than that of brick both in Yazd and Isfahan.

Keywords: thermal behaviour, prefabricated dome, brick, concrete, fiberglass.



Managing Director: vice chancellor for
research-Iran University of Science and Technology

Editor-in-chief: Abdol Hamid Noghreh Kar

Administrative Director:

Mohammad Mannan Raeesi

Administrative assistant:

Zahra Kashanidoust

Persian literary Editor: Sara Motevalli

English literary Editor: MohamadReza Ataee Hamedani

Editorial Board Members:

Seyyed Gholam Reza Eslami: Associate Professor,
Tehran University

Hasan Bolkhari: Associate Professor, Tehran University

Mostafa Behzadfar: Professor,

Iran University of Science and Technology

Mohammad Reza Pourjafar: Professor,
Tarbiat Modares University

Mahdi Hamzeh Nejad: Assistant Professor,
Iran University of Science and Technology

Esmail Shieh: Professor, Iran University
of Science and Technology

Manoochehr Tabibian: Professor, Tehran University

Mohsen Faizi: Professor, Iran University
of Science and Technology

Hamid Majedi: Associate Professor, Science and
Research Branch, Islamic Azad University

Asghar Mohammad Moradi: Professor, Iran University
of Science and Technology

Gholam Hossein Memariyan: Professor, Iran University
of Science and Technology

Fatemeh Mehdizadeh: Associate Professor, Iran University
of Science and Technology

Mohammad Naghizade: Assistant Professor, Science and
Research Branch, Islamic Azad University

Ali Yaran: Associate Professor, Iran Ministry of Science,
Research and Technology

Design assistant: AmirHosein Yousefi

Reviewers for Volume4, Number12:

Ahad Ebrahimi Nezhad: Assistant Professor, Tabriz Islamic Art
University

Naser Barati: Associate Professor, Imam Khomeini International
University

Mahdi Hamzeh Nejad: Assistant Professor, Iran University
of Science and Technology

Mohamad Bagher Kabirsaber: Assistant Professor, University of
Tehran

Razieh Labibzadeh: Teacher, Iran University of Science and
Technology

Hosein Medi: Assistant professor, Imam Khomeini
International University

Abolfazl Meshkini: Assistant Professor, Tarbiat Modares
University

Masood Nari Qomi: Assistant Professor, University of Kashan

Shariar Nasekhian: Assistant Professor, Isfahan Art University

Mohammad Manan Raeesi: Assistant Professor, University of
Qom

Mohamad Ranjbar Kermani: Assistant Professor, University of
Qom

Hanieh Sanayeayan: Teacher, Iran University of Science and
Technology

Mansureh Tahbaz: Associate Professor, Sahid Beheshti University

Behzad Vasiq: Assistant Professor Jondy Shapoor
University

Hasan Zolfagharzadeh: Associate Professor, Imam Khomeini
International University





- ▣ **The interrelation between Islam and human processes theory of (Salam) - "Strategies, guideline, and solutions for creating and evaluating art works , architecture and urbanism"**
Abd-al-hamid Noghrehkar
- ▣ **Assessment and criticism of the decisions of the Supreme Council for Urbanism and Architecture about Islamic identity of Urbanism and Iranian Architecture.**
Seied majid Hashemi Toghr oljerdi
- ▣ **The Concept of Education and its impact on the Architecture of Islamic Schools - (A comparative comparison between Seljuk and Safavid Schools)**
Behzad Vasiq / Reza Ghadrddan Gharamaleki
- ▣ **Diathesis as an Ancient Model in Architectural Designing of Iranian Bathroom**
Divandari Javad / Danaeinia Ahmad / Sayyadi Mehdi / EmamiMibodim Marzieh
- ▣ **A Scope to Situation of Architectural Technology amongst the System of Hekmat (Wisdom) of Muslims**
Masoud Nari Ghomi / Salman Noghrehkar
- ▣ **A study of transparency behaviour of domes in Islamic mosque with emphasis on the notion of the spiritual lighting**
Zeinab nazer / Azita belali oskoui / Mohammad ali keynejad
- ▣ **The comparative study of the thermal behaviour of various prefabricated dome materials in hot and dry climates of Iran (a case study of Yazd and Isfahan)**
Maziar Asefi / Farzin Haghparast / Farzaneh Gholizadeh Orang
- ▣ **An interdisciplinary query on the bedroom design principles referring to narrative teachings of Islam**
Mohammad Mannan Raeisi
- ▣ **Categories practices of used techniques in Nastaliq inscriptions on Safavid architectural decoration**
Ahmad Salehi Kakhki / Qobad Kianmehr / Hamid Reza Ghelichkhani / Farhad Khosravi Bizhaem