

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده برق و رباتیک
رشته مهندسی برق گرایش مدارهای مجتمع الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

**مدلسازی انرژی به منظور تخمین دمای داخل ساختمان
در چارچوب مدلسازی اطلاعات ساخت**

نگارنده: زهرا پزشکی

استاد راهنما: سید علی سلیمانی ایوری

استاد مشاور: احمد دارابی

شهریورماه ۱۳۹۷

شماره ۱۵۹۲، آ.ت.ب
تاریخ: ۱۳، ۲، ۹۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای زهرا پزشکی با شماره

دانشجویی ۹۴۰۴۲۱۴ رشته مهندسی برق- الکترونیک گرایش مدارهای مجتمع تحت عنوان: مدلسازی انرژی

به منظور تخمین دمای داخل ساختمان در چارچوب مدلسازی اطلاعات ساخت که در تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۳ با

حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه:)	<input checked="" type="checkbox"/>
مردود	<input type="checkbox"/>
نوع تحقیق:	<input checked="" type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	سید علی حسینی	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	_____	_____	_____
۳- استاد مشاور	احمد داریان	استاد	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	علیرضا حسینی	استاد	
۵- استاد ممتحن اول	اسیرنا سروش	استاد	
۶- استاد ممتحن دوم	هادی گریلو	استاد	



نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیر و تشکر

تحصیل علم افتخار بزرگی است که پروردگار متعال آن را به کسانی ارزانی می‌دارد که عاشقانه در این راه تلاش ورزند و با کسب آن در مسیر خوشنودی و رضایت مردم گام بردارند.

من به سگزاره می‌توفیق و به پادشاهت بهرامی و حمایت‌های بی‌دریغ و خالصانه‌ی استادان بزرگوارم به این افتخار دست یافته‌ام و دانشگاه مسرور همین خاطراتی است که در کنار حمایت‌های برادرانه و مشفقانه‌ی ایشان و دیگر مسئولین دو سم را با موفقیت در آن سپری نموده‌ام. شور شیرین خاطرات تلاش‌های صادقانه‌ی ریاست ارجمند و محترم دانشگاه، دانشکده، مسئولین معاونت آموزشی، فرهنگی و اجتماعی و اساتید گرامیم که در جای‌جای آن اثر قدم‌های پشتکار و همت آنان بر قلمم موج می‌زند به یادگار خواهد ماند و این باقیات صحاحات چون چراغی فراروی زندگی و آینده‌ام خواهد بود. امیدوارم با توکل به خداوند منان و توسل به اهل بیت عصمت و طهارت در تمامی عرصه‌های زندگیشان موفق و پیروز باشند و به عنوان نیروی خدمتگزار برای تعالی کشور و جوانان و دانشجویان عزیز گام‌های مستحکم و مستمری را بردارند و عاقبت بخیری که آرزوی دیرینه‌ی بنگان است قرین زندگی پر نورشان گردد.

پاسکزاری...

نیز از استادان ارجمندم: جناب آقای دکتر سلیمانی و جناب آقای دکتر دارابی که صبورانه و صادقانه مرا همراهی نمودند تا بتوانم در کمال آرامش و آسایش به تهیه و تنظیم این پایان نامه بپردازم تشکر می نمایم.

زهره پزشکی

تابستان ۱۳۹۷

تعمیرنامه

اینجانب زهرا پزشکی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان نامه با عنوان مدلسازی انرژی به منظور تخمین دمای داخل ساختمان در چارچوب مدلسازی اطلاعات ساخت، تحت راهنمایی جناب آقای دکتر سیدعلی سلیمانی ایوری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات این طرح توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهشگران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این طرح تاکنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی طرح تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از طرح رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این طرح، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این طرح، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده) شده است، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

زهرا پزشکی

۱۳۹۷

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این طرح بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

در زندگی امروزی توجه به صرفه‌جویی انرژی امری لازم و ضروری است. تحقیقات و مطالعات زیادی در این زمینه صورت می‌گیرند تا بتوان مشکلات موجود بر تلفات انرژی را به حداقل ممکن رساند. مدلسازی اطلاعات ساخت (BIM) به عنوان یک مدل هماهنگ قریب به دو دهه است که مورد توجه قرار گرفته است. BIM یک برنامه نرم‌افزاری است که در بخش‌های عمرانی، اطلاعات موردنیاز ساختمان شامل نقشه سه بعدی معماری، نقشه تاسیسات الکتریکی (برقی) و غیره را مجتمع نموده و با هوشمندی که در آن پیش‌بینی شده است می‌تواند پیشنهادها را لازم و زمان و ترتیب اجرا را به مهندس ساختمان ارائه نماید و اگر به دلایلی قسمتی از نقشه در هر موردی تغییر نمود، اشکالات بوجود آمده در مراحل بعدی را گزارش کند. یکی از موضوعاتی که می‌توان برای حل آن از BIM به عنوان یک بانک اطلاعاتی قدرتمند کمک گرفت، موضوعات مربوط به انرژی است. اولین قدم برای حفظ و نگهداری انرژی، پیدا کردن راهی برای صرفه‌جویی در مصرف آن است. در واقع صرفه‌جویی در مصرف انرژی به معنی هزینه‌های کمتر، سوخت کمتر و آلودگی کمتر است. از این رو باید به دنبال زیرساخت‌های موردنیاز برای کاهش استفاده و توزیع بهینه انرژی بود.

این پایان‌نامه می‌خواهد تا با توسعه روش یکی از مقالات (روش گریش و همکاران) و با پیشنهاد طرحی تازه و نوآورانه با استفاده از بهینه‌سازی مصرف انرژی حرارتی و تخمین‌های دمایی به دست آمده از نرم‌افزار مدلسازی انرژی (EM)، بهترین مکان را برای قرارگیری وسایل گرمایشی و سرمایشی پیش‌بینی نماید. در این پژوهش ابتدا کلیه اطلاعات مربوط به یکی از واحدهای پروژه آرمان توس واقع در خیابان نواب صفوی مشهد در جوار ملکوتی حرم مطهر حضرت امام رضا (علیه‌السلام)، از پروژه به دست آمد و در نرم‌افزار BIM مدل شد. سپس پارامترهای کلیدی ساختمان مورد بررسی قرار گرفتند و تمام آنها از نرم‌افزار BIM استخراج گردیدند. در ادامه EM با نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اعتبارسنجی با استفاده از مقایسه نتایج شبیه‌سازی و واقعی انجام شد. جهت بهینه‌سازی از دو روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (GA) و روش تاگوچی استفاده شد و نقاط حساس قرارگیری وسایل سرمایشی تعیین گردیدند. در GA سعی گردید تا با تعریف تابع برازندگی به صورت نزدیک شدن به نقطه آسایش 25°C ، رضایت ساکنین ساختمان به حداکثر برسد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی‌های GA و تاگوچی در نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی وارد و دوباره EM با استفاده از نقاط حساس تعیین شده انجام شد.

از آنجایی که موضوع پیشنهادی این پایان‌نامه جدید و تاکنون هیچ اقدامی جهت تعیین بهترین مکان برای قرارگیری وسایل گرمایشی و سرمایشی مشاهده نشده است، نتیجه حاصل از EM بهینه‌سازی GA با نتیجه حاصل از EM دو تحلیل نسبت سیگنال به نویز (SNR) و تحلیل واریانس (ANOVA) روش تاگوچی و EM

واحد مورد مطالعه مورد مقایسه گرفت. در این مقایسه EM حاصل از بهینه‌سازی GA نتایج بهتری را نسبت به روش تاگوچی و EM واحد مورد مطالعه نشان داد. در بهینه‌سازی به روش GA دو نقطه حساس به دست آمد که یک نقطه پاسخ بهتری را نسبت به نقطه دیگر نشان داد.

کلیدواژه‌ها:

مدلسازی اطلاعات ساخت، انتقال حرارت، توزیع حرارت ساختمان، مدلسازی انرژی ساختمان، بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان

لیست مقالات و آثار مستخرج از طرح پژوهشی

1. Z. Pezeshki, and A. Soleimani, "Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 25, no. 2, pp. 273-312, 2016.
2. Z. Pezeshki, A. Soleimani, and A. Darabi, "3Ds MAX to FEM for Building Thermal Distribution: A Case Study," in *2017 3rd Iranian Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ICSPIS)*, 2017, pp. 110-115. ISBN:978-1-5386-4972-5, <https://doi.org/10.1109/ICSPIS.2017.8311599>.
3. Z. Pezeshki, A. Soleimani, A. Darabi, and S. M. Mazinani, "Thermal Transport in: Building Materials," *Construction and Building Materials*, vol. 181, pp. 238-252, 2018.

توضیح در مورد مقالات:

- در مقاله شماره ۱ مرور کاملی بر روی BIM انجام گرفت جهت معرفی پروپوزال انجام گرفت.
- در مقاله شماره ۲ تحلیل BTM با نرم افزار برای کلیه طبقات ساختمان آزمایش گردید و نرم افزار اعتبارسنجی شد.
- در مقاله شماره ۳ مطالعه ای تحقیقی با بررسی مقالات جهت انتخاب و معرفی پارامترهای کلیدی انجام شد.

فهرست مطالب

فصل ۱.....	۱
مقدمه.....	۱
۱,۱ بیان مسأله.....	۲
۲,۱ مشکلات موجود.....	۳
۳,۱ ضرورت انجام تحقیق.....	۴
۴,۱ راه‌حلهای موجود.....	۷
۵,۱ راه‌حل پیشنهادی.....	۸
۶,۱ ساختار پایان‌نامه.....	۱۱
فصل ۲.....	۱۳
مروری بر کارهای انجام شده.....	۱۳
۱,۲ مقدمه.....	۱۴
۲,۲ مدلسازی انرژی.....	۱۵
۳,۲ بهینه‌سازی انرژی.....	۴۶
۴,۲ تبادل نظر و محدودیتها.....	۵۲
• تبادل نظر.....	۵۲
• محدودیتها.....	۵۴
فصل ۳.....	۵۵
مکانیک حرارت و سیالات و اجزای محدود (تئوری).....	۵۵
۱,۳ مقدمه.....	۵۶
۲,۳ مکانیک حرارت و سیالات.....	۵۶
۱,۲,۳ انتقال حرارت.....	۵۷
۱,۱,۲,۳ رسانش.....	۵۷
الف. مقاومت گرمایی.....	۵۹
۲,۱,۲,۳ تشعشع.....	۶۰
۲,۲,۳ خواص ترموفیزیکی.....	۶۲
۱,۲,۲,۳ خواص ترمودینامیک.....	۶۴
۳,۲,۳ جریان سیالات.....	۶۴
۱,۳,۲,۳ جریانهای تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر.....	۶۵
۲,۳,۲,۳ جریانهای لایه‌ای و آشفته.....	۶۶
۳,۳ روش اجزای محدود.....	۶۸
فصل ۴.....	۷۱
بهینه‌سازی (تئوری).....	۷۱

۷۲	مقدمه	۱,۴
۷۲	الگوریتم ژنتیک	۱,۱,۴
۷۲	ساختار الگوریتم ژنتیک	۱,۱,۱,۴
۷۳	مفاهیم پایه‌ای الگوریتم ژنتیک	۲,۱,۱,۴
۷۴	الف- آمیزش	
۷۴	ب- جهش	
۷۶	ج- نگاشت ژنوتیپ - فنوتیپ	
۷۶	د- برازندگی	
۷۶	ر- انتخاب	
۷۷	ه- پایان	
۷۷	روش تاگوچی	۲,۱,۴
۷۸	انجام آزمایشات و ایجاد جدول پاسخ	۱,۲,۱,۴
۷۹	الف- روش سیگنال به نویز	
۷۹	ب- روش تحلیل واریانس	
۸۰	مقایسه الگوریتم ژنتیک و روش تاگوچی	۳,۱,۴
۸۱	فصل ۵	
۸۱	مدلسازی انرژی	
۸۲	نمونه مورد مطالعه	۱,۵
۸۴	جمع آوری داده‌ها	۲,۵
۸۷	مدلسازی انرژی	۳,۵
۸۹	شبیه‌سازی و تخمین دمای داخل	۱,۳,۵
۹۱	وسایل گرمایشی و سرمایشی غیر فعال	۱,۱,۳,۵
۹۱	الف) وسایل سرمایشی غیر فعال	
۹۲	ب) وسایل گرمایشی غیر فعال	
۹۳	۲,۱,۳,۵) وسایل گرمایشی و سرمایشی فعال	
۹۳	الف) وسایل سرمایشی فعال	
۹۳	ب) وسایل گرمایشی فعال	
۹۴	آزمون اعتبارسنجی	۲,۳,۵
۹۷	فصل ۶	
۹۷	بهینه‌سازی مصرف انرژی	
۹۸	مقدمه	۱,۶
۹۹	الگوریتم ژنتیک	۲,۶
۱۰۴	نتایج بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک	۱,۲,۶
۱۰۵	روش تاگوچی	۳,۶
۱۰۸	الف- روش سیگنال به نویز	

۱۰۹	ب- روش تحلیل واریانس	۱۰۹
۱۰۹	۱,۳,۶ نتایج بهینه سازی به روش تاگوچی	۱۰۹
۱۱۱	فصل ۷	۱۱۱
۱۱۱	نتایج آزمایشها	۱۱۱
۱۱۲	۱,۷ مقدمه	۱۱۲
۱۱۲	۱,۱,۷ نتایج آزمایشها و مقایسه	۱۱۲
۱۱۹	۲,۱,۷ نقاط قوت پایان نامه	۱۱۹
۱۱۹	۳,۱,۷ نقاط ضعف پایان نامه	۱۱۹
۱۲۱	فصل ۸	۱۲۱
۱۲۱	نتیجه گیری و پیشنهاد راهکار آینده	۱۲۱
۱۲۲	۱,۸ نتیجه گیری و پیشنهاد راهکار آینده	۱۲۲
۱۲۵	مراجع	۱۲۵
۱۳۳	پیوستها	۱۳۳
۱۵۷	واژه نامه فارسی به انگلیسی-انگلیسی به فارسی	۱۵۷

فهرست جدولها

- جدول ۱.۱ مزیتها و اشکالات مقالات انجام شده در مرور از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸..... ۹
- جدول ۱.۲ حوزههای مرتبط با شبیه‌سازی انرژی و نرم‌افزار مورد استفاده برای EM..... ۴۵
- جدول ۲.۲ الگوریتم مورد استفاده برای بهینه‌سازی انرژی و نرم‌افزار مورد استفاده شبیه‌سازی برای EM..... ۵۲
- جدول ۳.۲ روشهای جدید ارائه شده برای EM..... ۵۳
- جدول ۱.۴ الگوریتم GA پایه [۱۱۳]..... ۷۳
- جدول ۲.۴ مقایسه مشخصات دو فن بهینه سازی GA و روش تاگوچی [۱۱۸]..... ۸۰
- جدول ۱.۵ مشخصات مصالح ساختمانی واحد ۵۰۲..... ۸۵
- جدول ۲.۵ دماهای محیط اتاق ۱ در ۱۱ شهریور ۱۳۹۶ و ۱۶ بهمن ۱۳۹۵ از ساعت ۶ صبح تا ۵ بعد از ظهر..... ۸۹
- جدول ۳.۵ مقایسه دمای واقعی با دمای نرم‌افزار..... ۹۵
- جدول ۱.۶ شروط تعریف شده برای ۱۲ ساعت BTD..... ۱۰۲
- جدول ۲.۶ نتایج مقدار برانزنگی GA طی ۱۲ ساعت..... ۱۰۲
- جدول ۳.۶ نقاط بهینه به دست آمده از آزمایش..... ۱۰۳
- جدول ۴.۶ نتایج حاصل از بهینه سازی GA..... ۱۰۴
- جدول ۵.۶ پارامترها و سطوح مورد استفاده برای اجرای بهینه‌سازی به روش تاگوچی..... ۱۰۵
- جدول ۶.۶ ۲۵ آزمایش به دست آمده از روش تاگوچی..... ۱۰۶
- جدول ۷.۶ نتایج T_{Min} و T_{Max} حاصل از EM با ۲۵ آزمایش به دست آمده از روش تاگوچی..... ۱۰۷
- جدول ۸.۶ نتایج حاصل از بهینه‌سازی ANOVA و SNR..... ۱۰۹
- جدول ۱.۷ تعداد نقاط به دست آمده در معیار آسایش $۲۴/۹^{\circ}C \leq T \leq ۲۵/۱^{\circ}C$ و $۲۴/۵^{\circ}C \leq T \leq ۲۵/۱^{\circ}C$ ۱۱۵
- جدول ۲.۷ تعداد نقاط به دست آمده در معیار آسایش $۲۴/۹^{\circ}C \leq T \leq ۲۵/۵^{\circ}C$ و $۲۴/۵^{\circ}C \leq T \leq ۲۵/۵^{\circ}C$ ۱۱۶
- جدول ۳.۷ مقایسه درصد خطای روشهای بهینه‌سازی..... ۱۱۸

فهرست شکلها

- شکل ۱.۱ ادغام و همکاری BIM با حوزه‌های مختلف کاری انرژی..... ۴
- شکل ۲.۱ طرح گریش و همکاران؛ فرایند تبادل اطلاعات از BIM به BEM [۲۴]..... ۶
- شکل ۳.۱ روش پیشنهادی تحقیق: توسعه و اجرای طرح گریش و همکاران [۲۴]..... ۸
- شکل ۴.۱ انواع روشهای عددی و توانایی نرم‌افزار COMSOL..... ۱۰
- شکل ۱.۲ مراحل انجام تحلیل پارامتری مصرف انرژی ساختمان [۷۹]..... ۱۷
- شکل ۲.۲ چارچوب سیستم BEMR [۴۱]..... ۲۱
- شکل ۳.۲ ساختار کلی مدل BES [۹۶]..... ۲۸
- شکل ۴.۲ طرح استقرار محلی راهحل پیشنهادی بوت‌آچیولی و همکاران [۳]..... ۲۹
- شکل ۵.۲ بررسی جریان کار طراحی انرژی راه‌حل مؤسسه اقلیم اقیانوس آرام (PICS) [۳۳]..... ۳۰
- شکل ۶.۲ بررسی جریان کار فرایند ادغام داده‌ها [۳۳]..... ۳۱
- شکل ۷.۲ مؤلفه‌های کلیدی، جریان داده‌ها و موارد استفاده نرم‌افزار CityBES [۵۶]..... ۳۴
- شکل ۸.۲ فضاهای رنگی ساختمان از نوع کف و با تقسیمات ناحیه حرارتی [۶۶]..... ۳۹
- شکل ۹.۲ تصویر هوایی از بلوکه نمونه (الف)؛ پلان با طبقه‌بندی ساختمانها بسته به مدت مقررات فنی و درجه‌بندی فهرست شده میراث (ب) [۹۸]..... ۴۲
- شکل ۱۰.۲ جریان کار روش پیشنهادی ناگپال و همکاران. یک مدل جایگزین آموزش دیده با تنظیم نتایج شبیه‌سازی دقیق مدل انرژی با الگوریتم بهینه‌سازی برای تعیین [۶۹]..... ۵۲
- شکل ۱۱.۲ تعداد کارهای انجام شده بر روی BEM در حوزه‌های مختلف انرژی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸..... ۵۳
- شکل ۱.۳ تعیین ضریب انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت کلی [۱۰۵]..... ۵۸
- شکل ۲.۳ انتقال حرارت یک دیوار چندلایه [۱۰۵]..... ۵۹
- شکل ۳.۳ تشعشع گرمایی بین چند سطح خاکستری با اندازه‌های برابر از طریق یک دیوار چندلایه..... ۶۱
- شکل ۴.۳ شمایی از تبادل گرمایی [۱۰۵]..... ۶۲
- شکل ۵.۳ موقعیت شار گرمایی در فضای سه‌بعدی [۱۰۸]..... ۶۳
- شکل ۶.۳ نحوه انتقال حرارت رسانشی در فضای سه‌بعدی با قانون اول ترمودینامیک [۱۰۸]..... ۶۴
- شکل ۷.۳ نمایی از اتاقهای واحد مورد مطالعه و محل قرارگیری فن کوئلها و رادیاتورها در اتاقها از بالا..... ۶۵
- شکل ۸.۳ جریانهای ادی محلی اتاق ۱، (الف) وقتی رادیاتور روشن است، جریان لایه‌ای است و (ب) وقتی فن کوئل روشن است، جریان لایه‌ای به جریان آشفته تبدیل می‌شود..... ۶۷
- شکل ۹.۳ اجرای جریانهای لایه‌ای و آشفته اتاق ۱ در نرم‌افزار EM (فلشهای قرمز رنگ در شکل)، (الف) جریان آشفته (برای فن کوئل) و (ب) جریان لایه‌ای (برای رادیاتور)..... ۶۷
- شکل ۱۰.۳ تبدیل ساختار پیوسته به مدل FE [۱۰۸]..... ۶۸
- شکل ۴.۴ نمودار روش بهینه‌سازی تاگوچی [۱۲۰]..... ۷۴
- شکل ۱.۴ چرخه آغاز، آمیزش، جهش، محاسبه برازندگی، انتخاب و پایان GA [۱۱۳]..... ۷۳
- شکل ۲.۴ نمایشی از آمیزش تک‌موضعی که ژنوم را به موضع دلخواه (در اینجا از وسط) تقسیم و دوباره آنها را برای ایجاد دو راه‌حل تازه با هم جمع می‌کند [۱۱۳]..... ۷۴

شکل ۳.۴ توزیع گوسی اساس عملگر جهش گوسی است و به هر بخش از کروموزوم نويز اضافه می‌کند [۱۱۳].	۷۵
شکل ۴.۴ نمودار روش بهینه‌سازی تاگوچی [۱۲۰].	۷۸
شکل ۵.۱ نقشه طبقه پنجم و نمایی از واحد ۵۰۲ در دو نرم‌افزار AutoCAD (سمت راست) و Autodesk REVIT (سمت چپ).	۸۲
شکل ۵.۲ ساختمان هتل ستاره آرمان توس؛ نمایش بخش مسکونی و طبقه پنجم آن.	۸۲
شکل ۵.۳ الف) نمایی از هندسه ساختمان واحد ۵۰۲ که در REVIT کشیده شده است و ب) تعداد دیوارها و پنجره‌های واحد مذکور.	۸۴
شکل ۵.۴ توسعه و اجرای طرح گریش و همکاران [۲۴]: بُردن اطلاعات به BIM، تعریف، جمع‌آوری و مستندسازی اطلاعات برای BEM.	۸۷
شکل ۵.۵ مدل ساده‌سازی شده ناحیه حرارتی اتاق ۱ در نرم‌افزار EM.	۸۸
شکل ۵.۶ توسعه و اجرای طرح گریش و همکاران [۲۴]: جمع‌آوری، تحلیل و تعیین اطلاعات اولیه، بُردن اطلاعات به BIM، تعریف، جمع‌آوری و مستندسازی اطلاعات برای BEM.	۸۹
شکل ۵.۷ مراحل انجام تحلیل پارامتری مصرف انرژی حرارتی ساختمان این مطالعه.	۹۰
شکل ۵.۸ نمودار تغییرات دمای اتاق ۱ در تابستان از ساعت ۶ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر بدون فعال بودن فن کوئل.	۹۲
شکل ۵.۹ نمودار تغییرات دمای اتاق در زمستان از ساعت ۶ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر بدون فعال بودن رادیاتور.	۹۲
شکل ۵.۱۰ نمودار تغییرات دمای اتاق در تابستان با تغییر سرعت باد فن کوئل در گرمترین شرایط محیط.	۹۳
شکل ۵.۱۱ نمودار تغییرات دمای اتاق در زمستان با تغییر دمای رادیاتور در سردترین شرایط محیط.	۹۴
شکل ۵.۱۲ نمایی از واحدهای ۵۰۲ و ۵۱۲؛ سمت راست: هال و پذیرایی (نشیمن)، وسط: اتاق خواب و سمت چپ: نقشه CAD واحد؛ الف) بالایی واحد ۵۰۲، ب) پایینی واحد ۵۱۲، ج) دماسنج مستک برای اندازه‌گیری دما و د) دمای به دست آمده از نرم‌افزار.	۹۵
شکل ۶.۱ محل قرارگیری فن کوئل بر روی دیوار.	۱۰۰
شکل ۶.۲ روش اول پیدا کردن بهترین نقطه قرارگیری وسایل سرمایشی با GA.	۱۰۰
شکل ۶.۳ مازول بهینه‌سازی پیشنهادی نویسنده.	۱۰۱
شکل ۶.۴ اجرای GA، رسیدن به همگرایی و توقف پس از ۱۱۲ نسل ایجاد شده برای ساعت ۶.	۱۰۳
شکل ۶.۵ جریان کار روش پیشنهادی بهینه‌سازی GA نویسنده.	۱۰۴
شکل ۶.۶ EM حاصل از بهینه‌سازی با دو موقعیت جدید قرارگیری فن کوئل.	۱۰۵
شکل ۶.۷ تعریف پارامترهای تاگوچی با مختصاتهای X، Y و Z. EM در بیشترین دمای محیط (۲۹°C) و با کمترین سرعت فن کوئل).	۱۰۵
شکل ۶.۸ نتایج بهینه‌سازی SNR.	۱۰۸
شکل ۶.۹ نتایج بهینه‌سازی ANOVA.	۱۰۹
شکل ۶.۱۰ EM حاصل از بهینه‌سازی با موقعیت جدید قرارگیری فن کوئل.	۱۱۰
شکل ۶.۱۱ برش مقاطع طولی دمای اتاق.	۱۱۲

- شکل ۲.۷ برش مقاطع طولی دما برای حالت بهینه‌سازی GA-opt ۱۱۳
- شکل ۳.۷ برش مقاطع طولی دما برای حالت بهینه‌سازی GA1-opt ۱۱۳
- شکل ۴.۷ برش مقاطع طولی دما برای حالت بهینه‌سازی تاگوچی ۱۱۳
- شکل ۵.۷ برش مقاطع عرضی دما: الف) اتاق و ب) بهینه‌سازی تاگوچی ۱۱۴
- شکل ۶.۷ برش مقاطع عرضی دما: الف) بهینه‌سازی GA-opt و ب) بهینه‌سازی GA1-opt ۱۱۴
- شکل ۷.۷ مقایسهٔ روشها با هم و با اتاق در معیار آسایش $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$ ۱۱۵
- شکل ۸.۷ مقایسهٔ روشها با هم و با اتاق در معیار آسایش $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$ ۱۱۶
- شکل ۹.۷ مقایسهٔ روشها با هم در معیار آسایش $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$ ۱۱۷
- شکل ۱۰.۷ مقایسهٔ روشها با هم در معیار آسایش $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$ ۱۱۷
- شکل ۱۱.۷ مقایسهٔ درصد خطای روشهای بهینه‌سازی ۱۱۸

فصل ۱

مقدمه

۱.۱ بیان مسأله

در زندگی امروزی توجه به صرفه‌جویی انرژی امری لازم و ضروری است. تحقیقات و مطالعات زیادی در این زمینه صورت می‌گیرد تا بتوان مشکلات موجود در تلفات انرژی را به حداقل ممکن رساند. یکی از مواردی که باعث اتلاف وقت و در نهایت انرژی می‌گردد دوباره و چندباره‌کاریهایی است که در صنعت ساخت و ساز ساختمان پیش می‌آید. معماران پروژه، مدل‌های خود را به روش سه‌بعدی^۱ (3ds MAX) و برنامه‌های طراحی به کمک کامپیوتر^۲ (CAD) ارائه می‌نمایند و دیگر مهندسين نیز برای شبیه‌سازی چندگانه از نرم‌افزارهای مکانیک، برق و لوله‌کشی^۳ (MEP) برای طراحیهای خود استفاده می‌نمایند. مدلسازی اطلاعات ساخت^۴ (BIM) به عنوان یک مدل هماهنگ قریب به دو دهه [۱] است که مورد توجه قرار گرفته است. BIM یک برنامه نرم‌افزاری است که در بخشهای عمرانی، اطلاعات موردنیاز ساختمان شامل نقشه سه‌بعدی معماری، نقشه تأسیسات الکتریکی (برقی) و ... را مجتمع نموده و با هوشمندی که در آن پیش‌بینی شده است می‌تواند پیشنهادهای لازم و زمان و ترتیب اجرا را به مهندس ساختمان ارائه نماید و اگر به دلایلی قسمتی از نقشه در هر موردی تغییر نمود، اشکالات بوجود آمده در مراحل بعدی را گزارش کند. وجود این نرم‌افزار، اشکالات پیاده‌سازی و عدم دسترسی به مصالح موردنیاز را در زمان اجرا به حداقل می‌رساند. لازم به ذکر است علاوه بر نقشه‌ها، اطلاعات ویژه در محدوده وسیعی از عناصر و سیستمهای ساختمانی به عنوان مثال، ساخت و ساز دیوارها، ویژگیهای مصالح، نواحی و فضاهای حرارتی، سیستمهای گرمادهی، تهویه و خنک‌کردن هوا، اطلاعات جغرافیایی، بارگذاریها و غیره که در این تحقیق به آنها پرداخته می‌شود، توسط نرم‌افزار دریافت می‌گردد [۲]. اکنون این ایده در موارد دیگری چون محیطهای آموزشی، پزشکی، اقتصاد، برق و الکترونیک، کنترل ترافیک، پردازش تصویر و استخراج ویژگی، تولید و مدلسازی سیستم، پیش‌بینی و پیشگویی، پیشرفتهای علمی و علوم اجتماعی نفوذ کرده و کاربردی شده است [۱]. اطلاعات به دست آمده با استفاده از BIM می‌تواند

¹ Three Dimension Studio Modeling, Animation & Rendering Software/Autodesk

² Computer-aided design

³ Mechanical-Electrical and Plumbing

⁴ Building Information Modeling

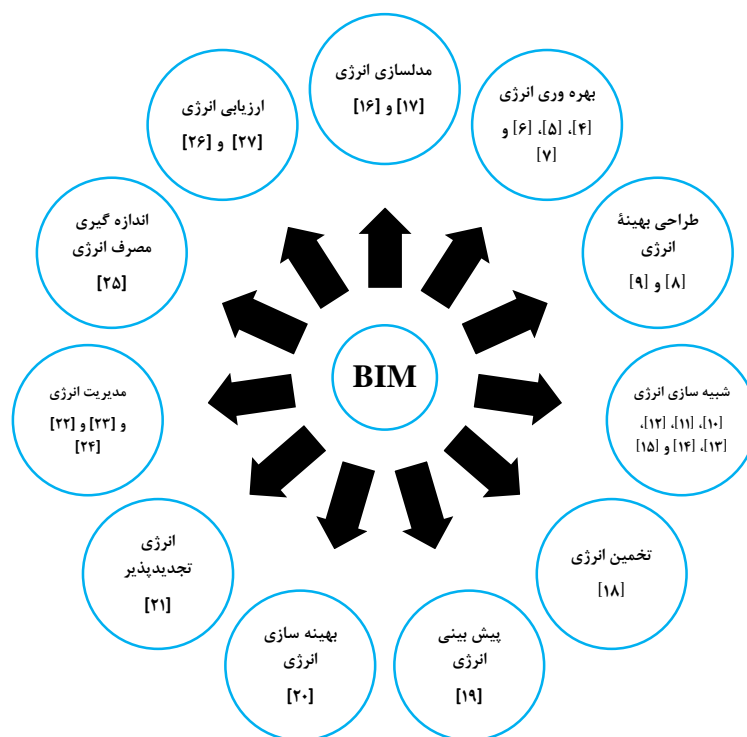
در بین تمام گروه‌هایی که بر روی پروژه ساخت کار می‌کنند، مبادله شود و اطلاعات تکراری ساختمان نیز کاهش یابد. لذا با این روش زمان اجرای پروژه ساخت ساختمان کاهش می‌یابد.

۲.۱ مشکلات موجود

امروزه عدم استفاده از یکپارچه‌سازی اطلاعات یکی از بزرگترین چالشهای صنعت در گروه‌های همکار پروژه به شمار می‌رود. در یک پروژه واقعی ساختمانی، ساختار اصلی این پروژه را مشتری، مدیر پروژه، معمار، مهندس شهرساز، مهندس سازه، مهندس مکانیک و مهندس برق تشکیل می‌دهند. در دنیای کنونی سازمانها باید از مدلی هماهنگ و ساختاریافته در کارهای جمعی خود استفاده نمایند که BIM این مشکل را رفع نموده است [۱].

یکی از موضوعاتی که می‌توان برای حل آن از BIM به عنوان یک بانک اطلاعاتی قدرتمند کمک گرفت، موضوعات مربوط به انرژی است. باید اذعان داشت که انرژی منبع محدودی است و زندگی بدون آن امکان‌پذیر نیست. لذا باید در حفظ و نگهداری آن کوشا بود. اولین قدم برای حفظ و نگهداری انرژی، پیدا کردن راهی برای صرفه‌جویی در مصرف آن است. در واقع صرفه‌جویی در مصرف انرژی به معنی هزینه‌های کمتر، سوخت کمتر و آلودگی کمتر است. از این رو باید به دنبال زیرساختهای موردنیاز برای کاهش استفاده و توزیع بهینه انرژی بود. امروزه مدلسازی انرژی ساختمان^۱ (BEM) و نظارت یکی از مهمترین موضوعات چالشی شهرهای هوشمند به شمار می‌روند و BIM به عنوان یک منبع اطلاعاتی، اطلاعات مناسب و سودمندی از ساختمانها را در اختیار دارد [۳]. به این دلیل که موضوع انرژی در BIM از اهمیت بالایی برخوردار است، بنا به [۱] کارهای متعددی از جمله: بهره‌وری انرژی [۴]، [۵]، [۶] و [۷]، طراحی بهینه انرژی [۸] و [۹]، شبیه‌سازی انرژی [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]، [۱۴] و [۱۵] و ... با آن انجام گرفته‌اند (شکل ۱.۱). در این پایان‌نامه از BIM به عنوان یک بانک اطلاعاتی کامل برای مدلسازی انرژی ساختمان استفاده شده است.

^۱ Building Energy Modeling



شکل ۱.۱ ادغام و همکاری BIM با حوزه‌های مختلف کاری انرژی.

۳.۱ ضرورت انجام تحقیق

در سال ۲۰۱۳ کیم و اندرسون [۱۶] به توسعه مدلسازی انرژی^۱ (EM) با استفاده از معیارهای BIM پرداختند. هدف آنها توسعه روشی جدید با تخمینهای سریع انرژی و بهبود همکاری بین موتور شبیه‌ساز و نرم‌افزار BIM بود. در روش پیشنهادی این مقاله، اطلاعات استخراج شده از مدل BIM در فایلی گردآوری و در برنامه شبیه‌ساز انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مقاله نشان می‌دهد که می‌توان بین شبیه‌ساز انرژی و مدل‌های BIM ارتباط سریع و کم‌هزینه‌ای برقرار نمود. در سال ۲۰۱۵، لونس و همکاران [۱۷] به تشریح قابلیت‌ها و محدودیت‌های EM در قالب یک برنامه آموزشی می‌پردازند. این آموزش بر روی یک خانه با تغییر مکان پنجره، عایق و جداره پنجره و ... متمرکز می‌باشد. دانشجویان پس از آموزش و یادگیری می‌توانند تجزیه و تحلیل EM را برای مکان‌های دیگر انجام دهند. بدین وسیله دانشجویان به تفسیر جزئی نتایج EM می‌پردازند. در مجموع، یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان می‌دهند که اجرای این برنامه آموزشی می‌تواند اعتماد به نفس دانشجویان را در تصمیم‌گیری‌های تحویل

¹ Energy Modeling

ساخت و ساز بهبود ببخشد. همچنین در سال ۲۰۱۵، پرادا هرناوندز و همکاران [۲۸] اطلاعات BIM را به یکی از نرم‌افزارهای EM با نام eQuest وارد کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که امکان ورود مدل‌های هندسی به صورت نقشه‌های طراحی شده ساختمان از نرم‌افزارهای BIM به eQuest وجود ندارد. در سال ۲۰۱۶ جون و هام [۲۹] برای دستیابی به شرایط حرارتی مناسبتر از محاسبات مقاومت حرارتی نرم‌افزار BIM برای EM در نرم‌افزار DOE استفاده کردند. آنها دریافتند که این محاسبات، بروز خطا را در شبیه‌سازیهای انرژی کاهش می‌دهند و از دقت بیشتری برخوردارند. همینطور در این سال، [۳۰] و [۳۱] به ترتیب از مدل‌های BIM در نرم‌افزارهای EnergyPlus و eQuest برای EM استفاده کردند و بهره‌وری و سرعت شبیه‌سازی انرژی را افزایش دادند. در سال ۲۰۱۶، نویسندگان [۳۲] روش تازه‌ای به نام مدل رگرسیون عملکرد انرژی شکل^۱ (FEPRM) را معرفی کردند که این روش با تغییر مدل‌های BIM قادر به اندازه‌گیری زمان واقعی EM در نرم‌افزار DOE بود. در سال ۲۰۱۷، گریش و همکاران [۲۴] طرحی تازه را برای استفاده از تواناییهای BIM در بهبود EM در دو نرم‌افزار IES-VE و EnergyPlus پیشنهاد دادند (شکل ۲.۱). آنها معتقدند که BIM می‌تواند منبع اطلاعاتی قطعی برای کلیه اعضای تیم پروژه باشد. در سال ۲۰۱۷، بوتاجیولی و همکاران [۳] روشی تازه را برای شبیه‌سازی و مدیریت رفتارهای انرژی ارائه کردند. آنها با استفاده از ادغام نرم‌افزارهای BIM، سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) و اینترنت وسایل^۳ (IoT) با داده‌های آب و هوا جهت EM به مشاهده دقیق مصرف انرژی در نرم‌افزار EnergyPlus پرداختند. آنها نتیجه‌گیری کردند که ادغام این نرم‌افزارها با داده‌های آب و هوا می‌تواند به دقت شبیه‌سازی بیفزاید. همینطور در همین سال بای و همکاران [۳۳] دریافتند که برای دستیابی به طراحی بهینه انرژی در شهرها باید به ادغام سیستم‌های اطلاعات ساختمان در مقیاس شهری و فردی مبتنی بر GIS و BIM پرداخت. شی و ابراین [۳۴] روشی تازه برای کاهش تعداد نواحی حرارتی در یک EM با استفاده از فن خوشه‌بندی تجزیه و تحلیل اجزای اصلی^۴ (PCA)

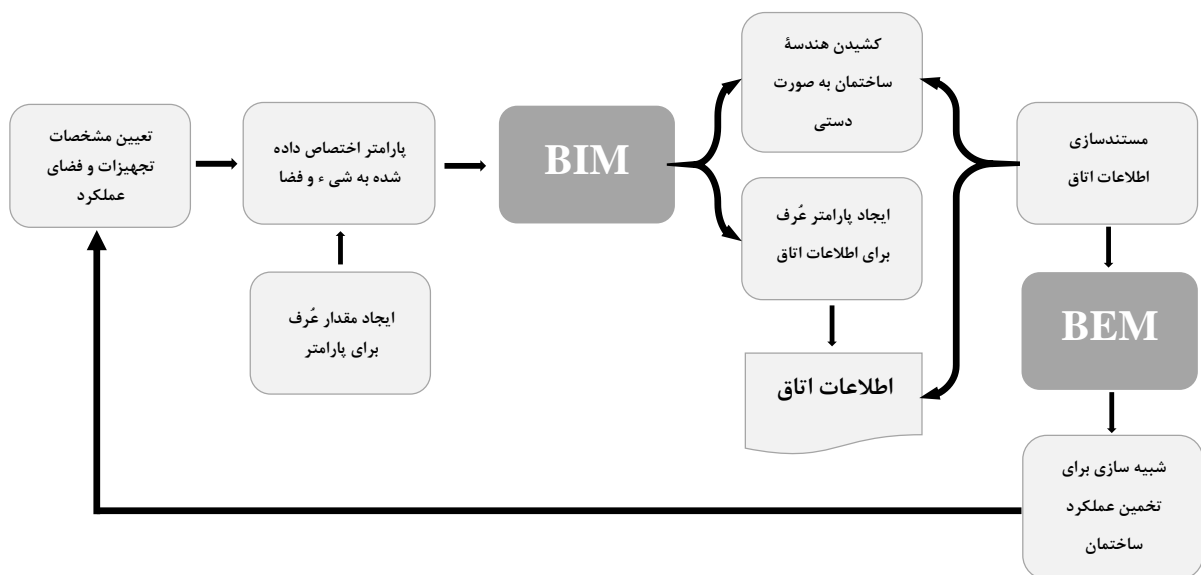
¹ Form-based Energy Performance Regression Model

² Geographic Information System

³ Internet of Things

⁴ Principal Component Analysis

برای تخمین انرژی سالیانه را پیشنهاد دادند. در این پژوهش یک آزمایش با استفاده از مدل به دست آمده از BIM در EnergyPlus انجام گرفت. جهت خودکارسازی فرایند، یک کتابخانه در Python نوشته شد تا فایل‌های BIM را بخواند و آموزش شبیه‌سازی را انجام دهد و پس از آموزش، مدل کاهش یافت و دوباره فایل BIM تولید گردید. در سال ۲۰۱۸، آندریامونجی و همکاران [۳۵] به مقایسه کتابخانه Modelica و BIM پرداختند. آنها پس از این مقایسه دریافتند که کتابخانه Modelica محدودیتهای زیادی برای مدلسازی انرژی دارد و از BIM برای خودکارسازی ایجاد مدل‌های ساختمان برای BEM استفاده کردند. آنها برای این کار از برنامه‌نویسی Python استفاده نموده و روش خود را شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان (BEPS) نام نهادند. در همین سال کامل و معماری [۳۶] ابزار پیشرفته‌ای به نام ابزار مدلسازی و ارزیابی خودکار BEM^۲ (ABEMAT) که به شبیه‌سازی خودکار انرژی ساختمان با استفاده از BIM و تغییر کد منبع ابزارهای شبیه‌سازی انرژی مثل EnergyPlus و OpenStudio می‌پردازد را معرفی نمودند. در این تحقیق ABEMAT به نتایج خیلی خوبی دست یافت.



شکل ۲.۱ طرح‌گریش و همکاران؛ فرایند تبادل اطلاعات از BIM به BEM [۲۴].

¹ Building Energy Performance Simulation

² Automated Building Energy Modeling and Assessment Tool

با توجه به مرور مقالات فوق، به اعتقاد نویسنده این پایان‌نامه این مدلسازیهای انرژی به غیر از روش گریش و همکاران [۲۴] راه‌حلی جهت کارامدی هزینه‌ها، بهره‌وری چرخه حیات پروژه و بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه نداده‌اند و نمی‌توانند به عنوان یک راه‌حل اجرایی در صدور پروانه ساختمان دیده شوند. این پایان‌نامه می‌خواهد تا با توسعه و اجرای روش گریش و همکاران و با افزودن بلوک بهینه‌سازی مصرف انرژی حرارتی به این طرح با استفاده از تخمینهای دمایی به دست آمده از EM، بهترین مکان را برای قرارگیری وسایل گرمایشی و سرمایشی در بدترین شرایط و با استفاده از استفاده بهینه از این وسایل پیش‌بینی نموده و رضایت ساکنین ساختمان را به حداکثر برساند.

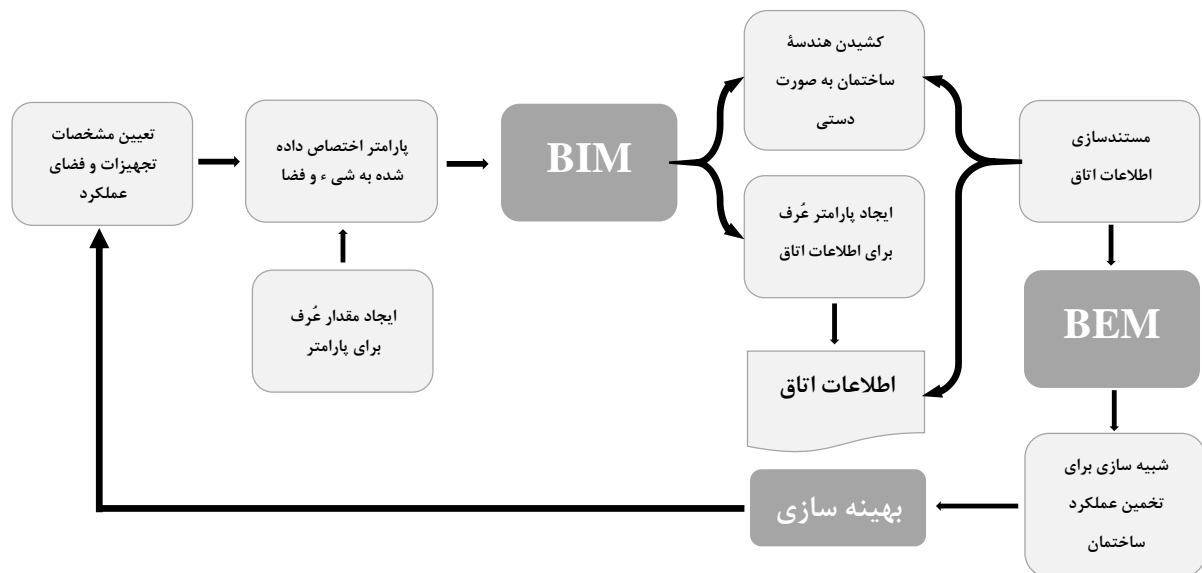
۴.۱ راه‌حلهای موجود

برای EM در ساختمانها از برنامه‌های شبیه‌سازی مثل EnergyPlus [۳۱]، [۳۳ تا ۳۴]، [۳۶ تا ۴۴]، [۲۴]، [۴۵ تا ۶۵]، [۳] و [۶۶ تا ۷۲]، ESP-r [۷۳]، TRNSYS [۶۳] و [۷۴ تا ۷۶]، eQuest [۲۸]، [۳۱]، [۳۶]، [۵۲] و [۷۷ تا ۷۸]، DOE [۲۹]، [۳۲]، [۵۰] و [۵۲] و [۷۹]، IES-VE [۲۴] و [۸۰]، Dymola [۸۱] و ... استفاده می‌شود. طبق مروری که در فصل دوم توسط نویسنده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ بر روی EM برای این پایان‌نامه انجام گرفت، بیشتر کارها با EnergyPlus انجام شده‌اند. در این برنامه‌ها خیلی کم از BIM به عنوان یک بانک اطلاعاتی جهت ورود اطلاعات دقیق استفاده گردیده است که طبق بررسی سال ۲۰۱۷ [۱۰۳] از مهمترین دلایل آن: ۱- آموزش کم BIM و ۲- تمایل خیلی کم مالکین به استفاده از BIM به خاطر محاسبه دقیق هزینه‌های ساخت و ساز است. مالکین فکر می‌کنند که BIM بر هزینه‌های ساخت و ساز می‌افزاید، در صورتی که برعکس، استفاده از BIM از هزینه‌های ساخت و ساز می‌کاهد. همینطور طبق مرور انجام شده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ در فصل دوم، مدلسازیهای انرژی انجام شده با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی فوق خیلی کم به موضوع بهینه‌سازی^۱ مصرف انرژی در ساختمان که هدف پایان‌نامه حاضر است، پرداخته‌اند [۴۳]، [۴۷]، [۶۷ تا ۶۹]، [۷۸] و [۸۲].

^۱ optimization

۵.۱ راه حل پیشنهادی

پژوهش حاضر سعی دارد تا با توسعه و اجرای طرح گرایش و همکاران [۲۴] به تخمین و بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی ساختمان به منظور آسایش حرارتی^۱ در جهت بهره‌وری انرژی بپردازد (شکل ۳.۱).



شکل ۳.۱ روش پیشنهادی تحقیق: توسعه و اجرای طرح گرایش و همکاران [۲۴].

در مرور انجام شده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ هفت مقاله [۴۷]، [۴۳]، [۶۷]، [۶۸]، [۶۹]، [۷۸] و [۸۲] به موضوع بهینه سازی مصرف انرژی انرژی و یک مقاله [۸۳] به موضوع تخمین انرژی پرداخته اند. به مزیتها و اشکالات این مقالات در جدول ۱.۱ اشاره شده است. همانطوریکه ملاحظه می کنید هیچکدام از مقالات موضوع پیشنهادی این پایان نامه را دنبال ننموده‌اند. در ادامه در خصوص نحوه انجام و اجرای این پژوهش صحبت می شود.

¹ thermal comfort

جدول ۱.۱ مزیتها و اشکالات مقالات انجام شده در مرور از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸.

مقاله	مزیت	اشکال
سالاکبیج و همکاران [۴۷]	کاهش مصرف انرژی	عدم تغییر آسایش.
هانگ و همکاران [۴۳]	مقایسه مصرف انرژی	فقط مقایسه انجام شده است.
لارا و همکاران [۶۷]	مقایسه مصرف انرژی	فقط به دنبال اعتبارسنجی با تعداد داده های کمتر بوده است.
بنی هاشمی و همکاران [۶۸]	تخمین انرژی	فقط به دنبال مقایسه و اعتبارسنجی نتایج با داده های واقعی بوده است.
ناگیال و همکاران [۶۹]	تخمین انرژی	فقط به دنبال تخمین دقیق و مقایسه با استفاده از پارامترهای مجهول بوده است.
جعفری و ولنتین [۷۸]	بهره وری انرژی	روشی برای کاهش هزینه ها ارائه شده که به حفظ آسایش ساکنین توجهی ندارد.
آریدا و همکاران [۸۲]	پیش بینی مصرف انرژی	فقط به دنبال مقایسه و اعتبارسنجی نتایج با داده های واقعی بوده است.
حمید و همکاران [۸۳]	توجه به موضوع آسایش حرارتی	به دنبال بهینه سازی مصرف انرژی نبوده و تنها به دنبال تحلیل و تخمین انرژی و مقایسه با داده های واقعی بوده است.

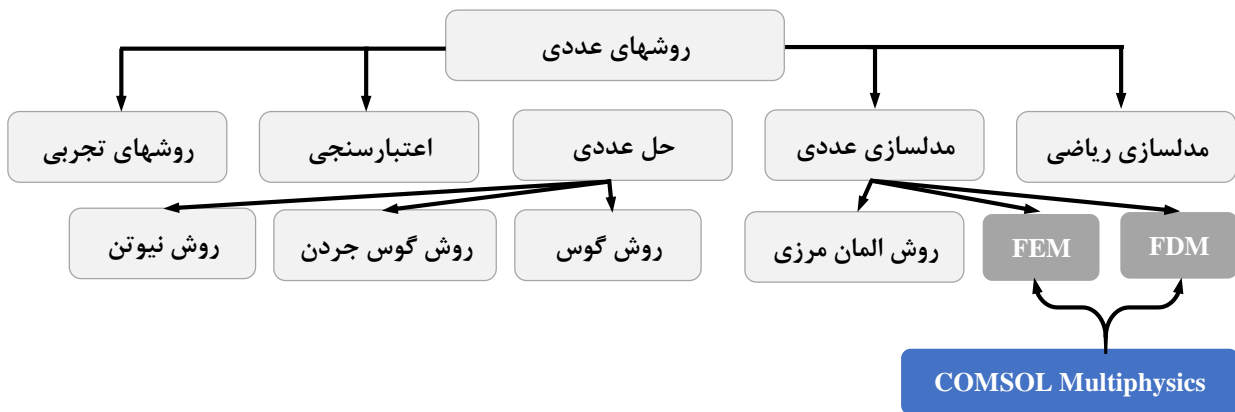
در این پژوهش ابتدا نقشه CAD پروژه و کلیه اطلاعات مربوط به آن که در فصل پنجم به آن اشاره خواهد شد توسط نویسنده از تیم مدیریت پروژه دریافت شده است. بعد نقشه CAD به یکی از نرم-افزارهای قدرتمند BIM با نام Autodesk REVIT وارد و فضای ساختمان با استفاده از اطلاعات پروژه در آن مدل می شود. سپس با استفاده از بانک اطلاعاتی قدرتمند نرم افزار BIM خصوصیات حرارتی و فیزیکی (خصوصیات توزیع حرارت) مربوط به هر یک از اجزای این مدل اعم از درها، پنجره ها، دیوارها، کف و سقف به این اجزا تخصیص داده می شوند. برای انجام EM باید به دنبال روشهای عددی (شکل ۴.۱) رفت. از جمله روشهای عددی، روشهای مدل سازی عددی را می توان نام برد که روشهای اجزای محدود^۲ (FEM) و تفاضل محدود^۳ (FDM) آن برای توزیع و کاربردهای حرارتی به میزان زیادی مورد استفاده قرار می گیرند [۸۴ تا ۹۳]. از نرم افزارهای مدل سازی انرژی که در مقالات مورد استفاده قرار

¹ thermal distribution

² Finite Element Method

³ Finite difference Method

گرفته‌اند و در قسمت ۴.۱ به آنها اشاره شد، EnergyPlus، ESP-r، eQusest، IES-VE و Dymola از دسته نرم‌افزارهای مدل‌سازی عددی به شمار می‌روند که مدل‌سازی انرژی را با FDM انجام می‌دهند. در این پایان‌نامه مدل‌سازی انرژی ساختمان مدنظر به کمک روشهای عددی و با کمک نرم‌افزار قدرتمند شبیه‌سازی COMSOL Multiphysics انجام می‌شود و تخمینهای دما که در فصل ۵ به آن اشاره شده است، در تابستان و زمستان به دست می‌آیند. این نرم‌افزار، مدل‌سازی عددی را با هر دو روش FEM و FDM انجام می‌دهد (شکل ۴.۱) و با توجه به مطالعه‌ای که در خصوص این پایان‌نامه و با استفاده از نقشه‌های 3ds MAX پروژه انجام گردید، نسبت به نرم‌افزارهای فوق و سایر نرم‌افزارهایی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند (از قبیل Abaqus و Carrier) برتری دارد [۹۴].



شکل ۴.۱ انواع روشهای عددی و توانایی نرم‌افزار COMSOL.

در این پایان‌نامه قرار است EM، برای بهینه‌سازی مصرف انرژی با تعیین بهترین مکان قرارگیری وسایل سرمایشی و گرمایشی جهت دستیابی به بهره‌وری انرژی و آسایش حرارتی انجام گیرد. جهت بهینه‌سازی از دو روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک^۱ (GA) و روش تاگوچی^۲ استفاده و نقاط حساس تعیین می‌گردند (فصل ۶). سپس نتایج حاصل از این دو بهینه‌سازی در نرم‌افزار COMSOL وارد می‌شوند و دوباره EM به دست می‌آید. در آخر نتیجه حاصل از EM بهینه‌سازی GA با نتایج حاصل از EM دو تحلیل نسبت سیگنال به نویز^۳ (SNR) و تحلیل واریانس^۴ (ANOVA) روش تاگوچی مقایسه می‌شود.

^۱ Genetic algorithm

^۲ Taguchi method

^۳ Signal-to- Noise Ratio

^۴ Analysis of Variance

۶.۱ ساختار پایان نامه

در این پایان نامه فصل ۲ به مروری بر کارهای انجام شده، فصل ۳ به تئوری مکانیک سیالات و اجزای محدود، فصل ۴ به تئوری بهینه سازی با دو روش GA و تاگوچی، فصل ۵ به شرح مدل سازی انرژی، فصل ۶ به شرح بهینه سازی انرژی و فصل ۷ به نتایج آزمایشها و مقایسه می پردازند. فصل ۸ نیز نتیجه گیری کلی و پیشنهاد راهکار آینده را ارائه می دهد.

فصل ۲

مروری بر کارهای انجام شده

بخش ساختمان بزرگترین مصرف کننده انرژی محسوب می‌شود و از این رو در حین توجه به آسایش و عملی بودن ساخت و ساز باید اقداماتی نیز در جهت کاهش مصرف انرژی صورت بگیرند. شبیه‌سازی انرژی ساختمان به معنی استفاده از یک نرم‌افزار برای پیش‌بینی مصرف انرژی یک ساختمان است. نرم‌افزار شبیه‌سازی از امکان تعریف پارامترهای کلیدی برای قسمت‌ها و اجزای مختلف یک ساختمان برخوردار است. این شبیه‌سازی باید متکی بر نمایشهای مجازی مثلاً مدل یک ساختمان و مدل‌های در تعامل با متغیرهای انرژی مثلاً شبیه‌سازیهای انرژی باشد.

برای انجام یک مطالعه دقیق لازم است که مدل‌های انرژی ساختمان توسعه پیدا کنند تا شبیه‌سازیها دقیقتر گردند. EM به معنی شبیه‌سازی مدل‌های انرژی با یک نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی است. این نرم‌افزار شبیه‌سازی بر حسب نیاز در یک ساختمان قادر به پیش‌بینی مصرف انرژی ماهیانه، هزینه‌های انرژی سالیانه، انتشار کربن سالیانه، مقایسه گزینه‌های بهره‌وری مختلف و تعیین بازخورد از این گزینه‌ها برای صرفه‌جویی انرژی است. مهمترین داده‌های مورد نیاز برای مطالعه موردی EM یک ساختمان: (۱) هندسه ساختمان، (۲) خصوصیات ساختمان، (۳) مصرف انرژی اندازه‌گیری شده و (۴) داده‌های آب و هوا هستند [۳۲] و [۴۲] و [۴۸] و [۷۴] و [۸۳].

عملکرد انرژی ساختمان تحت تأثیر عوامل پیچیده‌ای از جمله مشخصات بهره‌وری، خصوصیات بهره‌ حرارتی، مدیریت انرژی و غیره قرار دارد. این عملکرد اساساً به دنبال بهره‌وری مصرف انرژی است تا به سطح آسایش ساکنین ساختمان با حداقل میزان تلفات نزدیک شود. از طرفی نیاز انرژی ساختمانها به شدت به آب و هوای محلی و شرایط ساخت و ساز (از قبیل پوسته خارجی ساختمان، نسبت نمای با شیشه و بدون شیشه و جهت) وابسته است. لذا به خاطر افزایش تأکید بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی عملکرد انرژی برای دستیابی به بهره‌وری و آسایش نیز اغلب با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی انجام می‌گیرد [۳۸] و [۷۴] و [۸۳].

مرور حاضر با استفاده از خوشه‌بندی مقالات و پایان‌نامه‌ها به بررسی پیشرفتهای EM طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ با شبیه‌سازی و بهینه‌سازی انرژی می‌پردازد. این مرور بر اساس ژورنالهای منتخب در زمینه EM انجام شده است. اساساً بررسی این مقالات با دو نوع جهت‌گیری به منظور بررسی روش پیشنهادی این پایان‌نامه دنبال شده است: (۱) مدل‌سازی انرژی، (۲) بهینه‌سازی انرژی. با مروری که روی این بررسیها انجام شده است، نشان داده می‌شود که هیچکدام از این مقالات طرح پیشنهادی این پایان‌نامه و رویکرد آن را دنبال ننموده‌اند. هدف این پایان‌نامه مدل‌سازی و بهینه‌سازی انرژی است.

۲.۲ مدل‌سازی انرژی

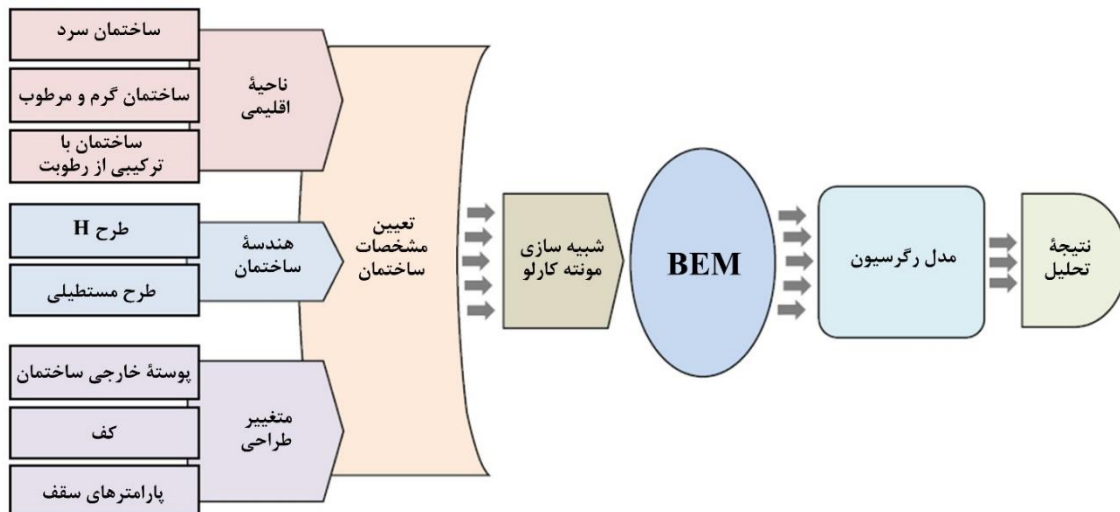
در سال ۲۰۱۵، بیانچی و همکاران [۳۷] با مقایسه بارهای برقی و گرمایشی و تولید برق فتوولتائیک پشت‌بام سه محل از شهر به بررسی اثر شرایط مرزی آب و هوا روی شبیه‌سازیهای انرژی چهار نوع ساختمان تجاری پرداختند. در این مطالعه برای وارد کردن داده‌های آب و هوا به نرم‌افزار شبیه‌سازی EnergyPlus ابتدا این داده‌ها به فایل‌های با پسوند epw تبدیل شدند. سپس شبیه‌سازی انجام شد و نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان دادند که هر کدام از این ساختمانهای تجاری به طور یکسان تحت تأثیر شرایط آب و هوایی خاص محل قرار می‌گیرند. در عین حال نیز از مقایسه تولید برق خورشیدی پیش‌بینی شده از داده‌ها با داده‌های روزمره نتیجه‌گیری گردید که بارهای برقی تأثیری در تغییرات تولید این برق ندارند.

انجی و همکاران [۳۸] دریافتند از آنجاییکه درصد زیادی از تلفات انرژی ساختمان از طریق وجود نشیتهای موجود در پوسته خارجی ساختمان رخ می‌دهند، بهره‌وری عملکرد پوسته خارجی ساختمان و تجهیزات سیستمهای گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) می‌توانند به میزان زیادی از مصرف انرژی ساختمان بکاهند. از این رو تنها شبیه‌سازی انرژی برای محاسبه نفوذناپذیری (مسدودسازی در مقابل نفوذ هوا) کافی نیست. معادلات نفوذناپذیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی و دستورالعملهای

¹ Heating, Ventilation and Air Conditioning

موجود برای وارد کردن اطلاعات که در حال حاضر موجودند برای استفاده ساختمانهای مسکونی با طبقات کم هستند و تعیین نفوذناپذیری و نفوذپذیری با آب و هوا، عملکرد سیستم و نشت پوسته خارجی اساساً با موضوع فشار در ارتباط است که مدلسازی فیزیک چنین فرایندی در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی موجود خیلی راحت نیست. نویسندگان برای رفع این مشکل و محاسبه نفوذناپذیری به تعیین ضرایب معادله تجربی موجود در نرم‌افزار EnergyPlus پرداختند. ولی این روش به داده‌های مربوط به نرخ نفوذناپذیری مثل آنهایی که با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مثل CONTAM تولید می‌شوند نیاز داشت که در دسترس نبودند. برای رفع این محدودیت آنها با استفاده از مشخصات کلیدی ساختمان به محاسبه این ضرایب در EnergyPlus پرداختند. نتایج این پژوهش نشان دادند همانطوریکه عملکرد ساختمان بهبود می‌یابد، درصد زیادی از تلفات انرژی ساختمان نیز از طریق نشت در پوسته خارجی ساختمان روی خواهند داد. لذا هرچند تأثیرات نفوذناپذیری روی مصرف انرژی ساختمان می‌توانند مهم باشند، ولی توانایی و دقت محاسباتی نرم‌افزار شبیه‌سازی برای محاسبه نفوذناپذیری و بهبود اثرات مسدودسازی در مقابل نفوذ هوا محدود است. در همین سال محمدپور و همکاران [۷۹] دریافتند که BEM برای تخمین مصرف انرژی ساختمانها ضروری است. پیش‌بینی BEM، مالکین، طراحان و مدیران تسهیلات را قادر می‌سازد تا مصرف انرژی ساختمان را مورد بررسی قرار دهند و طی مرحله طراحی به آنها برای تعیین عملکرد انرژی ساختمان کمک خواهد کرد. این پژوهش روی دو ساختمان تجاری مختلف با دو طرح H و مستطیلی متمرکز گردید تا نویسندگان در سه ناحیه اقلیمی مختلف سرد، گرم و مرطوب و با ترکیبی از رطوبت به تخمین مصرف انرژی ساختمانها بپردازند. برای این منظور از نرم‌افزار شبیه‌سازی ساختمان DOE برای ایجاد و شبیه‌سازی پیکربندی ساختمانها استفاده شد که با استفاده از فناوری شبیه‌سازی مونته‌کارلو ایجاد گردیدند. برای هر طرح و ناحیه اقلیمی ده‌هزار شبیه‌سازی انجام گردید تا مجموعه داده‌هایی که کل پارامترهای طراحی را در برمی‌گرفتند، ایجاد شوند. مراحل اجرای این مطالعه در شکل ۱.۲ نشان داده شده‌اند.

¹ Monte Carlo



شکل ۱.۲ مراحل انجام تحلیل پارامتری مصرف انرژی ساختمان [۷۹].

در این مطالعه ضرایب رگرسیون استاندارد برای درک اثر پارامترهای ساختمان روی مصرف سالیانه انرژی در سه ناحیه اقلیمی مختلف و در هر دو طرح ساختمان تجاری یعنی H و مستطیلی استفاده شدند. نتایج حاصل از مدلها درصد خطای قابل قبول کمتر از ۵٪ را نشان دادند و برنامه‌ریزی اشغال در هر دو طرح H و مستطیلی در هر سه ناحیه اقلیمی بیشترین تأثیر را روی مصرف انرژی ساختمان داشت. از آنجاییکه مصرف انرژی ساختمان در محیطهای شهری وابستگی زیادی به شرایط آب و هوایی پیرامون ساختمان دارد.

در سال ۲۰۱۶، جون و هام [۲۹] دریافتند که شرطی‌سازی حرارتی هوای داخل اساساً با انتقال حرارت بین ساختمانهای داخل و خارج که روی آسایش حرارتی ساکنین و مصرف انرژی جهت شرطی‌سازی فضا تأثیر می‌گذارد، ارتباط دارد. یکی از پارامترهای مهم استفاده شده در تحلیل حرارتی، ضریب انتقال حرارت پوسته‌های خارجی ساختمان است. آنها در این مطالعه به ارزیابی اثر کاهش خلاء بین اطلاعات معماری در نقشه‌های BIM طراحی شده و شرایط ساختمان روی EM مدل BIM و تحلیل ساختمانهای موجود می‌پردازند. علی‌رغم ظرفیت زیاد توصیف شرایط در نقشه‌های ساختمانی به صورت سه‌بعدی هنوز هم به نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی DOE برای تعریف خصوصیات حرارتی هر عنصر ساختمانی جهت محاسبه مصرف انرژی ساختمان و بهبود دقت مدلسازی نیاز است. اعتبار EM حاصل از شرایط با

نقشه‌های ساختمانی و خصوصاً ساختمانهای کهنه مناطق سردسیر بررسی گردید و نتایج رضایت‌بخش بودند. این پژوهش به ارائه روشی جهت بهبود تحلیل انرژی ساختمان می‌پردازد.

در سال ۲۰۱۶، سان و مک آرتور [۳۱] دریافتند که شبیه‌سازی انرژی به منظور گدگذاری و پایدارسازی سیستمهای عملکرد پروژه‌های ساختمانی متداول گردیده است، ولی این نوع شبیه‌سازی به خاطر مدلسازی مکرر انرژی و هزینه‌بر بودن به خصوص وقتی هندسه ساختمان سریع تغییر می‌یابد به ندرت می‌تواند در روند طراحی مورد استفاده قرار بگیرد. آنها ملاحظه کردند که اگر مدل انرژی بتواند از مدل BIM تولید شود، شبیه‌سازی انرژی مؤثرتر عمل خواهد کرد.

مانع اصلی استفاده از مدل BIM به عنوان مبنایی برای شبیه‌سازی انرژی، انتقال اطلاعات از ابزارهای BIM به نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی است. در این مطالعه یک مدل ساده با استفاده از Autodesk REVIT ایجاد و ذخیره‌سازی گردید. سپس یک مطالعه سه مرحله‌ای برای بررسی روند این تحقیق انجام شد. نخست، فایل‌های REVIT به فایل‌های GBS تبدیل شدند، چون فایل‌های با این قالب می‌توانند در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی اعم از eQuest و EnergyPlus استفاده گردند، ولی هنگام وارد نمودن فایل، امکان خطا هم در این نرم‌افزارها وجود دارد. در مرحله دوم منابع خطا مورد بررسی قرار گرفتند و عوامل اصلی تأثیرگذار روی ادغام داده‌ها با تمرکز بر روی هندسه و خصوصیات مصالح شناسایی گردیدند. در مرحله سوم نتایج حاصل از شبیه‌سازی انرژی eQuest با نتایج حاصل از شبیه‌سازی انرژی EnergyPlus مقایسه شدند.

این نتایج در مجموع چند بارگذاری غیرمعقول و مفروضات چگالی اشغال را برای تیپهای مختلف ساختمان گزارش کردند و گزینه‌های نوع سیستم HVAC نیز محدود گردیدند. در همین سال رحمانی اصل و همکاران [۳۲] توضیح می‌دهند که فرصتهای صرفه‌جویی انرژی بیشتر می‌توانند با انجام طراحیها در دسترس قرار گیرند، ولی ارزیابیهای عملکرد انرژی اساساً به خاطر کمبود ابزارهای مفید و مؤثری که بتوانند به معماران در جهت بررسی گزینه‌های طراحی کمک کنند، پس از طراحی انجام می‌گیرند. آنها در این پژوهش به معرفی مدلی تازه به نام FEPRM می‌پردازند که می‌تواند در زمان واقعی بر اساس

تغییرات ابزار BIM به اندازه‌گیری عملکرد انرژی ساختمان بپردازد. مدل آنها با استفاده از یک مدل رگرسیون به تولید مجموعه‌ای از مدلها و شبیه‌سازها بر اساس مشخصات پروژه می‌پردازد و بازخورد یکپارچه‌ای را جهت تصمیم‌گیری طی فرایند طراحی مفهومی برای طراح فراهم می‌نماید. این مدل از یک الگوریتم ساده ابتکاری استفاده می‌کند و شروع به تولید مجموعه‌ای از هندسه‌های تصادفی که با شرایط پروژه مطابقت دارند، می‌نماید. ارتفاع کف به کف، تعداد سطوح و پلان کف این ترکیبهای ایجاد شده متفاوت هستند. این الگوریتم به ازای هر سطح، یک هندسهٔ محدب ایجاد می‌کند، ولی از آنجاییکه پلانهای هر کف متفاوتند کل ترکیب ساختمان نمی‌تواند در این هندسهٔ محدب جای گیرد. FEPRM پس از هر ترکیب به ایجاد مدلهای تحلیلی انرژی^۱ (EAMs) می‌پردازد و آنها را در قالب یک فایل gbXML به نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی DOE می‌فرستد. پس از اتمام تمام شبیه‌سازها، نتایج جمع‌آوری و مدلهای رگرسیون ایجاد می‌گردند.

این فرایند برای یک ساختمان متوسط، کمتر از یک ساعت زمان می‌برد. در این فرایند BIM مدل EAM را ایجاد می‌کند. در این مطالعه از نرم‌افزار Weka ورژن ۳.۶ برای آموزش^۲، آزمون^۳ و ایجاد مدلهای رگرسیون استفاده گردید. Weka یک کتابخانه یادگیری ماشین^۴ (ML) به زبان جاوا است. این نرم‌افزار از پیش‌پردازش، طبقه‌بندی، رگرسیون، خوشه‌بندی و تجسم‌سازی حمایت می‌کند [۹۵].

ویژگیهای مدل FEPRM این نویسندگان به طور خلاصه در زیر آمده‌اند:

۱. FEPRM به خاطر تغییر هندسه سبب بهبود زیاد مدلهای رگرسیون پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان می‌گردد.

۲. FEPRM فوراً به ایجاد بازخوردی برای مصرف انرژی مدل ساختمان در BIM می‌پردازد.

¹ Energy Analysis Models

² training

³ testing

⁴ Machine Learning

۳. FEPRM با ثابت نگهداشتن سایر پارامترهایی که می‌توانند روی عملکرد انرژی از قبیل خصوصیات ساخت و ساز ساختمان تأثیرگذار باشند، می‌تواند برای تمرکز روی تحلیل شکل ساختمان به طراح کمک نماید.

۴. FEPRM بسته به پارامترها از هندسه بیشتری برای تولید نمایش واقعیت هندسه ساختمان استفاده می‌کند.

۵. نسخه حاضر FEPRM تنها به تولید اشکال محدب پلانهای کف می‌پردازد.

۶. از آنجاییکه FEPRM از مشخصات پروژه برای ایجاد مدل‌های رگرسیون استفاده می‌کند، جهت ایجاد نتایج دقیق به هیچ پایگاه داده‌ای برای آموزش مدل‌های رگرسیون نیازی ندارد.

کوئی و همکاران [۴۱] دریافته‌اند که ساختمان‌های موجود از مشخصات و شرایط اجرایی متفاوتی برخوردارند که این عوامل می‌توانند عملکرد مدل انرژی را تغییر دهند. تحقیق حاضر با توسعه چند مدل و تعیین بهترین مجری برای یک ساختمان خاص یا فرض یک مدل جهانی که در حالت‌های مختلف ساختمان به کار برده می‌شود، اساساً با رویکرد آزمون و خطا دنبال می‌گردد.

آنها در این مطالعه یک چارچوب فرایادگیری^۱ را با شرط سیستم BEM توصیه شده^۲ (BEMR) (شکل ۲.۲) پیشنهاد دادند. BEMR بر اساس ویژگی‌های فیزیکی ساختمان و همینطور فراویژگی‌های سری زمانی استخراج شده از داده‌های عملی و مصرف انرژی کار می‌کند و می‌تواند مناسبترین مدل پیش‌بینی بار را برای هر ساختمان تعیین نماید.

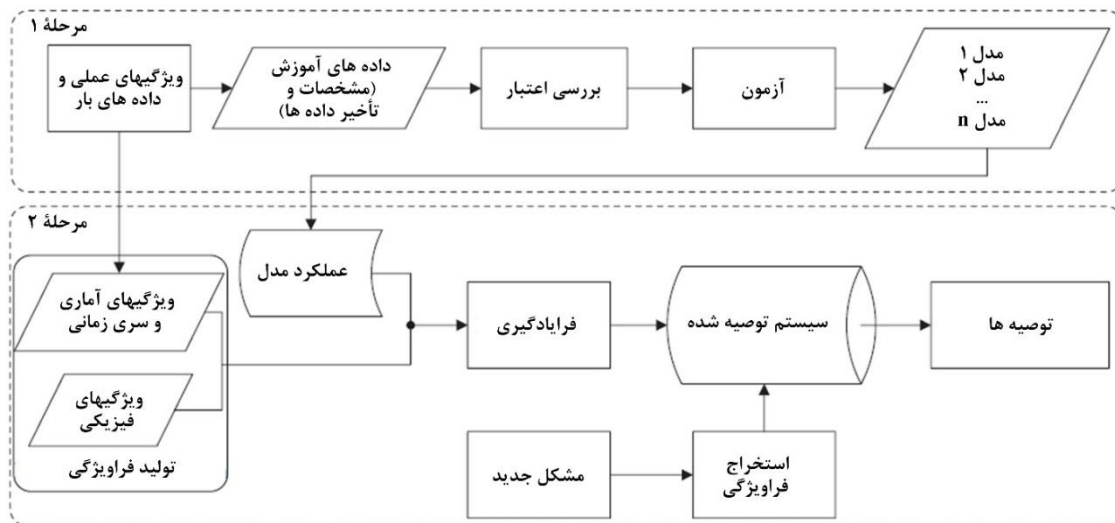
آنها در این مطالعه به بررسی مصرف برق سرمایه‌های ساختمانی در تابستان پرداختند. داده‌های شبیه‌سازی از شبیه‌سازی مدل‌های مصرف انرژی ساختمان مرجع در ماه جولای به دست آمدند. این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی EnergyPlus با گرانولیت^۳ نیم ساعت جمع‌آوری شدند که ۴۸ نقطه داده را در هر روز و ۱۴۸۸ نقطه داده را برای یک ماه نتیجه دادند. سه مورد پیش‌بینی به ترتیب مورد آزمایش

¹ meta-learning

² Building Energy Model Recommendation

³ granularity

قرار گرفت: (۱) آزمون یک روز و یک هفته، (۲) آزمون برونیابی^۱ و (۳) آزمون اعتبارسنجی ساختمان واقعی. نتایج تجربی این پژوهش نشان دادند که BEMR با انواع گوناگون ساختمان از رستوران گرفته تا یک اداره بزرگ، سازگار و از عملکردی عالی در ارائه دقت و بهره‌وری محاسبات مدلسازی برخوردار است.



شکل ۲.۲ چارچوب سیستم BEMR [۴۱].

چوداری و همکاران [۴۲] در سال ۲۰۱۶ با روشی به منظور تولید خودکار مدل‌های انرژی و اسنجی شده^۲ ساختمان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در دو مطالعه موردی به معرفی کاربرد تنظیم خودکار^۳ پرداختند.

در مطالعه موردی نخست، مدل ساختمان با وارد کردن عمدی خطا در بیش از ۶۰ پارامتر تنظیم گردید. سپس این مدل با استفاده از تنظیم خودکار و اسنجی شد و دقت آن با توجه به مدل اصلی با خطای بایاس میانگین نرمال^۴ (NMBE) و ضریب تغییر خطای میانگین مربعات ریشه^۵ (CV-RMSE) ارزیابی گردید. در این مطالعه پس از شبیه‌سازی انرژی مدل‌های ساختمان با استفاده از EnergyPlus، و اسنجی EM ساختمان برای تخمین مصرف انرژی انجام شد. همینطور علاوه بر مصرف انرژی کل ساختمان،

¹ extrapolation

² calibrated

³ Autotune

⁴ Normalised Mean Bias Error

⁵ Coefficient of Variation Root Mean Squared Errors

نتایج نورپردازی، بارگذاری برق، مصرف انرژی HVAC، دماهای نواحی و سایر متغیرها نیز تحلیل گردیدند. در مرحله دوم، واسنجی خودکار مستقیماً با واسنجی دستی اشغال شبیه‌سازی شده در یک ساختمان مسکونی مقایسه گردید. در این مرحله نتایج حاصل از واسنجی خودکار در زمان خیلی کمتری به دست آمدند. این مطالعه همچنین به طور مختصر به شرح نقاط قوت و ضعف رویکردهای واسنجی خودکار می‌پردازد: (۱) بهبود مدل تنظیم شده بر اساس مقایسه داده‌های استفاده نشده در واسنجی و (۲) ارزیابی کمی و کیفی دقت واسنجی دستی در برابر واسنجی خودکار.

کالینگ و همکاران [۴۴] با توسعه ترکیب یک BEM پویای نتیجه شده از نرم‌افزار شبیه‌سازی EnergyPlus با مدل تجربی حاصل از داده‌های موجود و به منظور بررسی عدم قطعیت در مدلسازی مصرف انرژی و کاهش منظم عدم قطعیت در مدلسازی ساختمانهای موجود به ارائه چارچوبی جهت مدلسازی هیبریدی پرداختند. این چارچوب هیبریدی، مدلی پویا از فضاهای شرطی ساختمان به همراه مدلی تجربی از سیستم HVAC ساختمان را در برمی‌گرفت. مدل تجربی با استفاده از رگرسیون خطی دمای سیستم HVAC موجود واسنجی گردید و به منظور توسعه تخمین بارهای داخلی و روابط بین بهره‌ها و تلفات گرمایشی پوسته خارجی و دماهای داخلی و خارجی، اندازه‌گیریهای جریان سیستم اتوماسیون ساختمان توسعه داده شدند.

این نویسندگان نشان دادند که چطور مدل EnergyPlus نسبتاً ساده یک ساختمان موجود بدون داشتن هرگونه جزئیاتی در خصوص سیستم HVAC می‌تواند با یک مدل تجربی سیستم واسنجی شده HVAC برای مجموعه اندازه‌گیری سیستم اتوماسیون ساختمان (BAS) به صورت هیبریدی ترکیب شود. چنین رویکردی به خاطر میزان سعی و تلاش خود و عدم قطعیت پارامتری ایجاد شده، مانع رخ دادن برخی مشکلات طی مدلسازی پویای سیستم HVAC موجود گردید.

¹ Building Automation System

در این پژوهش نتایج حاصل از مقایسه مدل به طور متوسط ۲۰ درصد انحراف RMS را برای گرمایش و سرمایش ساعتی در طول یک روز از ماه نشان دادند. این نتایج امکان ارزیابی سریع مصرف انرژی و بهبود بالقوه ساختمانهای موجود را میسر ساختند.

مارتین و همکاران [۴۹] معتقدند که قبل از ارزیابی صرفه‌جوییهای انرژی حتماً باید واسنجی (کالیبراسیون) مدل انرژی ساختمان انجام گیرد تا بتوان به راهبردهای خوبی برای بهبود سیستم دست یافت. مدل‌های ساده شده انرژی ساختمان اغلب دقیق و با جزئیات زیاد هستند و فرایند واسنجی را کند می‌سازند. همچنین با ساده‌سازی مدل انرژی ساختمان، اختلاف بین مصرف انرژی داخلی اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده بالقوه می‌تواند افزایش یابد.

آنها در سال ۲۰۱۶ به جای تعیین شرایط مدل دقیق شهری به تعیین شرایط مدل ساده شده انرژی در یک مدل شهری پرداختند. آنها ابتدا مدل دقیق و ساده شده خود را با تمام خصوصیات سازه‌ای و حرارتی یک ساختمان اداری واقعی در سنگاپور در EnergyPlus توسعه دادند. سپس با استفاده از تحلیل برازندگی، اختلاف تخمینهای بار سرمایشی ماهیانه به دست آمده از مدل‌های دقیق و ساده شده EnergyPlus که تابعی از تعداد طبقات بودند، نشان داده شدند. همین روند به صورت درصد اختلاف زمانی بین شبیه‌سازیهای دو مدل به EnergyPlus اعمال گردید و مصرف زمانی و بار سرمایشی ماهیانه حاصل از مدل‌های پیوسته و جدا در EnergyPlus محاسبه شدند. سپس، مدل‌های دقیق و ساده شده EnergyPlus با مدل حرارتی متمرکز شهری ترکیب شدند تا اثر پارامترهای سازه‌ای و حرارتی ساختمان بر روی اختلاف تخمینهای بار سرمایشی ماهیانه تحلیل شود. در این پژوهش دیوارهای خارجی با ارزش U؛ سقف با ارزش U، پنجره با ارزش U و نسبت شیشه‌کاری آپارتمن‌هایی بودند که از تحلیل حساسیت به دست آمدند. در نهایت نیز تقریبی از توزیع تفاوت بین تخمینهای بار سرمایشی ماهیانه با تحلیل مونته‌کارلو به دست آمد.

¹ U-value

² glazing ratio

نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که تفاوت بین تخمینهای سرمایه‌های ماهیانه حاصل از مدل‌های دقیق و ساده شده EnergyPlus می‌تواند بیانگر افزایش نسبی تابع تعداد طبقات باشند. در نتیجه این تفاوت از یک حد نهایی برخوردار است. پارامترهای دیوارهای خارجی به ارزش U و پنجره‌های به ارزش U که از تحلیل حساسیت به دست آمده بودند، بیشترین تأثیر را بر روی اختلاف بین تخمینهای بار سرمایشی داشتند. همینطور در سال ۲۰۱۶، به خاطر انعطاف‌پذیری و دقت محاسبه بیزی آدر واسنجی مدل‌های انرژی ساختمان، تیان و همکاران [۵۰] با استفاده از تحلیل همبستگی و روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی از این محاسبه برای تعیین و انتخاب داده‌های مفید انرژی استفاده کردند. آنها از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی EnergyPlus برای استخراج چهار پارامتر ورودی نامشخص از یک مطالعه موردی (ساختمان فروش) استفاده نمودند. این مطالعه بر روی تعیین داده‌های مفید انرژی در واسنجی بیزی مدل‌های انرژی ساختمان تمرکز دارد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که با واسنجی مدل، ترکیبات مختلفی از داده‌های انرژی می‌توانند متغیرهای ورودی نامشخصی را با دقت‌های متفاوت تخمین بزنند. به همین دلیل وقتی داده‌های انرژی که فاقد اطلاعات مفید هستند نامشخص باشند، محاسبه بیزی برای استخراج پارامترها مناسب خواهد بود. این روش همینطور برای تعیین اندازه‌گیرهای مؤثر صرفه‌جویی‌های انرژی در پروژه‌های بهسازی ساختمان خیلی مفید است.

در سال ۲۰۱۶، یی [۵۱] مطالعه‌ای را در خصوص موضوع مهم استفاده از نور روز برای بهبود عملکرد انرژی ساختمان انجام داد. او از روش کریجینگ^۳ برای پیش‌بینی شرایط نور روز در کل سال استفاده کرد و این روش را با ابزارهای شبیه‌سازی انرژی موجود ترکیب نمود.

کریجینگ یک روش درون‌یابی محلی و جهانی بر پایه فنون جغرافیایی-آماري است که تمام مشاهدات منطقه مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

¹ upper limit

² Bayesian computation

³ Kriging method

⁴ geo-statistical

هدف از این پژوهش یافتنِ راهی برای کاهش زمان محاسبات واقعی بود تا بتواند در عمل کاربردی باشد. در این مطالعه روشی برای ادغام مدل نور روز کریجینگ با یک ابزار شبیه‌سازی انرژی پیشنهاد شد که به ترسیم توزیع ساعتی نور در فضای داخلی می‌پرداخت. روش پیشنهادی با مدل‌های مختلف موجود نور روز در ابزارهای شبیه‌سازی موجود مقایسه گردید. به این منظور مدل‌های نرم‌افزارهای EnergyPlus، Delight، Winkelmann، eQuest و DOE آزمایش گردیدند. نتایج آزمایش، مقدار RMSE و خطای بایاس میانگین^۱ (MBE) بهتری را برای روش پیشنهادی نشان دادند. همین‌طور زمان محاسبات شبیه‌سازی تشعشع کاملِ روش پیشنهادی از ۳۹/۱۶۷ ساعت به ۵/۹۸۱ ساعت کاهش یافت. این پژوهش با کاهش هزینه‌های محاسباتی نتایج واقعی‌تری را نسبت به مدل‌های نور روز نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی موجود نشان داد.

مینگ-مینگ و همکاران [۵۲] معتقدند که یکی از چالش‌های اصلی تحلیل عملکرد ساختمان تعیین منبع اصلی پارامترهای ورودی که بیشترین تأثیر را روی بهره‌وری انرژی ساختمانها دارد، است. پارامترهای بحرانی ورودی می‌توانند از طریق استفاده از مدل‌های تحلیل حساسیت تعیین گردند. در این مطالعه آنها برای امکان غربال اکثر پارامترهای مهم در مدل‌های انرژی ساختمان به بررسی یک فن تحلیل حساسیت احتمالی پرداختند. روش تحلیل حساسیت احتمالی پیشنهادی آنها به اندازه‌گیری فاصله متوسط بین توزیع احتمال غیر شرطی و شرطی یک ورودی می‌پردازد. توصیف این توزیع بر اساس علامت کرنل گرمایش مقیاس نامتغییر^۲ (SI-HKS) است. آنها در این مطالعه، روش SI-HKS را برای تحلیل حساسیت احتمالی توسعه دادند. نتایج حاصل از این مطالعه کاربرد روش پیشنهادی را در استفاده از ابزار مدل‌سازی عملکرد ساختمان در EnergyPlus نشان دادند.

در سال ۲۰۱۶، موناری [۷۳] اظهار داشت که چارچوب یک سیستم، رفتار دقیق ریاضی وار انواع عدم قطعیت‌های مختلف درگیر در مسائل مدل‌سازی و واسنجی^۳ آن را به نمایش می‌گذارد. این عدم قطعیتها

¹ Mean Bias Error

² Scale-invariant Heat Kernel Signature

³ Calibration

طی کل فرایند تحلیل از مرحله شروع عدم قطعیت گرفته تا اتمام مرحله واسنجی مشاهده می‌شوند که برای تعیین راه‌حل نهایی مشکل بررسی شده، اطلاعاتی را به صورت داده‌های میدانی تحویل می‌دهند. او در این مطالعه از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی ESP-r به عنوان محیطی برای مدلسازی خود استفاده کرد. در این مطالعه کتابخانه Python که قادر به تولید خودکار الگوهای حاوی دستورالعمل‌های اجرایی مدل‌های ESP-r است برای مجموعه فرضی بردارهای ورودی و جمع‌آوری نتایج توسعه داده شد. او تحلیل خود را با نسخه مجازی یک ساختمان واقعی در ESP-r شروع کرد. مدل ESP-r او با یک دیوار به دو ناحیه حرارتی^۱ یکی در داخل کتابخانه و دیگری در فضای خارجی تقسیم شد که برای اجرای مجدد آزمایش استفاده گردید. سپس مدل ESP-r با توجه به مشاهدات منظمی که توسط برنامه شبیه‌سازی ایجاد می‌شود، واسنجی شد که داده‌های حاصل عاری از نویز بودند و مدل قادر به ارائه فرایند مدنظر بود. به منظور آزمایش توانایی‌های مدل واسنجی شده پیش‌بین نویسنده، واسنجی با کنار گذاشتن یک سوم از داده‌های نهایی و با کل شرایطی که در آموزش آن استفاده نشده بودند، اجرا گردید. هدف اصلی این مطالعه اثبات توانایی کافی شبیه‌ساز برای ارائه رفتار در مدل کامپیوتری و اینکه فرایند واسنجی عملاً قادر به تخمین دقیق پارامترهای تعریف نشده مدل است، بود.

از دو فرایند ARMA و GARCH برای شبیه‌سازی نویز استفاده گردید. در مدل FDM (مدل ESP-r) بین بردارهای تفاضل و شرایط مرزی، همبستگی محلی وجود داشت. پیش‌بینی‌های مدل به قدر کافی با مقادیر مدنظر منطبق بودند و محدودیتها نیز منطقی به نظر می‌رسیدند. سپس مدل‌های تحلیل شده با یک معیار برازندگی مقایسه شدند. از اندازه‌گیریهای متداول NMSE، CV-RMSE و برازندگی خوب^۲ (GOF) جهت انجام محاسبات راحت و ساده استفاده گردید، ولی این اندازه‌گیریهای دستخوش همپایانی مدل شدند. همچنین با توجه به متغیرها و پایگاههای داده چندمنظوره، این اندازه‌گیریهای ضعیف ارزیابی گردیدند و نحوه جمع‌آوری آنها در این موارد روشن نیست. از این رو از ضرایب بیز برای بررسی استفاده

¹ thermal zone

² Goodness of Fit

³ Bayes Factors

شد که بهتر عمل می‌کردند. با توجه به روی دادن همپایانی در مدل، طبعاً باید مدل‌های احتمالی به کار برده شده برای واسنجی که متغیرها و پایگاه‌های دادهٔ مختلفی را در نظر می‌گیرند به این نوع محاسبات اختصاص یابند. علی‌رغم وجود نویز در اندازه‌گیریها نتایج حاصل از این تحلیل تفاضلی به دمای داخلی دوره‌ای بستگی داشتند که علت اختلاف بین خروجی و اندازه‌گیریهای مدل بود. این آزمایش مجازی نشان داد که حتی یک مدل نسبتاً ساده هم می‌تواند همپایانی و مشکلات قابل شناسایی داشته باشد. هاریش و کومار [۹۶] به توسعهٔ مدل ریاضی سیستم انرژی ساختمان (BES) که از نداشت فرایندهای انتقال انرژی رُخ داده در داخل فضای ساختمان استفاده می‌کند، پرداختند. در این مطالعه اجزای تشکیل دهندهٔ فضای ساختمان و محل گرمایش و سرمایش مسئول آسایش حرارتی ساکنین، مدلسازی شدند. تعادل گرمایی فرایندهای هدایت^۱، همرفت^۲ و تشعشع^۳ انتقال انرژی حرارتی سطح اجزای ساختمان و تعادل گرمایی همرفت^۴ سطح ساختمان مدلسازی گردیدند و ناحیهٔ فضای ساختمان نیز برای انتقال انرژی حرارتی محسوس و پنهان مدلسازی شد. با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی نامتغییر دارای محدودیت از رویکرد فضای حالت برای مدلسازی اجزای ساختمان از قبیل دیوارها و تخمین پارامترها استفاده گردید. سیستم HVAC با یک سوپاپ کنترل، منتشر کنندهٔ گرما^۵، اشغال ناشی از تهویهٔ کنترل شده با یک کنترل کنندهٔ تناسبی مشتقگیر و انتگرالگیر^۶ (PID) مدلسازی شد.

در این پژوهش روند مدلسازی یک BES کامل بر پایهٔ اصول فیزیکی ساختمان ارائه گردید (شکل ۳.۲). مدل BES با استفاده از Simulink نرم‌افزار Matlab شبیه‌سازی شد و نتایج با زمان محاسباتی کمتر، تغییرات دما در داخل فضای داخل ساختمان را به نمایش گذاشتند. شبیه‌سازیهای این مدل نشان دادند که Simulink نرم‌افزار Matlab می‌تواند به مدلسازی سیستمهای انرژی ساختمان بپردازد و از این رو

¹ Building Energy System

² conduction

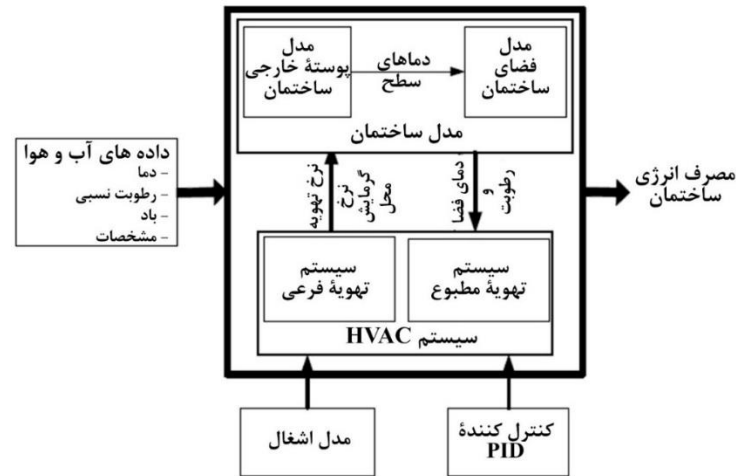
³ convection

⁴ radiation

⁵ heat emitter

⁶ Proportional Integral Derivative

می‌تواند بستر مناسبی برای توسعه فنون کنترلی موردنیاز جهت توسعه راهبردهای کنترلی به منظور صرفه‌جویی انرژی و حفظ آسایش و بهره‌وری سیستم‌های انرژی ساختمان به شمار آید.



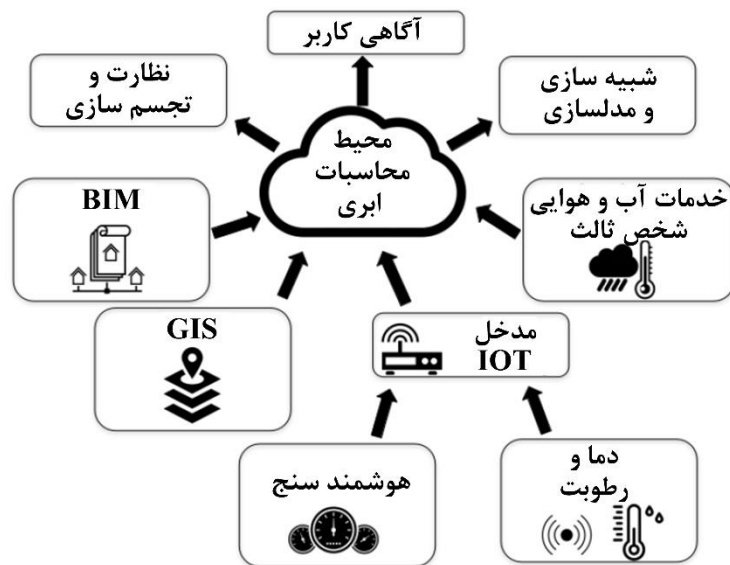
شکل ۳.۲ ساختار کلی مدل BES [۹۶].

در سال ۲۰۱۷، گریش و همکاران [۲۴] طرحی تازه را برای استفاده از تواناییهای BIM در بهبود EM در دو نرم‌افزار IES-VE و EnergyPlus پیشنهاد دادند (به فصل اول، شکل ۲.۱ مراجعه کنید). آنها معتقدند که BIM می‌تواند منبع اطلاعاتی قطعی برای کلیه اعضای تیم پروژه باشد. در همین سال، بوتاجیولی و همکاران [۳] عنوان کردند که در سالهای اخیر پژوهش زیادی در مورد تلفات انرژی و انتشار کربن در سطح اروپا انجام گرفته است که هدف اصلی این پژوهشها کاهش اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است. آنها معتقدند که در دستیابی بهتر به این هدف، فناوری اطلاعات و ارتباطات^۱ (ICT) می‌تواند نقشی کلیدی داشته باشد.

در این پژوهش نویسندگان با ادغام داده‌های BIM، IoT و GIS و خدمات آب و هوا، یک نرم‌افزار معماری مدیریت و شبیه‌سازی رفتارهای انرژی در ساختمانها را ارائه کردند. این ادغام شامل چهار مرحله بود: (۱) تجسم زمان واقعی اطلاعات مصرف انرژی، (۲) ارزیابیهای عملکرد ساختمان در EM، (۳) شبیه‌سازیها که با وسایل IoT به استخراج شرایط آب و هوایی و داده‌های محیطی ساختمان می‌پردازند و (۴) ایجاد نقشه‌های شهری انرژی GIS به همراه تقاضای انرژی و مصرف انرژی هر ساختمان. آنها

¹ Information and Communication Technology

شبیه‌سازیهای خود را با استخراج مدل‌های دقیق BIM اجرا نمودند. این شبیه‌سازیها با نرم‌افزار EnergyPlus انجام شدند. شکل ۴.۲ راه‌برد اصلی این مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴.۲ طرح استقرار محلی راه‌حل پیشنهادی بوتاجیولی و همکاران [۳].

ساختمانها به (۱) شبکه حسگر بیسیم (WSN) با میکروکنترلرهای توان کم که به نظارت دمای داخلی و رطوبت هوای اتاقها می‌پرداخت و (۲) یک هوشمندسنج که به کمک یک ولت‌سنج ضعیف استاندارد به نظارت داده‌های مصرف انرژی و استخراج داده‌های مخابراتی از خط می‌پرداخت، مجهز شدند. نتایج تجربی حاصل از این مطالعه نشان دادند که این راهکار می‌تواند شبیه‌سازی عملکرد گرمایشی ساختمان مورد مطالعه را با دقت خوبی انجام دهد. با توجه به سایر روشها، نویسندگان به این نتیجه دست یافتند که ادغام اطلاعات واقعی آب و هوا در فرایند شبیه‌سازی به شدت دقت شبیه‌سازیها را بالا می‌برد.

در سال ۲۰۱۷، بای و همکاران [۳۳] دریافتند که برای دستیابی به طراحی بهینه انرژی در شهرها، این طراحی باید با رویکردهای مؤثر EM منطبق باشد، ولی رویکردهای EM شهری (UMI) اغلب به خاطر مشکلات جمع‌آوری و مدیریت داده‌های ساختمان در مقیاس بزرگ از اطلاعات کم و خلاصه‌ای برای

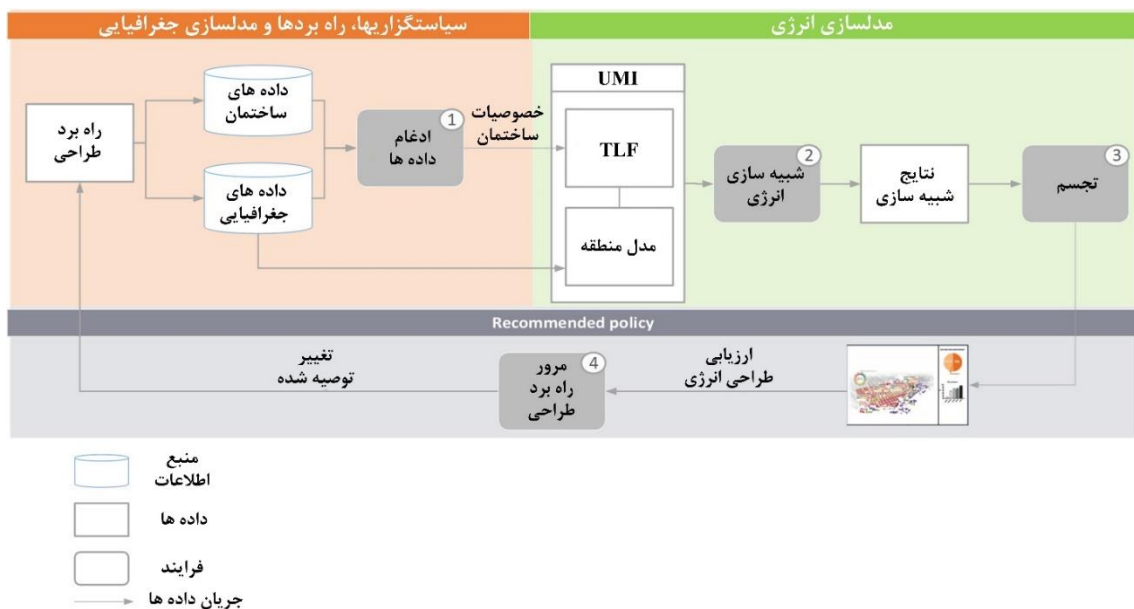
¹ Wireless Sensor Network

² smart-meter

³ Urban Energy Modeling

توصیف ساختمانها استفاده می‌کنند. این خلاصه‌سازی سبب ایجاد عدم قطعیت‌های زیادی در مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی می‌گردد. بخش مهمی از راه‌حل این چالش به ادغام سیستم‌های اطلاعات ساختمان در مقیاس شهری و فردی برمی‌گردد که به ترتیب مبتنی بر GIS و BIM است.

این پژوهش به بررسی این چالش و ارائه رویکردی با فناوریهای معنایی وب از قبیل زبان هستی‌شناسی وب^۱ (WOL) و چارچوب توصیف منابع^۲ (RDF) برای ادغام داده‌های GIS و BIM می‌پردازد. در این رویکرد، نویسندگان از یک ابزار استخراج، تبدیل و بارگذاری^۳ (ETL) برای تبدیل داده‌های GIS و BIM به RDF استفاده کردند. سپس برای تولید اطلاعات موردنیاز شبیه‌سازی انرژی با نرم‌افزار EnergyPlus به هدایت پرس و جوها در RDF یکپارچه‌سازی شده پرداختند. کل چرخه کار آنها چهار فرایند: (۱) ادغام داده‌ها، (۲) شبیه‌سازی انرژی، (۳) تجسم‌سازی و (۴) بررسی راه‌برد طراحی را دربرمی‌گیرد (شکل ۵.۲).



شکل ۵.۲. بررسی جریان کار طراحی انرژی راه‌حل مؤسسه اقلیم اقیانوس آرام (PICS) [۳۳].

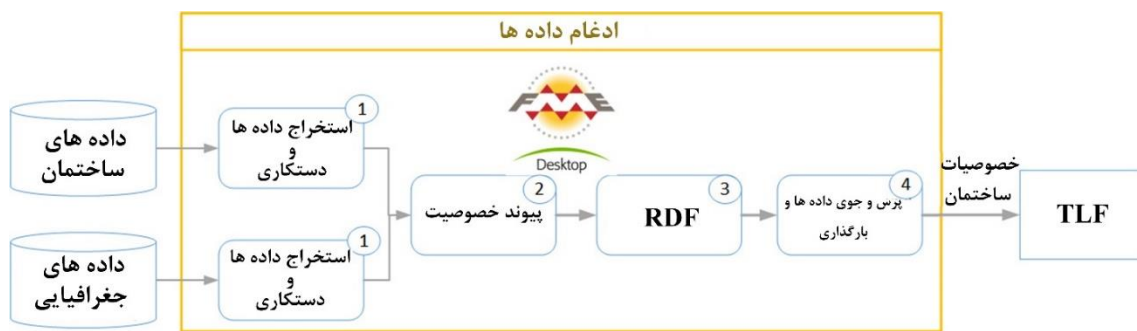
¹ Web Ontology Language

² Resource Description Framework

³ Extract, Transform and Load

⁴ Pacific Institute for Climate Solution

در این مطالعه نویسندگان از یکی از ابزارهای ETL با نام موتور دستکاری و ویژگی^۱ (FME) استفاده کردند. FME می‌تواند بیش از ۳۰۰ قالب داده مختلف از جمله داده‌های BIM و GIS را بخواند. این موتور شامل مجموعه‌ای از مبدل‌های ساختار داده و دستکاری محتویات است که در نهایت آنها را در قالبی دیگر بارگذاری می‌نماید. در این مطالعه نویسندگان جریان کاری تکراری و خودکار ادغام داده‌های BIM و GIS را با FME ایجاد کردند و در نهایت داده‌ها را در فایل کتابخانه قالب^۲ (TLF) بارگذاری نمودند (شکل ۶.۲).



شکل ۶.۲ بررسی جریان کار فرایند ادغام داده‌ها [۳۳].

علاوه بر داشتن مزیت، این پژوهش از سه محدودیت اصلی نیز برخوردار است:

- سطح جزئیات^۳ (LOD) نرم‌افزار BIM خیلی بیشتر از مقیاس مدلسازی GIS است.
 - به یک واسط گرافیکی برای تخصیص منابعی غیر از فناوری اطلاعات جهت هدایت راحت داده‌های پرس و جو نیاز است.
 - BIM های موجود اغلب کامل نیستند و محتویات داده‌ها دقیقاً استانداردهای از پیش تعریف شده‌ای که دلیل مشکلات بازیابی اطلاعات مربوطه هستند را دنبال نمی‌کنند. لذا از نگاه برنامه-ریزی شهری، تسهیل استفاده از BIM با ارتقای کل BIM خیلی مفید خواهد بود.
- شی و ابراین [۳۴] روشی تازه را برای کاهش تعداد نواحی حرارتی در یک ساختمان پیشنهاد دادند و آن را کاهش خوشه مدل نام نهادند. مدل آنها با استفاده از فن خوشه‌بندی PCA به تعیین اشکال

¹ Feature Manipulation Engine

² Template Library File

³ Level of Detail

⁴ model-cluster-reduce

اولیه و رفع تزییدِ نواحی می‌پردازد. در این پژوهش یک آزمایش با استفاده از مدل به دست آمده از BIM در EnergyPlus انجام گرفت. جهت خودکارسازی فرایند یک کتابخانه در Python نوشته شد تا فایل‌های BIM را بخواند و آموزش شبیه‌سازی را انجام دهد. پس از آموزش، مدل کاهش یافت و دوباره فایل BIM تولید گردید. در کل ۴ مدل با این روش تولید شدند و با مدل اصلی، مدل‌های انتخابی تصادفی و یک مدل تخصصی مقایسه گردیدند. با شبیه‌سازی مدل‌های کاهش یافته، انرژی سالیانه تخمین زده شد و نتایج شبیه‌سازی پارامتری در حین کاهش دادن زمان شبیه‌سازی تا ۹۵٪ از ۵٪ حاشیه خطا نیز برخوردار بودند. در همین سال سوکول و همکاران [۴۸] اظهار داشتند که EM ساختمان شهری^۱ (UBEM) روشی نوظهور جهت بررسی راه‌حلهای بهره‌وری انرژی در فضاهای شهری به شمار می‌رود. متداولترین رویکرد برای تنظیم یک UBEM، تفکیک یک ساختمان به اشکال اولیه^۲ توصیف هر نوع و اعتبارسنجی مدل به وسیله مقایسه نتایج آن با مجموع مصارف انرژی است.

در این مطالعه نویسندگان روش دقیقتری را برای تنظیم UBEM ها حین مواجهه با اطلاعات ناکامل ساختمانها ارائه دادند. این رویه با تعریف پارامترهای مجهول یا نامعین در توضیحات شکل اولیه، توزیعهای احتمالی را فراخوانی می‌کند و در صورت وجود با استفاده از داده‌های انرژی اندازه‌گیری شده و با واسنجی بیزی به اصلاح این توزیعها می‌پردازد. این رویه هم به صورت داده‌های مصرف انرژی ماهیانه و هم به صورت سالیانه به کار برده شد.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که هر دو واسنجی سالیانه و ماهیانه در مقایسه با تعاریف معین قدیمی به مصارف انرژی خیلی بهتری منجر می‌گردند. بهینه‌سازی و واسنجی بیزی هر دو رویکردهایی برای انتخاب بردارهای فضای پارامتر ورودی هستند که کمترین خطای واسنجی را نتیجه می‌دهند و با تغییر پارامترهای ورودی مدل، تابع هدف (مثلاً خطای واسنجی) را کمینه‌سازی می‌کنند.

¹ Urban Building Energy Modeling

² archetypes

آنها با ایجاد یک فایل ورودی در EnergyPlus و با استفاده از GIS و داده‌های ارزیابی مالیات، همین روش را برای هر ساختمان دنبال کردند. تکرار داده‌ها اجرا نشد، چون داده‌های انرژی، ناموجود فرض شدند. برای اجراهای احتمالی، نمونه پارامترها از توزیعهای واسنجی شده و با استفاده از تنظیم آموزش به دست آمدند. این روش از دو مزیت برخوردار بود: (۱) مصرف انرژی شبیه‌سازی شده، عدم قطعیت‌هایی که نقشه هنگام ایجاد مدل با آن رو به رو می‌گردید را نشان می‌داد و (۲) این مدل، مصارف انرژی دقیقتری از ساختمان را به نمایش می‌گذاشت.

آن و پارک [۵۴] در سال ۲۰۱۷ بیان کردند که برای تسریع و راحتی ارزیابی عملکرد ساختمانهای موجود باید به ابزارهای BEM که هزینه‌بر و زمانبر هستند و نیاز به تخصص دارند، مراجعه کرد. نویسندگان در این مطالعه با مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN) به توسعه BEM پرداختند. مدل‌های ANN با شبیه‌ساز EnergyPlus ایجاد و با روش مونته‌کارلو نمونه‌گیری گردیدند.

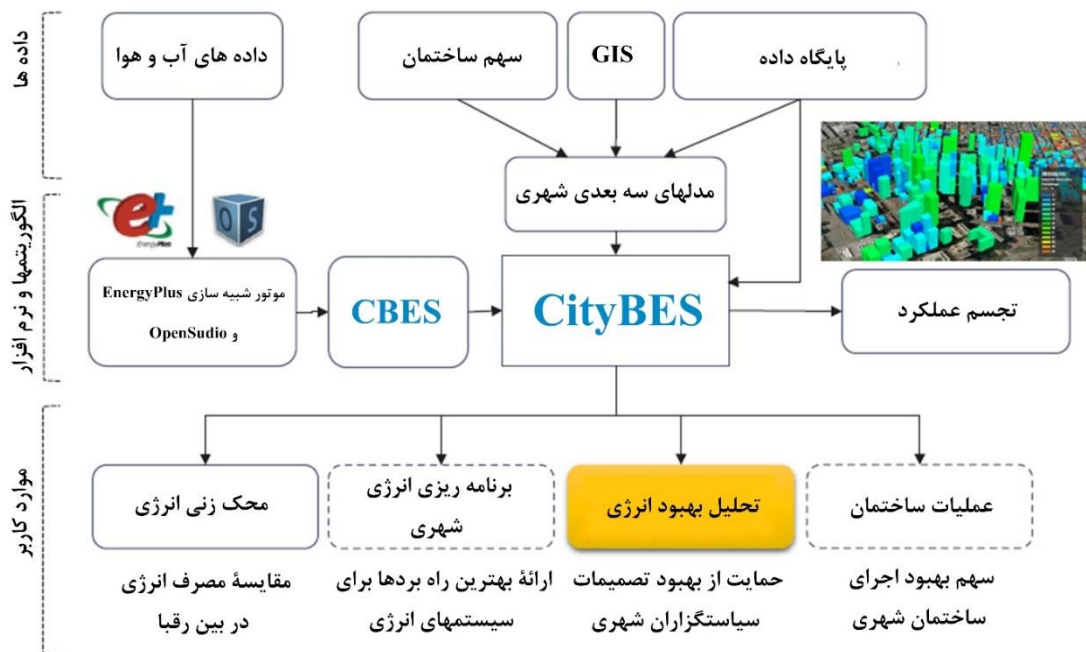
در این مطالعه MBE و CV-RMSE ی مدل‌های EnergyPlus و ANN به ترتیب ۱/۵۳٪ و ۷/۸۲ بودند. نویسندگان نتیجه‌گیری کردند که سیستم آنها به ورودیهای حداقل نیاز دارد و ارزیابی دقیقی را از عملکرد ساختمان فرضی ارائه می‌دهد. در همین سال ژنگ و همکاران [۵۵] روش تازه‌ای به نام مدل مصرف اصولی انرژی ساختمان و مبتنی بر استانداردهای مصرف انرژی بین‌المللی را برای ارزیابی و تحلیل مصرف انرژی جاری ساختمان پیشنهاد دادند. شبیه‌سازی EM در نرم‌افزار EnergyPlus انجام شد که این روش دقیق، سریعتر و از سرعت بالایی در انجام محاسبات برخوردار بود.

در این پژوهش تحلیل و ارزیابی مصرف انرژی بر روی یک ساختمان اداری در دانشگاه نفت چین انجام شد. همینطور در این سال چن و همکاران [۵۶] دریافتند که مصارف انرژی شهری ۳۰ تا ۷۰ درصد مصرف اولیه را تشکیل می‌دهند و از این رو بهره‌وری انرژی یکی از راهبردهای کلیدی در جهت توسعه شهر پایدار به شمار می‌آید. نویسندگان این مقاله با توجه به مجموعه داده‌های ساختمان شهرها و

¹ Artificial Neural Network

اقدامات حفاظت از انرژی^۱ (ECM) انتخابی کاربر و با استفاده از نرم‌افزار EnergyPlus به ارائه و ویژگی تحلیل به روز ذخیره‌کننده انرژی ساختمان شهری^۲ (CityBES) در تولید خودکار و شبیه‌سازی UBEM پرداختند. CityBES یک ابزار باز جدید مبتنی بر وب است که برای حمایت از پلانها و برنامه‌های راهبردی بهره‌وری انرژی ساختمان در مقیاس شهری به کار می‌رود.

در این مطالعه جزئیات فنی استفاده از CityBES اعم از جریان کار، فرضیات کلیدی و پایگاه داده‌های اصلی برای تولید و شبیه‌سازی UBEM معرفی گردیدند (شکل ۱). نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که: (۱) تمام اندازه‌گیریها می‌توانند صرفه‌جویی انرژی محلی ۲۳ تا ۳۸٪ را به ازای هر ساختمان به دنبال داشته باشند، (۲) تعویض روشنایی با لامپهای دیودی ساطع نور و اضافه نمودن وسایل صرفه‌جویی مقرون به صرفه‌تر با سیستمهای HVAC موجود با برگشت هزینه به ترتیب ۲ تا ۴/۳ سال همراه خواهد بود و (۳) در اقلیمهای ملایم به خاطر سرمایش و گرمایش حداقل، به روز رسانی سیستمهای HVAC یا تعویض پنجره‌ها اقتصادی نخواهد بود.



شکل ۲.۷ مؤلفه‌های کلیدی، جریان داده‌ها و موارد استفاده نرم‌افزار CityBES [۵۶].

¹ Energy Conservation Measures

² City Building Energy Saver

در همین سال دوآرت و همکاران [۵۷] به EM یک ساختمان ۲۰ طبقه (هر طبقه به مساحت ۱۴۰۰ متر مربع) و به مساحت کل ۲۸۰۰۰ متر مربع پرداختند. آنها برای محاسبه اثرات جرم حرارتی در نواحی داخلی به جای مدل‌سازی بخشهای داخلی و سایر مبلمان اداری به تعریف جرم اشیاء پرداختند. مساحت نمایان جرم داخلی نواحی هسته و پیرامونی به ترتیب ۱۳۷۸ و ۳۰۰ متر مربع و جرم داخلی هر دو ناحیه ۱۸۲ کیلوگرم بر متر مربع بود.

این نویسندگان در EnergyPlus، حداکثر حدود را برای تبدیل انرژی تشعشع خورشیدی (تشعشع موج کوتاه) به تشعشع موج بلند نواحی داخل، تعیین کردند. این کار به ناحیه هسته اجازه می‌داد تا تشعشع موج بلند را با نواحی پیرامونی به اشتراک بگذارد. این مطالعه نشان داد که فرایند انتقال حرارت پوسته خارجی^۱ (ETTV) ساختمان فرایندی مؤثر به حساب می‌آید، ولی باید با جریان گرمای پوسته خارجی دیوارهای مختلف یک اقلیم گرم و مرطوب نیز مورد مقایسه قرار بگیرد. این پژوهش نشان داد که کل بار سرمایشی تمام نماهای شیشه‌خور تقریباً با بار سرمایشی نمای بتنی ساختمان برابر است. در کل این اختلاف کم ناشی از اختلاف جرم حرارتی بود، ولی با این حال نیز توزیع هدایت در برابر توزیع تشعشع تغییرات زیادی داشت.

یوآن و همکاران [۵۸] در سال ۲۰۱۷ دریافتند که وقتی EM های ساختمانهای موجود توسعه داده می‌شوند، همواره پارامترهای مجهول و غیرقابل اندازه‌گیری که باید در مدل‌های شبیه‌سازی تعیین شوند را نیز با خود به همراه دارند. این نویسندگان بیان می‌کنند که قبل از اعمال EM های ساختمان برای دستیابی به میزان مصرف، واسنجی این پارامترها ضروری است.

این پژوهش به توسعه چند روش در این راستا می‌پردازد. نخست اینکه کنترل مشکل تعیین داده‌های زیاد می‌تواند با فرایند گوسی^۲ (GP) رفع گردد. دوم اینکه چند نوع ساختمان مختلف برای ارائه جامع‌تر

¹ Envelope Thermal Transfer Value

² Gaussian Process

باید مورد بررسی قرار بگیرند و در آخر اینکه مدل ایجاد شده باید غیر از EM های ساختمان با سایر مدل‌های شبیه‌سازی، هماهنگ باشد.

در این پژوهش آنها با رویکرد بیزی به پیشنهاد یک فرامدل برای واسنجی EM های ساختمان پرداختند. این روش می‌تواند عدم قطعیت‌های گوناگون را محاسبه نماید. نویسندگان جهت بهبود بیشتر محاسبات، روش تقریب پسین با رویکرد بیزی را نیز برای تحلیل ارزیابی توزیع‌های پسین پیشنهاد دادند. آنها روش پیشنهادی خود را برای واسنجی یک مدل EnergyPlus که برای شبیه‌سازی یک ساختمان اداری واقع در سنگاپور توسعه داده شده بود، به کار بردند. نتایج عددی حاصل از این پژوهش نشان دادند که استفاده از این روش برای واسنجی EM های ساختمان دقیقتر و مؤثرتر است. در همین سال مجدداً یوان و همکاران [۶۱] علاوه بر واسنجی پارامترهای ورودی و به منظور تعیین اولویت‌های بهبود ساختمان قبل از اعمال به مدل شبیه‌سازی انرژی ساختمان به رتبه‌بندی آنها بر اساس تأثیرشان بر روی عملکرد انرژی ساختمان پرداختند.

در این مقاله نویسندگان با استفاده از روش بیزی فرامدل خود، پارامترهای ورودی EM های ساختمان را همزمان واسنجی و رتبه‌بندی کردند. سپس به اندازه‌گیری مصرف برق ماهیانه ۲۴ ماه از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۱۴ پرداختند و با استفاده از EnergyPlus مصرف برق را شبیه‌سازی نمودند. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان دادند که پارامترهای واسنجی شده معمولاً با مقادیر فرضی اولیه تفاوت دارند. البلتاگی و همکاران [۶۴] در سال ۲۰۱۷ دریافتند که به منظور ارزیابی مصرف انرژی ساختمان به مدل شبیه‌سازی انرژی منطقی جهت پیش‌بینی مصرف انرژی نیاز است. آنها طی مرحله طراحی مفهومی، راهبردی تازه را برای تحلیل انرژی پارامتری مجسم ساختمانی پیشنهاد دادند. این راهبرد به ارائه یک جریان کاری انرژی محور و مطابق با استانداردهای مصرفی پردازد.

در این مطالعه مدل یک ساختمان مسکونی با ارتباط ابزارهای تحلیل پارامتری و EM ساختمان برای ایجاد یک پایگاه داده مصرف انرژی توسعه داده شد. از یک نمودار مختصاتی برای تجسم‌سازی پایگاه

¹ posterior

داده و به منظور ارزیابی انعطاف‌پذیر عملکرد انرژی استفاده گردید. مزایای این طراحی به ترتیب (۱) ارائه راهبردی تازه برای تجسم‌سازی پیش‌بینی داده‌های مصرف انرژی ساختمان، (۲) تسهیل فرایند تصمیم‌گیری برای گزینه‌های جایگزین طراحی انرژی طی مراحل اولیه، (۳) ادغام مدل‌سازی پارامتری و موتور شبیه‌سازی انرژی در چارچوب همکاری، (۴) توسعه مدلی جامع با پارامترهای متغیر شبیه‌سازی انرژی و (۵) ارائه یک رویکرد خودکار و ساده برای توانمندی نقشه‌ها جهت شبیه‌سازی و تحلیل عملکرد انرژی به موقع، دقیق و مؤثر ساختمان، برشمرده شدند. به منظور اجرای تحلیل حرارتی، هر تبدیل پارامتر طراحی، شبیه‌سازی گردید. این شبیه‌سازی در EnergyPlus اجرا شد که با تولید راهبردهای مختلف برای متغیرهای فرضی و سطوح مربوطه، اجازه بررسی‌های پارامتری چند متغیره را می‌داد. همچنین از برنامه‌های شبیه‌سازی پارامتری و انرژی Rhino، Grasshopper، EnergyPlus، DIVA و اجزای روزمره برای نمایش روش ممکن جهت ادغام طراحی و شبیه‌سازی انرژی استفاده گردید. در همین سال حیدرنژاد و همکاران [۶۵] با کاهش مدل‌های انرژی ساختمان با استفاده از ساده‌سازی نواحی خارجی و حرارتی ساختمان به ارائه چارچوبی برای تسریع ایجاد مقیاس شهری پرداختند. این مقیاس شهری کاهش یافته به میزان نفوذ متغیرهای بارهای داخلی، خارجی و حرارتی سیستم، متکی بود. از واسط برنامه‌نویسی کاربردی^۱ (API) نرم‌افزار OpenStudio برای خودکارسازی فرایند ایجاد مدل و نمایش چارچوب توسعه داده شده استفاده گردید. این مدل برای ورود به EnergyPlus و ایجاد مدل‌های مبتنی بر کلاسهای مصرف انرژی در OpenStudio ساده‌سازی شد.

این پژوهش بر روی فرایندهای انتقال حرارت و طبقه‌بندی ورودی‌های بحرانی EM ساختمان به (۱) داخلی، (۲) خارجی و (۳) سیستم، تمرکز دارد. خودکارسازی شبیه‌سازی‌های ساختمان به ساده‌سازی‌های پوسته خارجی ساختمان، نواحی حرارتی و سیستم‌های HVAC نیاز داشتند. این پژوهش جهت ایجاد مدل از بهترین اقدامات اعم از (۱) هندسه، (۲) پنجره‌بندی، (۳) نواحی حرارتی و (۴) سیستم‌های HVAC برای ساده‌سازی ساختمان استفاده کرد.

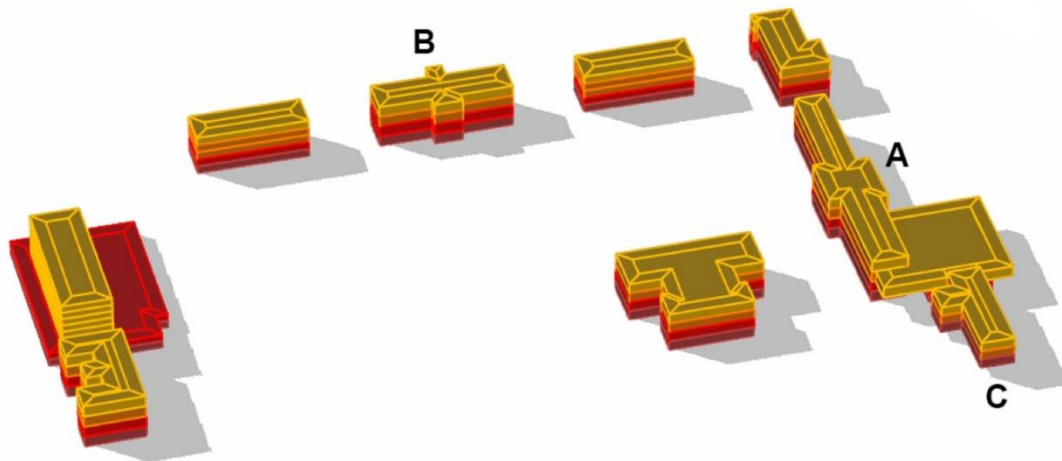
^۱ Application Programming Interface

نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که با انتخاب نواحی حرارتی مختلف، دقت مدل‌های کاهش یافته انرژی ساختمان تنها ۱۰٪ تغییر خواهد داشت. در همین سال سوپر و دوگان [۶۶] دریافتند که دسترسی به مدل‌های مقیاس شهری جهت استفاده محدود است و در صورت دسترسی، این مدل‌ها تنها می‌توانند با توجه به داده‌های قدیمی و مدل‌های آماری، مجموع تقاضای انرژی را پیش‌بینی نمایند. آنها در این پژوهش به دنبال ارائه روش نوینی که از داده‌های GIS برای تولید مدل‌های انرژی و اسنجی شده چند ناحیه جهت ارزیابی بهبود انرژی ساختمان استفاده می‌کرد، بودند. نویسندگان این مطالعه با توجه به توصیه‌های داده شده در پیوست ۹۰/۱ استاندارد ASHRAE، نواحی خود را به طور خودکار به نواحی حرارتی تقسیم کردند [۹۷]. سپس این نواحی را به شکل بلوک‌های حرارتی هر کف، اکستروژد نمودند. شکل ۸.۲ ساختمانها و هندسه ناحیه حرارتی را نشان می‌دهد. در ادامه نواحی حرارتی با نمونه داده‌هایی که به توصیف مصالح، بارها و تنظیمات هر ناحیه می‌پرداختند، جفت گردید. نمونه‌های هر ساختمان مشخص و به همراه توضیحات دقیق نواحی اعم از زیرزمین، همکف، طبقات میانی و پشت‌بام بودند. سپس نواحی مجاور و کل ساختمان با استفاده از برنامه‌ای که به ترسیم نمودار وجه و نواحی می‌پرداخت، به طور خودکار به نمایش درآمد.

از نرم‌افزار Excel برای جمع‌آوری نمونه پارامترهای ورودی هر ناحیه استفاده شد و سپس این نمونه پارامترها در جریان کار تولید مدل انرژی در نرم‌افزار Rhino/Grasshopper وارد شدند. وقتی تمام ورودیها جمع‌آوری شدند، از Archsim و EnergyPlus و جریان کار Grasshopper برای دسته‌بندی شبیه‌سازی تمام مدل‌ها استفاده گردید. مدل‌ها به همراه یک فایل آب و هوای ایجاد شده از داده‌های آب و هوای قبلی ساختمان مجاور به دو شبیه‌سازی مجزای اسنجی بار گرمایشی و سرمایشی EnergyPlus از هم تفکیک شدند.

¹ extrude

یکی از شبیه‌سازیها مربوط به هفته‌ای در ماه سپتامبر و شبیه‌سازی دیگر مربوط به دو هفته در دسامبر بود. این فرایند شبیه‌سازی ساختمان و نتایج حاصل از آن، اهمیت رفتار تحلیلی ساختمانهای مجزا را در مقیاس محوطه و منطقه نشان داد.



شکل ۸.۲. فضاهاى رنگى ساختمان از نوع کف و با تقسیمات ناحیه حرارتی [۶۶].

حمید و همکاران [۸۳] در سال ۲۰۱۷ با تعیین بیشترین عوامل سهیم در مصرف انرژی ساختمان و پیشنهاد ECM در تحلیل عملکرد انرژی ساختمان به منظور بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان پرداختند. در این پژوهش نویسندگان عملکرد انرژی یک ساختمان تجاری واقع در شمال مالزی را تحلیل کردند. آنها معتقدند که طراحی ضعیف عملکرد یک ساختمان طی مراحل اولیه می‌تواند سبب مصرف بی‌هوده انرژی و کاهش آسایش حرارتی گردد.

آنها در این مطالعه از نرم‌افزار SketchUp برای توسعه مدل ساختمان به منظور تحلیل انرژی استفاده کردند. آنها از ابزارهای شبیه‌سازی انرژی (پلاگین Sefaira SketchUp) برای EM و تخمین مصرف انرژی ساختمان استفاده نمودند. تحلیل حرارتی نیز برای به دست آوردن بهترین ECM انجام شد.

این پژوهش توانست به صرفه‌جویی انرژی به ترتیب بیش از ۵۲/۸۲٪ و ۳۶/۴۴٪ در شاخص انرژی ساختمان (شدت مصرف انرژی) و انرژی سرمایشی سالیانه، دست یابد.

در سال ۲۰۱۷، مائوری و همکاران [۹۸] روش جدیدی را برای ارتباط مدل جوی با مدل مصرف انرژی یک ساختمان پیشنهاد دادند. هدف نویسندگان بهبود شرایط مرزی هر دو مدل بدون افزایش زمان محاسبات بود. در این مطالعه، مدل رابط سایبان (CIM) با نرم‌افزار CitySim مرتبط گردید.

CitySim یک ابزار EM شهری است [۹۹] که می‌تواند مقدار تقاضای انرژی ساختمان در مقیاس شهری را تعیین نماید. CitySim به تولید مشخصات هندسی برای CIM می‌پردازد و متغیرهای جوی را با دقت زیادی محاسبه می‌کند. این متغیرها برای محاسبه جریانهای انرژی منطقه شهری به نوبت در CitySim مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده محوطه (داده‌های سال ۲۰۱۵) برای CIM و ارزیابی صلاحیت آن در بازتولید مقاطع عمودی با دقت بالا استفاده شدند. سپس نویسندگان، داده‌های مصرفی اقلیم محلی و داده‌های به دست آمده از ایستگاه جوی محلی واقع در خارج از شهر را با یکدیگر مقایسه کردند. در هر دو آزمایش، آنها اهمیت استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی ساختمان و متغیرهای جوی شهری را نشان دادند. همینطور آنها ثابت کردند که چند ساختمان و قالب شهری می‌توانند حساسیت بیشتری به محیط محلی نشان دهند.

کارومارتینز و ساندر [۱۰۰] در سال ۲۰۱۸ بیان کردند که ۴۰٪ مصرف انرژی نهایی اتحادیه اروپا به ساختمانها و مصارف ساختمانهای مسکونی مربوط است. آنها می‌گویند که از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ سهم ساختمانهای مسکونی اروپا برای شفاف‌سازی و بهبود فرایندهای بهره‌وری انرژی در سطح ملی تحلیل شده است، ولی در فرامقیاس، تحلیل مطالعه موردی BEM نواحی، شهرها یا مناطق، نشدنی است. برای غلبه بر این محدودیت، مدل‌سازی نوظهور UBEM پیشرفت مهمی را در ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان در مقیاس شهری نشان داده است.

نویسندگان در این پژوهش به ارائه یک رویکرد جایگزین UBEM خصوصاً برای مناطق تاریخی شهرهایی که خیلی از ساختمانها تحت حفاظت قرار دارند، پرداختند. آنها می‌گویند که مقررات حفاظتی می‌توانند

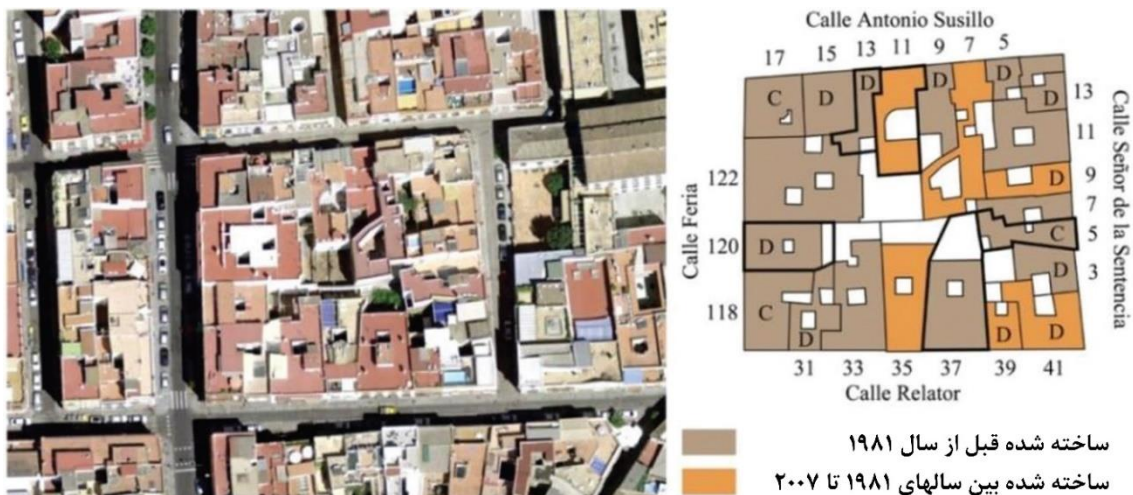
¹ Canopy Interface Model

حوزه اندازه‌گیریها در جهت بهبود بهره‌وری انرژی و اجرای سیستمهای تجدیدپذیر انرژی را محدود سازند. آنها پارامتر جدیدی با نام تراکم دارایی میراث^۱ (HAD) را برای طبقه‌بندی بلوکه‌های ساختمانی معرفی کردند. سپس HAD به ناحیه مورد مطالعه منتقل گردید و بلوکه نمونه به عنوان نمونه بیشترین تکرار HAD انتخاب شد.

از ابزار GIS برای توصیف توزیع فضایی داراییهای میراث و توزیع تکرار در سطح مورد مطالعه استفاده گردید. داده‌های فایل حاوی درجه‌بندی میراث ساختمانیها بودند. هر بلوکه مورد مطالعه به تعداد متغیرها و درجه‌بندی حفاظت می‌توانست ترکیب ویژه‌ای از ساختمانهای فهرست شده را دربرگیرد یا نگیرد. برای هر بلوکه، ساختمانهای فردی به ترتیب با اعداد ۱ تا ۴ و با توجه به درجه‌بندی A تا D تعیین شدند (شکل ۹.۲). از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی Design Builder برای شبیه‌سازی حرارتی استفاده شد. هر ساختمان به نواحی حرارتی کف تقسیم گردید و سایه و اثرات بازتابش پیرامون ساختمانها محاسبه شدند.

این مدل بدون در نظر گرفتن پلهای حرارتی فرض می‌کند که میزان زیادی نفوذپذیری هوا در تمام فضاها وجود دارد. سطوح ساختمانی نمونه در تماس با ساختمانهای مجاور با عایق گرمایی و با شرایط حرارتی مشابه بودند. فضاهای تجاری و پارکینگ از مدل شبیه‌سازی حذف گردیدند و از الگوهایی متفاوت با مصارف مسکونی استفاده شد. سطوح مجاور به این فضاها با عایق گرمایی بودند. برای ایجاد شرایط عملی، مقادیر استاندارد اسناد اداری استفاده گردید.

^۱ Heritage Asset Density



شکل ۹.۲ تصویر هوایی از بلوکه نمونه (الف)؛ پلان با طبقه‌بندی ساختمانها بسته به مدت مقررات فنی و درجه‌بندی فهرست شده میراث (ب) [۹۸].

این مطالعه نشان داد که اندازه‌گیریهای کاهش تقاضای انرژی می‌توانند مورد بحث قرار بگیرند (۴۰٪ به روشهای غیرفعال نیاز خواهند داشت) و کاهش انتشار کربن به راهبردهای مختلفی از جمله منابع انرژی تجدیدپذیر نیاز دارد. تولید برق نیز به همراه سیستمهای ترکیبی و منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر می‌تواند کلیدی برای پایدارسازی طولانی‌مدت مناطق تاریخی به حساب آید.

در سال ۲۰۱۸ الگربینی و کارملیت [۱۰۱] دریافتند که اقلیم محلی اثری قوی بر روی تقاضای انرژی ساختمانها و آسایش و سلامت ساکنین آنها دارد. در این مطالعه نویسندگان به شبیه‌سازی اثر ساختمانهای موجود بر روی اقلیم محلی شهر زوریخ پرداختند.

این مطالعه با ارتباط دینامیک سیالات محاسباتی^۱ (CFD) و شبیه‌سازیهای انرژی ساختمان برای تعیین افزایش دمای هوا و سطح به خاطر حضور ساختمانهای جدید انجام شد. دمای هوای محلی روز به خاطر شرایط آب و هوا و دمای هوای محیط که بیشترین تأثیر را روی آسایش حرارتی داشتند، مورد بررسی قرار گرفتند. از ابزار شبیه‌سازی CitySim برای مدلسازی جریان انرژی یک چارک از منطقه استفاده گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که تشکیل کانون بحرانی^۲ گرما در محل به شدت به هندسه ساختمان، مصالح ساختمان، استحکام بنا و جهت و سرعت باد بستگی دارد.

¹ Computational Fluid Dynamics

² hot spot

در سال ۲۰۱۸، کامل و معماری [۳۶] به شرح ابزار پیشرفته‌ای که شبیه‌سازی انرژی ساختمان را به طور خودکار انجام می‌دهد و با استفاده از BIM و تغییر کُد منبع ابزارهای شبیه‌سازی انرژی مثل EnergyPlus و OpenStudio نتایج خیلی خوبی را تولید می‌نماید، پرداختند. این ابزار که ABEMAT نامیده شد با دریافت فایل gbXML و از طریق اجزای پوسته خارجی هر ساختمان مثل پنجره‌ها، درها و دیوارها و نیز با فرایند خودکار، مقدار انتقال حرارت آنها را محاسبه می‌کند.

یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان دادند که ABEMAT به نتایج خیلی خوبی دست می‌یابد. در همین سال لی و همکاران [۷۰] مدل جدیدی با نام مدل مصرف انرژی ساختمان شهری (CityBEUM) را برای تخمین مصرف انرژی ساختمانها معرفی کردند. مدل CityBEUM با استفاده از داده‌های اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده، داده‌های مصرفی ماهیانه و داده‌های واقعی آب و هوا به واسطه نرم‌افزار EnergyPlus پرداخت. سپس الگوهای فضایی و موقتی مصرف انرژی ساختمان با مدل CityBEUM تخمین زده شدند.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که CityBEUM تغییرات فضایی مصرف انرژی ساختمان را به خوبی محاسبه می‌نماید. همچنین با مقایسه مصرف انرژی ساختمان با استفاده از داده‌های واقعی جوی و آب و هوا، اهمیت این داده‌ها در بهبود BEM ثابت گردید.

چن و هانگ [۷۱] در سال ۲۰۱۸ با استفاده از CityBES به ارزیابی اثرات ۳ روش منطقه‌بندی^۲ و استفاده از ضرایب کف در مصرف انرژی شبیه‌سازی شده ۹۴۰ اداره و ساختمان فروش در ۳ منطقه اقلیمی پرداختند.

در این مطالعه زمان دقیق شبیه‌سازی مدل EnergyPlus دقیقاً به تعداد نواحی و سطوح آنها بستگی داشت. روش منطقه‌بندی اول با استفاده از سطح ساختمان و به ازای هر کف به ایجاد یک ناحیه حرارتی می‌پردازد. روش منطقه‌بندی دوم، روش منطقه‌بندی خودکار^۳ است که سطوح ساختمان را به نواحی

¹ City Building Energy Use Model

² zoning

³ AutoZone

هسته و پیرامونی تفکیک می‌نماید. در این روش یک الگوریتم منطقه‌بندی خودکار نوین پیکسلی توسعه داده شد. روش منطقه‌بندی سوم از نمونه ساختمان اصلی مرجع اداره انرژی ایالات متحده استفاده می‌کند.

نتایج نشان می‌دهند که مصرف انرژی شبیه‌سازی شده هر طبقه با ضرایب کف به میزان ۲/۶٪ بیشتر از EM هر طبقه است که اجرا ۲ تا ۳ برابر بیشتر طول کشید. روش منطقه‌بندی اول در مقایسه با روش منطقه‌بندی خودکار به کاهش بارهای حرارتی و ظرفیت کمتر تجهیزات، ۱۵/۲٪ کمتر از ظرفیت فن، ۱۱٪/۱ کمتر از ظرفیت سرمایشی، ۱۱٪ کمتر از ظرفیت گرمایشی و ۷/۵٪ کمتر از بارهای سرمایشی مَنجر شد. اختلاف مصرف انرژی منبع از ۷/۶٪- تا ۵/۱٪ بود. اختلاف مصرف انرژی روش نمونه اصلی در مقایسه با روش منطقه‌بندی خودکار از ۱۲/۱٪- تا ۱۹٪ بود و میزان این اختلاف برای بارهای گرمایشی و تجهیزات بیشتر گردید. این مطالعه نشان داد که روشهای منطقه‌بندی، اثر زیادی روی شبیه‌سازی مصرف انرژی UBEM دارند. در همین سال تاناکا [۱۰۲] به توصیف مدیریت انرژی در سیستمهای HVAC پرداخت. او می‌گوید که تأیید و بررسی بهبود عملیات یک سیستم HVAC با استفاده از داده‌های عملی و شبیه‌سازی سیستم انجام می‌گیرند. در مطالعات موردی او، روند مدلسازی و شبیه‌سازی یک سیستم با استفاده از ابزار LCEM برای سیستمهای منبع گرمایش و سیستم جهت‌هوای HVAC در ساختمانهای اداری توصیف شده است.

نویسنده می‌گوید که مصرف انرژی سالیانه ساختمانها با بررسی مصرف انرژی ساختمانها که با کُل مساحت کف در ارتباط است، به دست می‌آید. لذا مساحت کف، شاخصی برای صرفه‌جویی انرژی به شمار می‌رود. نویسنده همچنین اظهار می‌دارد که مدل شبیه‌سازی اجزای یک سیستم می‌تواند با Excel و با معادلاتی که در این نرم‌افزار نوشته می‌شوند برنامه‌نویسی گردد. سپس این مدل شبیه‌سازی می‌تواند با ابزار LCEM برای تخمین اثر بارگذاری تجهیزات قدیمی و جدید، اجرا شود.

شبیه‌سازی این سیستم با استفاده از داده‌های BEM و مصرف برق الکتریکی و تجهیزات کمکی (مثلاً درصد مصرف برقی که اندازه‌گیری نشده و به تنهایی نمی‌تواند از داده‌های عملی به دست آید) می‌تواند

به پیش‌بینی اثرات بهبودها و تعیین اثر روشهای بهبود عملی موجود و تخمین اثرات آینده روشهای بهبود عملی پردازد. ابزار LCEM می‌تواند با تعویض سیستم کنترل توزیع حجم هوای ثابت^۱ (CAV) با سیستم حجم هوای متغییر^۲ (VAV) برای بررسی و شبیه‌سازی اثر کاهش مصرف برق آنها استفاده شود. بخش زیادی از این انرژی مصرفی طی طول عمر یک ساختمان به خاطر مصارف روزانه است و بدیهی است که اجرای LCEM به کاهش چنین مصرفی کمک کند. با توجه بررسی‌ای که بر روی BEM در جهت‌گیری نخست این پایان‌نامه یعنی شبیه‌سازی انجام شد، کلیه حوزه‌های دنبال شده مرتبط با این جهت‌گیری به همراه نرم‌افزار شبیه‌سازی مورد استفاده در جدول ۱.۲ فهرست گردیده‌اند.

جدول ۱.۲ حوزه‌های مرتبط با شبیه‌سازی انرژی و نرم‌افزار مورد استفاده برای EM.

مقاله	سال	حوزه	نرم افزار مورد استفاده برای EM
بیانچی و همکاران [۳۷]	۲۰۱۵	پیش‌بینی انرژی	EnergyPlus
انجی و همکاران [۳۸]	۲۰۱۵	اندازه‌گیری مصرف انرژی	EnergyPlus
محمدپور و همکاران [۷۹]	۲۰۱۵	تخمین انرژی	DOE
جون و هام [۲۹]	۲۰۱۶	اندازه‌گیری مصرف انرژی	DOE
سان و مک آرتور [۳۱]	۲۰۱۶	طراحی بهینه انرژی	EnergyPlus, eQuest
رحمانی اصل و همکاران [۳۲]	۲۰۱۶	ارزیابی انرژی	DOE
کوئی و همکاران [۴۱]	۲۰۱۶	بهره‌وری انرژی	EnergyPlus
چوداری و همکاران [۴۲]	۲۰۱۶	تخمین انرژی	EnergyPlus
کالینگ و همکاران [۴۴]	۲۰۱۶	ارزیابی انرژی	EnergyPlus
مارتین و همکاران [۴۹]	۲۰۱۶	تخمین انرژی	EnergyPlus
تیان و همکاران [۵۰]	۲۰۱۶	تخمین انرژی	EnergyPlus
بی [۵۱]	۲۰۱۶	پیش‌بینی انرژی	EnergyPlus, Delight, Winkelmann, DOE, eQuest
مینگ-مینگ و همکاران [۵۲]	۲۰۱۶	بهره‌وری انرژی	EnergyPlus
موناری [۷۳]	۲۰۱۶	تخمین انرژی	ESP-r
هاریش و کومار [۹۶]	۲۰۱۶	اندازه‌گیری مصرف انرژی	Matlab Simulink
بوتاجیولی و همکاران [۳]	۲۰۱۷	مدیریت انرژی	EnergyPlus
گریش و همکاران [۲۴]	۲۰۱۷	طراحی بهینه انرژی	EnergyPlus, IES-VE
بای و همکاران [۳۳]	۲۰۱۷	طراحی بهینه انرژی	EnergyPlus
شی و ابراین [۳۴]	۲۰۱۷	تخمین انرژی	EnergyPlus
سوکول و همکاران [۴۸]	۲۰۱۷	بهره‌وری انرژی	EnergyPlus
آن و پارک [۵۴]	۲۰۱۷	ارزیابی انرژی	EnergyPlus

¹ Constant Air Volume

² Variable Air Volume

ادامه جدول ۲.۲ حوزه‌های مرتبط با شبیه‌سازی انرژی و نرم‌افزار مورد استفاده برای EM.

مقاله	سال	حوزه	نرم افزار مورد استفاده برای EM
ژنگ و همکاران [۵۵]	۲۰۱۷	ارزیابی انرژی	EnergyPlus
چن و همکاران [۵۶]	۲۰۱۷	بهره‌وری انرژی	EnergyPlus
دوآرت و همکاران [۵۷]	۲۰۱۷	اندازه‌گیری مصرف انرژی	EnergyPlus
یوان و همکاران [۵۸]	۲۰۱۷	اندازه‌گیری مصرف انرژی	EnergyPlus
یوان و همکاران [۶۱]	۲۰۱۷	طراحی بهینه انرژی	EnergyPlus
البتاگی و همکاران [۶۴]	۲۰۱۷	ارزیابی انرژی	EnergyPlus
حیدرنژاد و همکاران [۶۵]	۲۰۱۷	بهره‌وری انرژی	EnergyPlus
سوسر و دوگان [۶۶]	۲۰۱۷	ارزیابی انرژی	EnergyPlus
حمید و همکاران [۸۳]	۲۰۱۷	بهره‌وری انرژی	Sefaira ShetchUp
مائوری و همکاران [۹۹]	۲۰۱۷	اندازه‌گیری مصرف انرژی	CitySim
کارومارتینز و ساندررا [۹۸]	۲۰۱۸	ارزیابی انرژی	Design Builder
آلگرینی و کارملیت [۱۰۱]	۲۰۱۸	مدیریت انرژی	CitySim
کامل و معماری [۳۶]	۲۰۱۸	ارزیابی انرژی	LCEM
لی و همکاران [۷۰]	۲۰۱۸	تخمین انرژی	EnergyPlus
چن و هانگ [۷۱]	۲۰۱۸	اندازه‌گیری مصرف انرژی	eQuest
تاناکا [۱۰۲]	۲۰۱۸	مدیریت انرژی	EnergyPlus

۳.۲ بهینه‌سازی انرژی

در سال ۲۰۱۶، سالاکچ و همکاران [۴۷] دریافتند که انتقال حرارت و رطوبت ساختمان تأثیر مهمی بر روی اقلیم و کل عملکرد حرارتی ساختمانها دارد. در این پژوهش آنها به توسعه یک مدل تحلیل انرژی ساختمان^۱ (BEAM) برای پیش‌بینی کل انتقال حرارت و رطوبت ساختمان پرداختند. مدل آنها به محاسبه انتقال حرارت و رطوبت پیوسته اثرات عمده هیروترمال^۲ در ساختمانها می‌پرداخت. این مدل پیوسته در Matlab پیاده‌سازی و اجرا و با EnergyPlus تأیید شد.

مدل BEAM با کاهش مرتبه مدل فیزیکی به سیستم مرتبه پایین‌تر (RE-BEAM) کاهش داده شد تا به راحتی بتواند با الگوریتم کنترل یکپارچه گردد. سپس با استفاده از مدل RE-BEAM، روش کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل^۳ (MBPC) برای ترکیب اطلاعات بحرانی ساختمان در الگوریتمهای کنترل

¹ Building Energy Analysis Model

² hygrothermal

³ Model-Based Predictive Control

توسعه داده شد، به طوری که در حین حفظ شرایط آسایش، مصرف انرژی ساختمان کاهش یافت. در این روش MBPC با فرمول بندی و حل مسئله کنترل بهینه افقی محدود^۱ در فواصل زمانی نمونه گیری مدل فیزیکی اجرا شد.

آنها با به دست آوردن کاهش انرژی و بار حداکثر حاصل از شبیه سازی یک سازه ساختمانی، برتری این روش را نسبت به روشهای کنترل ثابت قدیمی و روشهایی که از برنامه ریزی دمای متغیر ساکنین استفاده می کنند، نشان دادند.

در سال ۲۰۱۷، هانگ و همکاران [۴۳] دریافتند که خیلی از تحقیقاتی که برای توسعه مدل BES انجام گرفته اند به منظور صرفه جویی انرژی بوده اند، لذا آنها نیز مطالعه ای در خصوص مصرف انرژی ساختمان انجام دادند. پژوهش آنها پنج مرحله را دربرمی گیرد: (۱) جمع آوری اطلاعات وسایل و تسهیلات مدنظر؛ (۲) ایجاد مدل BES؛ (۳) واسنجی مدل BES براساس CV-RMSE؛ (۴) تعیین متغیرهای طراحی و توابع هدف؛ (۵) توسعه مدل واسنجی خودکار با استفاده از الگوریتم بهینه سازی. در این مطالعه برای شبیه سازی مدل های انرژی، نرم افزار EnergyPlus انتخاب و استفاده شد. به منظور استفاده از داده های آب و هوای نرم افزار EnergyPlus، منطقه اینچان در سئول انتخاب گردید.

همانطور که می دانیم مصرف انرژی ساختمان شامل مصارف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، تجهیزات الکتریکی و آب گرم محلی است. آنها در این مطالعه این مصارف را به طور دستی و با استفاده از نرم افزار EnergyPlus محاسبه نمودند. پس از گرفتن نتایج، CV-RMSE از طریق مقایسه با مصرف انرژی واقعی به دست آمد. با توجه به مصرف انرژی مدل BES، آنها دریافتند که مصارف گرمایشی از مصارف سرمایشی بیشتر هستند.

در این مطالعه داده های وارد شده به نرم افزار EnergyPlus به ۳ گروه تقسیم می شدند: (۱) عایق انتخابی ساختمان منطبق با استانداردهای عایق سازی گره، (۲) دماهای داخلی در فصل تابستان و زمستان و

^۱ finite horizon optimal control problem

مبتنی بر معیار آژانس انرژی گره و (۳) پارامتر روشنایی مدل BES هر ناحیه. سپس با استفاده از GA مدل واسنجی خودکار توسعه داده شد تا CV-RMSE را به حداقل برساند.

تائیهون و همکاران به دلایلی که در اینجا به آنها اشاره می‌شود این مدل را برگزیدند: (۱) پیاده‌سازی و اجرای این مدل برای سیستم‌های که به زبان برنامه‌نویسی جاوا و Python هستند، راحت است و (۲) برای جستجوی راه‌حلهای بهینه بسیار دقیق عمل می‌کند. برای ارتباط نرم‌افزار EnergyPlus و GA از نرم‌افزار برنامه‌نویسی Python استفاده گردید. در مدل پیشنهادی با تکرار خودکار الگوریتم بهینه‌سازی، زمان محاسبات کاهش یافت که این مدل نسبت به مطالعات قبلی انجام شده برتری داشت. همینطور تابع هدف با تنظیم CV-RMSE بهبود یافت. در همین سال لارا و همکاران [۶۷] دریافتند که بهینه‌سازی اساساً به طراحی مربوط می‌شود و برای دستیابی به اهداف بهتر باید راه‌حلهای مختلف طراحی با هم مورد مقایسه قرار بگیرند. آنها بیان می‌دارند که استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی انرژی واسنجی شده، کلید موفقیت بهبود ساختمانها یا مدیریت اجرایی آنها به حساب می‌آید و فنون بهینه‌سازی می‌توانند اعتبار نتایج را بهبود بخشند.

این مطالعه به مقایسه نتایج به دست آمده از رویکرد بروت فورس^۱ و روشهای بهینه‌سازی تکاملی اعمال شده جهت واسنجی یک مدل ساختمان آموزشی بزرگ در شمال ایتالیا می‌پردازد. کل فضای طراحی حدود ۷۲۰۰۰ مدل ساختمان EnergyPlus را در برمی‌گرفت. دو واسنجی مبتنی بر بهینه‌سازی با استفاده از GA و با ابزار jEPlus+EA در یک کامپیوتر محلی و با شبیه‌سازی پارامتری jEPlus در خدمات ابری انجام گرفتند. سپس کیفیت نتایج حاصل از ابزارهای بهینه‌سازی تکاملی با مطالعه پارامتری کامل اعمال شده به واسنجی مورد مقایسه قرار گرفت.

بهترین نتایج حاصل از این رویکرد به ۱۳۷ اجرا از کل ۱۳۶۸ شبیه‌سازی نیاز داشتند که با آنهایی که از اجرای تحلیل پارامتری کامل به دست آمدند، معادل بودند. در همین سال بنی‌هاشمی و همکاران [۶۸] با توجه به مدنظر قرار دادن همزمان پارامترهای گسسته و پیوسته انرژی به ارائه یک تابع هدف

^۱ Brute-Force

هیبریدی از الگوریتمهای یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی پرداختند.

آنها برای جمع‌آوری داده‌های خود از یک ساختمان ۴ طبقه ۴ واحدی استفاده کردند و هر طبقه به طور جداگانه شبیه‌سازی شد. مساحت هر طبقه ۴۰۰ متر مربع و فضای کل این ساختمان ۱۶۰۰ متر مربع بود. این ساختمان در نرم‌افزار Rhino مدل‌سازی شد و با نرم‌افزار Grasshopper به صورت پارامتری درآمد و با استفاده از نرم‌افزار EnergyPlus برای تخمین انرژی سالیانه شبیه‌سازی گردید. از الگوریتم طبقه‌بندی ANN برای آموزش و ایجاد تابع هیبریدی استفاده شد و در نهایت مدل با متوسط وزنی خطای نتیجه شده از عملکرد، اعتبارسنجی شد.

این مدل توسعه داده شده توانست به طور مؤثر دقت توابع هدف مصرفی در پیش‌بینی انرژی ساختمان و مسائل بهینه‌سازی را بالا ببرد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که این رویکرد نوین بدون ادغام و یکپارچگی پایگاه داده انرژی ساختمان، موضوع یکپارچگی پارامترهای پیوسته و گسسته انرژی را در تابع هدف حل نموده است.

همینطور جعفری و ولنتین [۷۸] به ارائه یک چارچوب تصمیم‌گیر با نام مدیریت انرژی طول عمر^۱ (LCEM) که (۱) به شرط کاهش چرخه هزینه‌ها برای یک ساختمان خاص طی مدت خدمات‌دهی آن به محاسبه مزایای اقتصادی بهبود انرژی آن می‌پردازد، (۲) با بهبود هزینه‌های این ساختمان طی مدت خدمات‌دهی آن بودجه آن را به حداقل می‌رساند و (۳) از بین اندازه‌گیریهای موجود، راهبرد بهبود انرژی بهینه را برای افزایش مزایای اقتصادی طی مدت خدمات‌دهی و بر اساس سرمایه‌گذاریهای موجود انتخاب می‌کند، پرداختند.

این پژوهش بر روی ۳ رویکرد تمرکز دارد: (۱) توجه به هدف جامع اقتصادی برای تصمیم‌گیری بهبود انرژی که اکثر مؤلفه‌های هزینه‌ای ساختمان را دربرمی‌گیرد، (۲) معرفی یک روش پیش‌بینی جدید و

^۱ Life Cycle Energy Management

ساده شده برای انرژی با ادغام مدل‌سازی پویا و ایستا و (۳) ترکیب عدم قطعیت‌های تصمیم‌گیری بهبود انرژی برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر.

مدل توسعه داده شده در این مطالعه به توسعه روش ارزیابی جدید و ساده انرژی می‌پردازد که با مدل‌سازی پویا (با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی eQuest برای شبیه‌سازی عملکرد انرژی یک ساختمان) و مدل‌سازی ایستا (با توسعه روش‌های ریاضی با استفاده از نتایج شبیه‌سازی یک ورودی) ترکیب گردید تا بر ضعف هر دو روش مدل‌سازی در بهبود تصمیم‌گیری انرژی غلبه نماید. در این مطالعه از نرم‌افزار Matlab برای پیاده‌سازی و اجرای GA جهت بهینه‌سازی استفاده شد.

در همین سال آریدا و همکاران [۸۲] به بررسی روش‌های مدل‌سازی سیستم‌های انرژی ساختمان با استفاده از رگرسیون خودکار غیرخطی ANN پرداختند. روش پیشنهادی نویسندگان توانست با ۴ متغیر فرضی به پیش‌بینی کل مصارف انرژی ساختمان بپردازد: دماهای هوای خارجی حباب خشک^۱ و حباب تر^۲، ساعات روز و نوع روزها. این مقاله همین‌طور برای تعیین ساختار بهینه برای مدل با GA به بهینه‌سازی این ساختار پرداخت و حداقل خطای بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده را طی مدت آزمایش به دست آورد. متغیرهای این مسأله یا پارامترهای مدل ANN به ترتیب (۱) تأخیر زمان وارد کردن، (۲) تأخیر زمان بازخورد و (۳) تعداد عصبها بودند.

از شاخص‌های آماری RMSE و CV-RMSE برای اندازه‌گیری دقت مدل استفاده شد. داده‌ها از ساختمان‌های موجود و شبیه‌سازیها جمع‌آوری گردیدند. بخش اول نتایج این پژوهش به مطالعه پارامتری بستگی دارد که با استفاده از Matlab به دست آمد. داده‌های جمع‌آوری شده برای آزمون و آموزش مدل‌های پیشنهادی و همین‌طور فرایند بهینه‌سازی استفاده گردیدند. ساختارهای گوناگون ANN با استفاده از ورودی‌های مختلف و تأخیر بازخورد مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که مدل پیشنهادی می‌تواند به طور دقیق مصارف انرژی ساختمان را پیش‌بینی نماید.

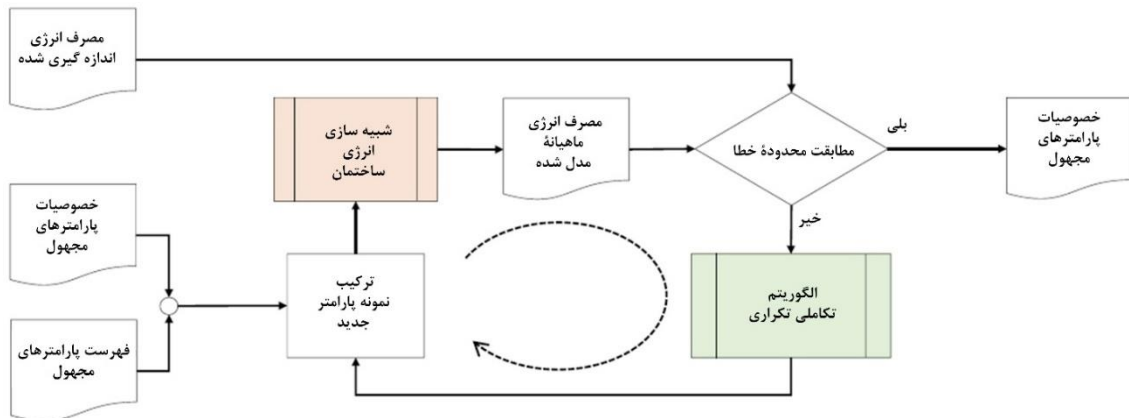
¹ dry-bulb
² wet-bulb

در سال ۲۰۱۸، ناگپال و همکاران [۶۹] برای کاهش محاسبات واسنجی خودکار به پیشنهاد روش خودکار جدیدی که از فن تقریب داده‌محور برای تخمین خصوصیات چند مشخصه مجهول عملکرد ساختمان استفاده می‌کرد، پرداختند.

این روش به جای استفاده از شبیه‌سازیهای بروت فورس و استفاده از مدل‌های مهندسی دقیق از یک الگوریتم بهینه‌سازی (مدل‌های جایگزین آماری) برای تخمین خصوصیات پارامترهای مجهول ساختمان استفاده می‌کند (شکل ۱۰.۲).

در این روش ابتدا داده‌های مصرفی انرژی ماهیانه کل سال برای تعیین خصوصیات مجهول و نامعین ساختمان فرضی جمع‌آوری گردیدند. کل BEM در این مطالعه یک مدل مهندسی است که از موتور شبیه‌ساز انرژی EnergyPlus استفاده می‌کند. سپس این مدل برای تنظیم ترکیبات خصوصیات پارامتر مجهول و تعیین خطای GOF بین مصرف انرژی ماهیانه مشاهده شده و نتایج شبیه‌سازی هر نمونه، آموزش داده شد. در ادامه خصوصیات این پارامتر با استفاده از بهینه‌سازی تخمین زده شدند و مدل‌های دقیق توسعه داده شده در Energyplus استفاده گردیدند. در نهایت نتایج مصرف انرژی حاصل از مدل‌های انرژی جهت ارزیابی کارایی واسنجی با مصرف انرژی اولیه مقایسه گردیدند.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که وقتی اطلاعات پوسته خارجی ساختمان موجود است، این جریان کاری، تخمین‌های دقیقی را برای مشخصات ساختمان ارائه می‌کند که سرعت تخمین ۵۰۰ برابر سریعتر از رویکردهای قدیمی است.



شکل ۱۰.۲ جریان کار روش پیشنهادی ناگیپال و همکاران. یک مدل جایگزین آموزش دیده با تنظیم نتایج شبیه‌سازی دقیق مدل انرژی با الگوریتم بهینه‌سازی برای تعیین [۶۹].

با توجه بررسی‌ای که بر روی BEM در جهت‌گیری بعدی این پایان‌نامه یعنی بهینه‌سازی انجام شد، نوع الگوریتم‌های دنبال شده مرتبط با این جهت‌گیری و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مورد استفاده در جدول ۲.۲ آمده‌اند.

جدول ۲.۲ الگوریتم مورد استفاده برای بهینه‌سازی انرژی و نرم‌افزار مورد استفاده شبیه‌سازی برای EM.

مقاله	سال	الگوریتم استفاده شده	نرم افزار مورد استفاده برای EM
سالکیچ و همکاران [۴۷]	۲۰۱۶	MBPC	EnergyPlus
هانگ و همکاران [۴۳]	۲۰۱۷	GA	EnergyPlus
لارا و همکاران [۶۷]	۲۰۱۷	GA	EnergyPlus
بنی هاشمی و همکاران [۶۸]	۲۰۱۷	ANN	EnergyPlus
جعفری و ولنتین [۷۸]	۲۰۱۷	GA	eQuest
آریدا و همکاران [۸۲]	۲۰۱۷	GA	Matlab
ناگیپال و همکاران [۶۹]	۲۰۱۸	GA	EnergyPlus

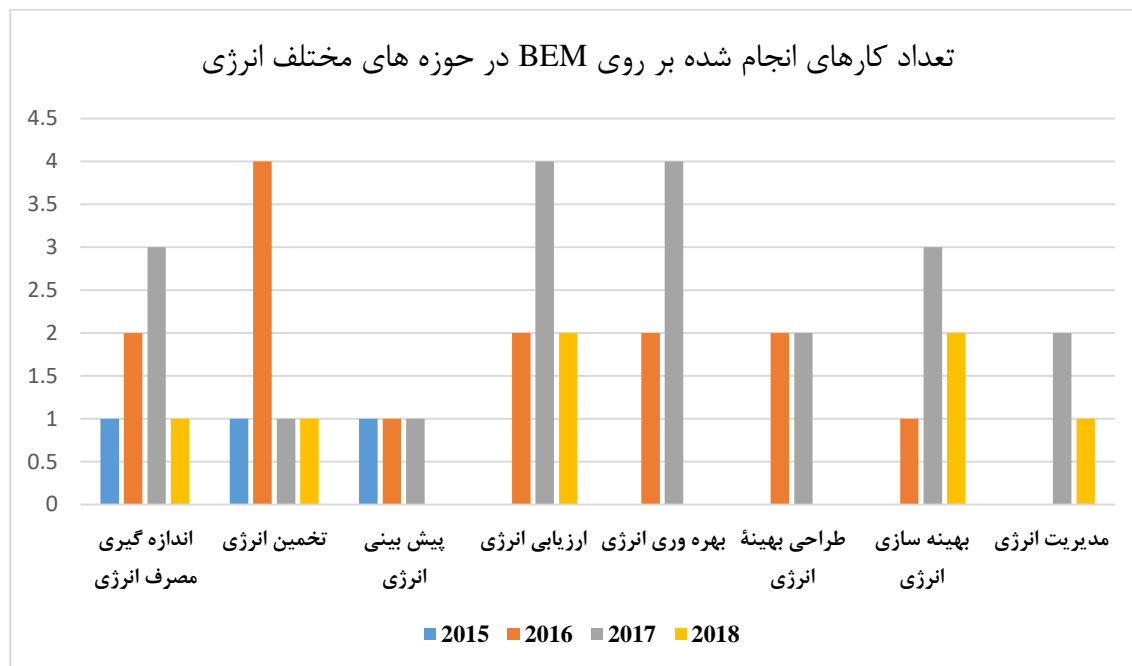
۲.۴ تبادل نظر و محدودیتها

• تبادل نظر

در این پایان‌نامه نویسنده اقدام به بررسی EM از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ و خوشه‌بندی آن در دو حوزه مدل‌سازی و بهینه‌سازی انرژی (همراه با شبیه‌سازی) نموده است.

شکل ۱۱.۲ تعداد کارهای انجام شده بر روی BEM در حوزه‌های مختلف انرژی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. نویسنده با این بررسی متوجه گردید که متداولترین نرم‌افزار شبیه‌سازی استفاده شده

طی این سالها EnergyPlus بوده است. جدول ۳.۲ روشهای جدیدی که برای مدلسازی انرژی طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ ارائه شده‌اند را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱.۲ تعداد کارهای انجام شده بر روی BEM در حوزه‌های مختلف انرژی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸.

جدول ۴.۲ روشهای جدید ارائه شده برای EM.

مقاله	سال	روش جدید ارائه شده برای EM
رحمانی اصل و همکاران [۳۲]	۲۰۱۶	FEPRM
کوئی و همکاران [۴۱]	۲۰۱۶	BEMR
چوداری و همکاران [۴۲]	۲۰۱۶	Autotune
کالینگ و همکاران [۴۴]	۲۰۱۶	مدلسازی هیبریدی
سالاکچ و همکاران [۴۷]	۲۰۱۶	BEAM
بوتاچولی و همکاران [۳]	۲۰۱۷	معماری مدیریت و شبیه‌سازی رفتارهای انرژی
شی و ابراین [۳۴]	۲۰۱۷	کاهش خوشه مدل
ژنگ و همکاران [۵۵]	۲۰۱۷	مدل مصرف اصولی انرژی
یوان و همکاران [۵۸]	۲۰۱۷	روش تقریب پسین با رویکرد بیزی
البلتگی و همکاران [۶۴]	۲۰۱۷	جریان کاری انرژی محور و مطابق با استاندارد
بنی‌هاشمی و همکاران [۶۸]	۲۰۱۷	یکپارچگی پارامترهای پیوسته و گسسته انرژی با تابع هدف
مائوری و همکاران [۹۹]	۲۰۱۷	روش ارتباط مدل جوی با مدل مصرف انرژی
کامل و معماری [۳۶]	۲۰۱۸	ABEMAT
ناگپال و همکاران [۶۹]	۲۰۱۸	روش تقریب داده محور
لی و همکاران [۷۰]	۲۰۱۸	CityBEUM

• محدودیتها

در این پایان‌نامه تلاش شده است تا با بررسی مقالات طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ به کشف تحولات صورت گرفته در زمینه EM پرداخته شود.

با توجه به وسعت EM در حوزه‌های مختلف، تنها رویکردهای مرتبط با این پایان‌نامه یعنی مدلسازی، تخمین و بهینه‌سازی انرژی دنبال گردیده‌اند. همین‌طور این مرور به جز یک مقاله، نشریات غیرانگلیسی که ممکن است تلاشهایی در این زمینه انجام داده باشند را دربر نمی‌گیرد.

از آنجاییکه موضوع تحقیقاتی پایان‌نامه حاضر میان‌رشته‌ای است، لذا دنبال کردن رویکردی تازه با استفاده از تجارب گذشته، خود یک پژوهش علمی به شمار می‌رود. لذا نویسنده این مقاله با ارائه روشی تازه به توسعه طرح گریش و همکاران [۲۴] برای بهینه‌سازی مصرف انرژی جهت بهره‌وری انرژی و آسایش حرارتی می‌پردازد.

فصل ۲

مکانیک حرارت و سیالات و

اجزای محدود (تئوری)

اخیراً ثابت شده است که مصالح ساختمانی از پتانسیل زیادی برای بهبود انتقال حرارت برخوردارند. مصالح ساختمانی نقشهای متفاوتی را در صنعت ساختمان ایفا می‌کنند و باید از ویژگیهای مناسبی برخوردار باشند. با توجه به [۱۰۴] مصالح ساختمانی از خصوصیات حرارتی و غیرحرارتی برخوردارند، ولی در بحثهای آسایش حرارتی و توزیع دما در ساختمان، آوردن تمام پارامترهای این خصوصیات ضرورتی ندارد و فقط پارامترهای کلیدی باید مورد توجه قرار بگیرند و به دقت به نرم‌افزار شبیه‌سازی معرفی گردند. هنگام انجام EM در نرم‌افزار شبیه‌سازی به جریانهای سیال نیاز است که باید با توجه به فضای مدلسازی در نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی از آنها استفاده گردد. این فصل به دو قسمت تفکیک گردیده است که بخش اول به مکانیک حرارت و سیالات و بخش دوم به روش اجزای محدود می‌پردازد.

۲.۳ مکانیک حرارت و سیالات

علم مکانیک حرارت و سیالات در موضوعات مربوط به آسایش حرارتی به بحثهای انتقال حرارت، خواص ترمودینامیکی و جریانهای سیال می‌پردازد. طبق بررسی‌ای که نویسنده پایان‌نامه در [۱۰۴] و همینطور بر روی ارزیابی نقش کلیه مصالح ساختمانی به کار رفته امروزی بر روی توزیع دما در ساختمان انجام داده است، انتقال حرارت (رسانش، همرفت و تشعشع) و از خواص ترموفیزیکی تنها خواص ترمودینامیکی اثر مهمی بر رفتار توزیع دما در ساختمان می‌گذارند. لذا پارامترهای کلیدی تأثیرگذار بر روی توزیع دما و آسایش حرارتی در ساختمان که ما در این پایان‌نامه به آن می‌پردازیم، ضریب رسانش حرارتی k^1 ، ضریب انتقال حرارت کلی h^2 ، ضریب تابش سطح ϵ^3 ، گرمای ویژه در فشار ثابت C_p^4 و چگالی ρ^5 مصالح و نرخ گرمای ویژه γ^6 سیال مدنظر هستند.

¹ thermal conductivity

² overall heat transfer

³ emissivity

⁴ specific heat at constant pressure

⁵ density

⁶ ratio of specific heat

۱.۲.۳ انتقال حرارت

انتقال حرارت، انتقال انرژی گرمایی به خاطر اختلاف دمای ویژه است. اگر در یک سیستم یا بین سیستم‌های در تماس گرمایی با هم، اختلاف دمای ویژه به وجود بیاید، انتقال حرارت رخ می‌دهد. در طراحی عملی یک دستگاه یا تأسیسات کامل که علی‌رغم سایر علوم فنی از جمله ترمودینامیک، مکانیک سیالات، علوم مواد، طراحی مکانیکی و غیره، انتقال گرما نیز در آنها صورت می‌گیرد به علم انتقال حرارت نیاز است. همیشه هدف از طراحی، بهینه‌سازی یا بهبود تولید بوده است. اهداف اصلی تولید هم افزایش بهره‌وری، بهینه‌سازی مصرف منابع، رسیدن به حداقل بار زیست‌محیطی و بهینه‌سازی هزینه‌های تولید هستند. برای دستیابی به این اهداف، فرایندهای انتقال حرارت باید به دقت پیش‌بینی شوند [۱۰۵]. روشهای انتقال حرارت، رسانش و تشعشع هستند و انتقال حرارت با مداخلهٔ رسانش گرمایی و با همرفت منتقل می‌شود.

۱.۱.۲.۳ رسانش

وقتی گرادیان گرمایی^۱ ویژه به وجود می‌آید، رسانش گرمایی در مصالح توسعه می‌یابد. انتقال حرارت مواد ایستا (جامدات و سیالات ایستا) و سیالات شناور با هم متفاوت است. انتقال حرارت مواد ایستا فقط به گردیان گرمایی ویژه و خصوصیات مصالح بستگی دارد. انتقال حرارت بین یک دیوار و سیال شناور با رسانش گرمایی دیوار و سیال و در سیال روی می‌دهد. علاوه بر آن انتقال آنتالپی^۲ هم روی می‌دهد که با نواحی حرارتی مختلف در هم می‌آمیزد. انتقال حرارت با رسانش حرارتی و ضخامت لایهٔ مرزی سیال تعیین می‌شود و سپس تابع پارامترهای جریان و مواد می‌گردد. در لایهٔ مرزی، حرارت با رسانش منتقل می‌شود. شکل ۱.۳ یک دیوار مسطح با ضخامت Δx و رسانش گرمایی k را نشان می‌دهد. در بالا و پایین این دیوار، حرارت به طور کامل ایزوله شده و انتقال حرارت تنها در جهت x ممکن است، لذا این مسئله

¹ temperature gradient

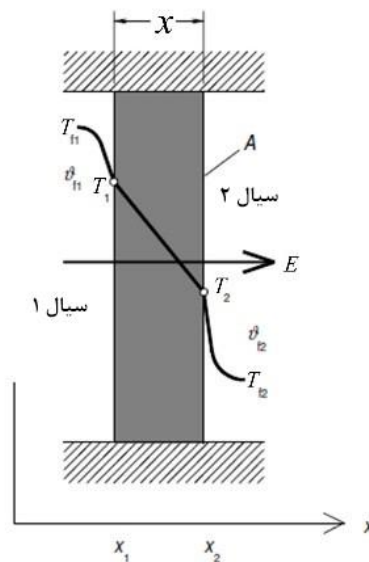
² enthalpy

یک بعدی است. مساحت سطح دیوار A که شار گرمایی از آن عبور می‌کند، ثابت است. معادلهٔ رسانش گرمایی به صورت معادلهٔ ۱-۳ داده می‌شود [۳۷]:

$$E = -k \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1-3)$$

که T_2 دمای خارج و T_1 دمای داخل است. با فرض رسانش گرمایی ثابت، فقط یک نرخ گرما در جهت x وجود دارد و توزیع دما خطی است. ضریب انتقال حرارت به صورت معادلهٔ ۲-۳ تعریف می‌گردد:

$$\vartheta = \frac{k}{\Delta x} = \frac{k}{d} \quad (2-3)$$



شکل ۱.۳ تعیین ضریب انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت کلی [۱۰۵].

گرما بین یک دیوار جامد و یک سیال در اثر عوامل مختلفی مثل باد یا جریان هوا و ... جابجا می‌شود که "انتقال حرارت همرفت" یا به طور مختصر "همرفت" نامیده می‌شود. همرفت دو نوع است: همرفت آزاد^۳ و همرفت اجباری^۴ که این دو همرفت از یکدیگر متمایزند. در همرفت آزاد، جریان سیال به وسیلهٔ جاذبه و به خاطر اختلاف چگالی ناشی از گرادیان گرمایی ویژه به وجود می‌آید. در واقع همرفت آزاد با انتقال حرارت کلی h ناشی از شار گرمایی به وجود می‌آید. در همرفت اجباری این جریان با یک اختلاف فشار خارجی به وجود می‌آید [۳۷]. در مبادلهٔ گرمایی یک دیوار مسطح (شکل ۲.۳) گرما از یک سیال گرم با دمای T_{f1} و با ضریب انتقال حرارت فرضی ϑ_{f1} به یک سیال سرد با دمای T_{f2} و با ضریب انتقال

¹ heat flux
² heat rate
³ free convection
⁴ forced convection

حرارتی فرضی ϑ_{f2} منتقل می‌شود (معادله ۳-۳). از این رو شار گرمایی سیال ۱ به سیال ۲ می‌تواند مستقیماً تعیین گردد [۱۰۵].

$$E = h \cdot A \cdot (T_{f1} - T_{f2}) \quad (۳-۳)$$

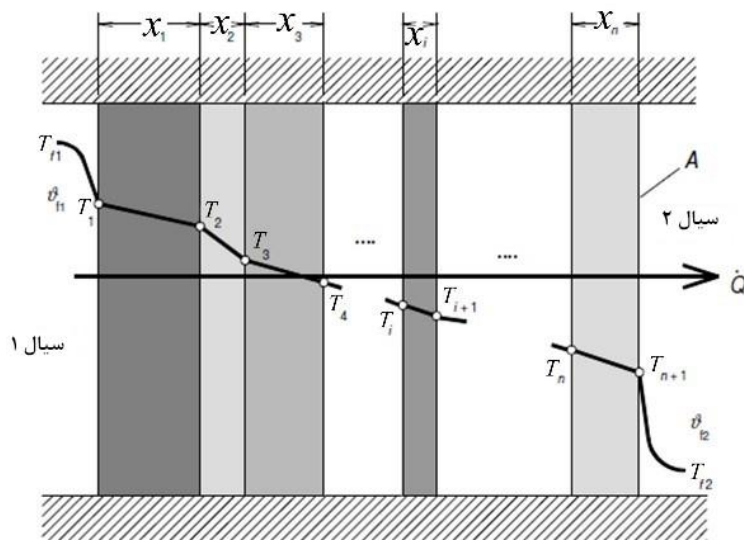
در یک دیوار n لایه با ضخامت‌ها و رسانش‌های حرارتی متفاوت (شکل ۲.۳)، ضریب انتقال حرارت هر لایه می‌تواند با معادله ۳-۴ تعیین گردد [۱۰۵].

$$\vartheta_i = \frac{k_i}{d_i} = \frac{k_{eq}}{d_i} \quad (۴-۳)$$

لذا رسانش گرمایی کلی k_{eq} می‌تواند با معادله ۳-۵ تعیین شود:

$$k_{eq} = \sum_{i=1}^n \vartheta_i d_i = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}} = \frac{d}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i}} \quad (۵-۳)$$

در معادله ۳-۵، d ضخامت کل دیوار و یا مصالح چندلایه و d_i ضخامت لایه‌ها است.



شکل ۲.۳ انتقال حرارت یک دیوار چندلایه [۱۰۵].

الف. مقاومت گرمایی

مقاومت گرمایی^۱ عکس ضریب انتقال حرارت کلی و مجموع معکوسهای ضرایب انتقال حرارت است. معکوس حاصلضرب ضریب انتقال حرارت کلی در مساحت ($1/h \cdot A$) مقاومت گرمایی R نامیده می‌شود. مقاومت‌های گرمایی به صورت مقاومت‌های الکتریکی سری اضافه می‌شوند [۳۷]. رابطه ضریب انتقال حرارت کلی h با مقاومت گرمایی به صورت رابطه ۳-۶ است:

^۱ thermal resistance

$$h = \frac{1}{R \cdot A} \quad (6-3)$$

۲.۱.۲.۳ تشعشع

تشعشع می‌تواند بدون مداخلهٔ هیچ واسطی روی دهد. تمام سطوح و گازهای حاوی بیش از دو اتم به ازای هر مولکول دمای محدود، انرژی‌ای به صورت امواج الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند. رابطهٔ گرمایی از مبادلهٔ امواج الکترومغناطیسی بین دو سطح با دماهای مختلف حاصل می‌شود. امواج تشعشع بسته به مشخصات سطح خود کاملاً یا به طور جزئی در سطح یک جسم منعکس، منتقل یا جذب می‌شوند. نسبت جذب به کل تشعشع α ، نسبت انتقال در برابر کل تشعشع τ و نسبت انعکاس در برابر کل تشعشع ρ است. α ضریب جذب نامیده می‌شود. مجموع این ۳ نسبت همواره برابر با یک است [۱۰۵] (رابطهٔ ۷-۳).

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (7-3)$$

در واقع هر جسم با دمای بیشتر از صفر مطلق، امواج الکترومغناطیسی ساطع می‌کند. توانایی تشعشع یکی از ویژگیهای جسم است. جسم سیاه، جسمی است که توانایی ساطع کردن امواج الکترومغناطیسی در دمای معین و با حداکثر شدت را دارد. توانایی اجسام دیگر برای ساطع نمودن امواج الکترومغناطیسی در دمای برابر با ضریب تشعشع ε تعیین می‌گردد. اجسام جذبی و انتقالی بسته به بازتابش خود به ترتیب بر اساس مشخصات زیر تعیین می‌گردند [۱۰۵]:

- سیاه: تشعشع، کاملاً جذب خواهد گردید ($\alpha = \varepsilon = 1$).
- سفید: تشعشع به طور کامل منعکس می‌شود ($\rho = 1$).
- خاکستری: ضریب جذب تمام طول موجها یکی است ($\varepsilon < 1$).
- رنگی: امواج معین (امواج رنگها) به ترتیب اولویت بازتاب می‌گردند.
- صیقلی^۳: تمام پرتوها با زاویه ای برابر با زاویهٔ ورودی منعکس می‌شوند.

¹ absolute zero

² colored

³ reflective

- نرم و منتشر کننده! تشعشع همراه با انتشار در تمام جهات منعکس می‌شود.

با توجه به شکل ۳.۳، شار گرمایی منتقل شده با تشعشع از سطح دیوارها می‌تواند با معادله ۳-۸ تعیین گردد:

$$E = \sigma \cdot A \cdot \varepsilon \cdot (T_{f1}^4 - T_{f2}^4) \quad (۸-۳)$$

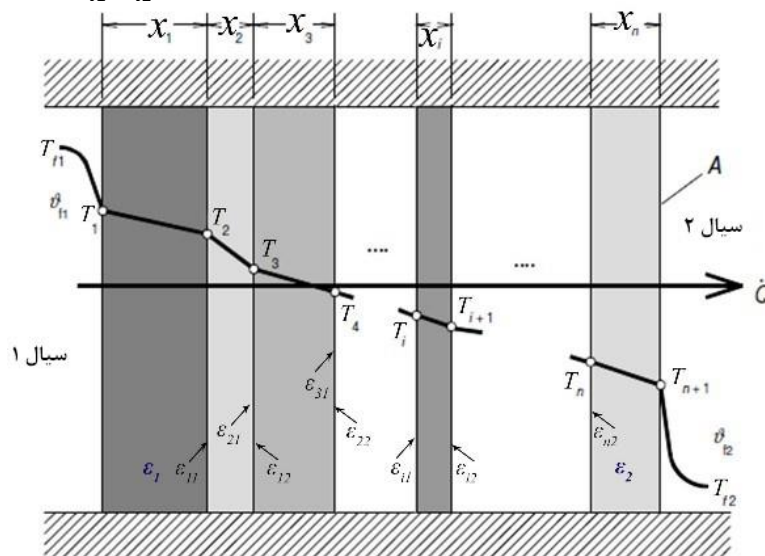
ضریب استفان بولتزمن σ ، می‌تواند با ثوابت فیزیکی و به صورت رابطه ۳-۹ به دست آید [۱۰۵]:

$$\sigma = (5.6696 \pm 0.0075) \cdot 10^{-8} \cong 5.67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad (۹-۳)$$

در دیوار n لایه با ضخامت‌ها و رسانش‌های گرمایی متفاوت (شکل‌های ۲.۳ و ۳.۳)، ضریب کل استفاده

بولتزمن σ_{eq} با معادله ۳-۱۰ [۱۰۵] تعیین می‌گردد:

$$\sigma_{eq} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 + \sum_{i=1}^n (\frac{1}{\varepsilon_{i1}} + \frac{1}{\varepsilon_{i2}} - 1)} \quad (۱۰-۳)$$



شکل ۳.۳ تشعشع گرمایی بین چند سطح خاکستری با اندازه‌های برابر از طریق یک دیوار چندلایه.

با فرض دیوار چندلایه در معادله ۱۰، این تحلیل به نتیجه رابطه ۳-۱۱ می‌رسد:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{i2} = \varepsilon_{(i+1)1} \quad .i = 1 \text{ to } n \\ \varepsilon_{n2} = \varepsilon_2 \end{cases} \quad (۱۱-۳)$$

اگر همرفت وجود داشته باشد، شار گرمایی منتقل شده با تشعشع از سطح دیوارها به صورت معادله

۳-۱۲ محاسبه و با انتقال حرارت کلی جمع می‌گردد [۱۰۵، ۱۰۶ و ۱۰۷]:

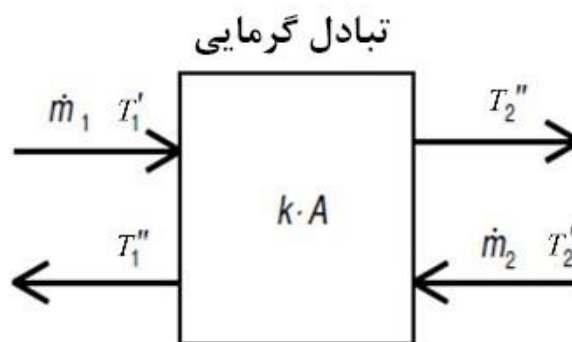
$$E = E_{conv} + E_{rad} = h \cdot A \cdot (T_{f1} - T_{f2}) + \sigma \cdot A \cdot \varepsilon \cdot (T_{f1}^4 - T_{amb}^4) \quad (۱۲-۳)$$

^۱ soft/diffuse

که T_{amb} دمای محیط^۱ است. تغییرات تشعشع با ویژگی سطح ساطع کننده و تشعشع گرمایی روی توزیع حرارت تأثیر می‌گذارند و مقدار دمای فضا را در هر نقطه کاهش می‌دهند.

۲.۲.۳ خواص ترموفیزیکی

طراحی حرارتی و مکانیکی در عمل با هدف بهینه‌سازی خصوصیات ترموفیزیکی دست به دست می‌گردند. خصوصیات ترموفیزیکی بر مبادله گرمایی تأثیر می‌گذارند. در ساختمانها تبادل گرمایی (شکل ۴.۳) بین اتاق و فضای محیط اساساً از طریق تشعشع، رسانش و همرفت به دست می‌آید که در قسمت قبل ذکر شدند.



شکل ۴.۳ شمایی از تبادل گرمایی [۱۰۵].

شار گرمایی q ، جریان گرمایی جامدات به ازای واحد سطح A و زمان t است که از معادله ۳-۱۳ به دست می‌آید [۱۰۵ و ۱۰۸]:

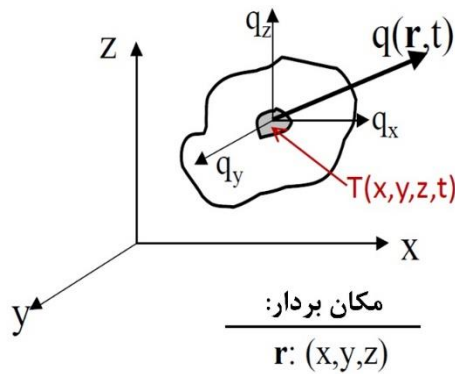
$$q = \frac{E}{At} = -k \frac{\Delta T}{d} \quad (۱۳-۳)$$

در فضای سه‌بعدی اگر تغییرات دما به صورت پیوسته باشد، شار گرمایی به صورت معادله ۳-۱۴ (-۳) بیان می‌شود [۱۰۸] (شکل ۵.۳):

$$q = q(r, t) = -k \cdot \nabla T(r, t) \quad (۱۴-۳)$$

$$\begin{cases} q_x = -k_x \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} \\ q_y = -k_y \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial y} \\ q_z = -k_z \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial z} \end{cases} \quad (۳-۱۴ الف)$$

^۱ ambient temperature



شکل ۵.۳ موقعیت شار گرمایی در فضای سه‌بعدی [۱۰۸].

که معادله ۱۴-۳ بیان ریاضی قانون فوریه^۱ "رسانش گرمایی" است و کُل شار گرمایی از رابطه ۱۵-۳ به دست می‌آید:

$$q(x, y, z, t) = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2} \quad (15-3)$$

لذا یک معادله انتقال حرارت رسانشی^۱ سه‌بعدی در مختصات کارتزین به صورت معادله ۱۶-۳ داده می‌شود که اساس محاسبات دمای یک اتاق به حساب می‌آید [۱۰۸ و ۱۰۹].

$$\rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (-k \cdot \nabla T) + E = (k_x \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) + E \quad (16-3)$$

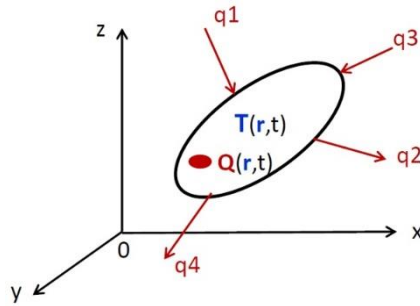
معادله ۱۶-۳ بیان قانون اول ترمودینامیک است. در معادله ۱۶-۳ سمت چپ افزایش انرژی ترمودینامیک هر کدام از اجزا را نشان می‌دهد. شرط اول در سمت راست شارهای گرمایی داخل و خارج از فضا را نشان می‌دهد و شرط دوم گرمای تولید شده E است (شکل ۶.۳). k_x ، k_y و k_z رسانشهای گرمایی در مختصاتهای x ، y و z هستند. C_p ظرفیت گرمایی یا گرمای ویژه در فشار ثابت و ρ چگالی است [۱۰۵، ۱۰۸ و ۱۰۹]. در ادامه جریان بدون تغییر فاز با نرخ گرمای ویژه γ نیز باید برای سیال مدنظر تعریف گردد (شکل ۴.۳ را ملاحظه نمایید). نرخ گرمای ویژه دو جریان سیال از تقسیم نرخ ظرفیت گرمایی W دو سیال به دست می‌آید (معادلات ۱۷-۳ تا ۱۹-۳).

$$W_1 = m_1 \cdot \frac{h_{11} - h_{12}}{T_1' - T_1''} = m_1 \cdot C_{p1} \quad (17-3)$$

$$W_2 = m_2 \cdot \frac{h_{21} - h_{22}}{T_2' - T_2''} = m_2 \cdot C_{p2} \quad (18-3)$$

$$\gamma = \frac{W_1}{W_2} \quad (19-3)$$

^۱ heat conduction



شکل ۶.۳ نحوه انتقال حرارت رسانشی در فضای سه بعدی با قانون اول ترمودینامیک [۱۰۸].

۱.۲.۲.۳ خواص ترمودینامیک

خواص ترمودینامیکی مواد، ظرفیت گرمایی یا گرمای ویژه در فشار ثابت و چگالی هستند. در یک دیوار n لایه با ضخامت‌های مختلف، روش محاسبه نظری چگالی کلی ρ_{eq} و گرمای ویژه کلی در فشار ثابت C_{peq} مبتنی بر معادلات ۲۰-۳ و ۲۱-۳ است که مقدار وزنی تمام قسمت‌های این دیوار چندلایه باید محاسبه شوند [۱۰۹].

$$\rho_{eq} = \frac{\sum_i m_i}{\sum_i V_i} = \frac{\sum_i \rho_i V_i}{\sum_i V_i} \quad (20-3)$$

$$C_{peq} = \frac{\sum_i m_i C_i}{\sum_i \rho_i V_i} = \frac{\sum_i \rho_i V_i C_i}{\sum_i \rho_i V_i} \quad (21-3)$$

و V حجم مواد استفاده شده است.

۳.۲.۳ جریان سیالات

جریان‌های یک سیال به ترتیب: پایا و گذرا؛ تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر؛ یکنواخت و غیر یکنواخت؛ لایه‌ای و آشفته؛ ایده‌آل و حقیقی؛ یک بعدی و دوبعدی و سه بعدی؛ داخلی و خارجی؛ توسعه یافته و در حال توسعه؛ چرخشی و غیر چرخشی؛ تکفاز و چندفاز هستند [۱۱۰]. در این پایان‌نامه چون در

¹ Steady and Unsteady flows

² Compressible and Incompressible flows

³ Uniform and Non-uniform flows

⁴ Laminar and Turbulent flows

⁵ Ideal and Real flows

⁶ One-dimensional and Two-dimensional and Three-dimensional flows

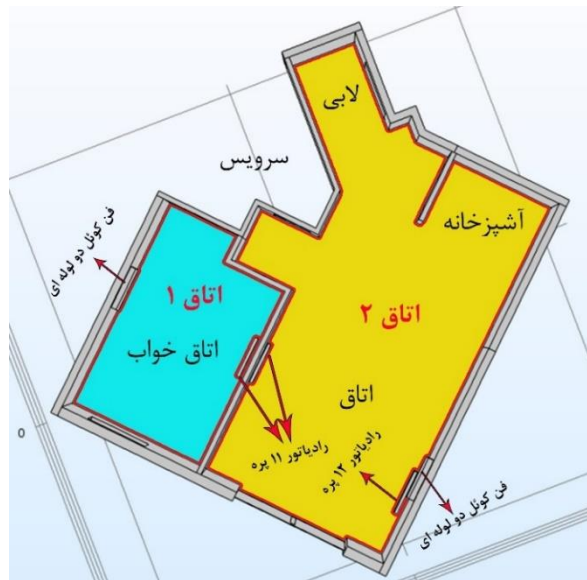
⁷ Internal and External flows

⁸ Developed and Developing flows

⁹ Rotational and Non-rotational flows

¹⁰ Single phase and Multi phase flows

زمستان از فن کوئل برای خنک کردن فضا و در زمستان از رادیاتور برای گرم نمودن فضا استفاده می‌شود، در EM فضا با رادیاتور از جریان لایه‌ای و در EM فضا با فن کوئل از جریان آشفته استفاده می‌گردد. در هنگام استفاده از جریان لایه‌ای با فرض ناچیز بودن فشار هوا، سیال تراکم‌ناپذیر و در هنگام استفاده از جریان آشفته سیال تراکم‌پذیر فرض می‌شود (شکل ۷.۳).



شکل ۷.۳. نمایی از اتاقهای واحد مورد مطالعه و محل قرارگیری فن کوئلهای و رادیاتورها در اتاقها از بالا.

۱.۳.۲.۳ جریانهای تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر

جریانی تراکم‌ناپذیر است که چگالی آن تابع مختصات و زمان نباشد و همچنین در صورت وجود میدان سرعت V ، دیورژانس آن $\nabla \cdot V$ صفر گردد. این موضوع در جریان تراکم‌پذیر بالعکس است (معادلات ۲۲-۳ و ۲۳-۳).

$$\frac{\partial \rho}{\partial(x,y,z,t)} \neq 0 \rightarrow \text{جریان تراکم‌پذیر} \quad (22-3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial(x,y,z,t)} = 0 \rightarrow \text{جریان تراکم‌ناپذیر} \quad \nabla \cdot V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (23-3)$$

در سیالات، مایعات عملاً تراکم‌ناپذیر و گازها تراکم‌پذیر هستند. با این حال اگر مایع، تحت فشار بالایی قرار بگیرد، تراکم‌پذیر می‌گردد و اگر تغییرات فشار ناچیز باشند، گاز تراکم‌ناپذیر است. ارنست ماخ

فرضیات تراکم‌پذیری و تراکم‌ناپذیری سیالات را با عدد ماخ^۱ (Mach number) بیان می‌کند (رابطه ۲۴-۳):

$$Ma = \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \quad (24-3)$$

به این ترتیب اگر در سیالی مقدار عدد ماخ بزرگتر یا مساوی ۰/۰۱ باشد، سیال تراکم‌پذیر و اگر مقدار این عدد کوچکتر از ۰/۰۱ باشد، سیال تراکم‌ناپذیر است. برای سیالهای گازی که دارای عدد ماخ کوچکتر از ۰/۳ هستند، می‌توان سیال را تراکم‌پذیر در نظر گرفت.

۲.۳.۲.۳ جریانهای لایه‌ای و آشفتنه

در جریان آرام یا لایه‌ای، ذرات سیال مسیرهایی منظم و هموار را طی می‌کنند، به طوری که هر لایه به آرامی روی لایه مجاور خود می‌لغزد. این جریان از قانون لزجت نیوتن و یا تعمیم آن یعنی قانون استوکس پیروی می‌کند که تنشهای برشی τ در آن ظاهر می‌گردند (معادله ۲۵-۳):

$$\tau = (\eta + \mu) \left(\frac{du}{dy} \right) \quad (25-3)$$

که u سرعت جریان، η لزجت گردابی و μ ضریب ویسکوزیته سیال است. در وضعیتی که ویسکوزیته کم، سرعت جریان زیاد و طول مشخصه (مثلاً قطر لوله) زیاد باشد، جریان، پایداری خودش را حفظ نمی‌کند و به خاطر وجود جریانهای اِدی^۲ محلی (شکل ۸.۳)، نوسانات در آن به وجود می‌آیند و به جریان آشفتنه تبدیل می‌شود. در این جریان، ذرات سیال به علت انرژی جنبشی زیاد، مسیرهایی نامنظمی را طی می‌کنند و با برخورد به یکدیگر سبب انتقال انرژی می‌شوند. معیار کمی برای تشخیص این جریان استفاده از عدد رینولدز^۳ (Re) (رابطه ۲۶-۳) است. وقتی Re کوچک باشد، جریان لایه‌ای است (شکل ۹.۳)، ولی در Re بیشتر به خاطر وجود جریانهای اِدی محلی، جریان لایه‌ای به جریان آشفتنه تبدیل می‌گردد.

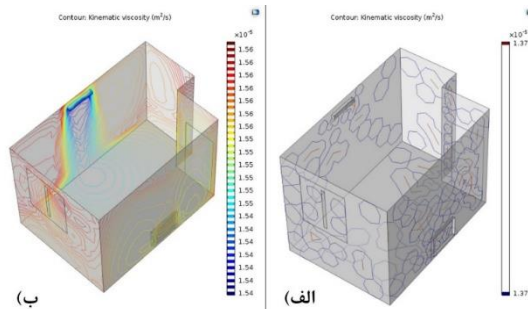
$$Re = \frac{\rho |u| l}{\mu} = \frac{|u| l}{\nu} \quad (26-3)$$

^۱ Ma : نسبت سرعت سیال به سرعت صوت در همان سیال است. عدد ماخ یک پارامتر بی‌بعد است که در آیرودینامیک جریانهای تراکم‌پذیر دارای اهمیت زیادی است.

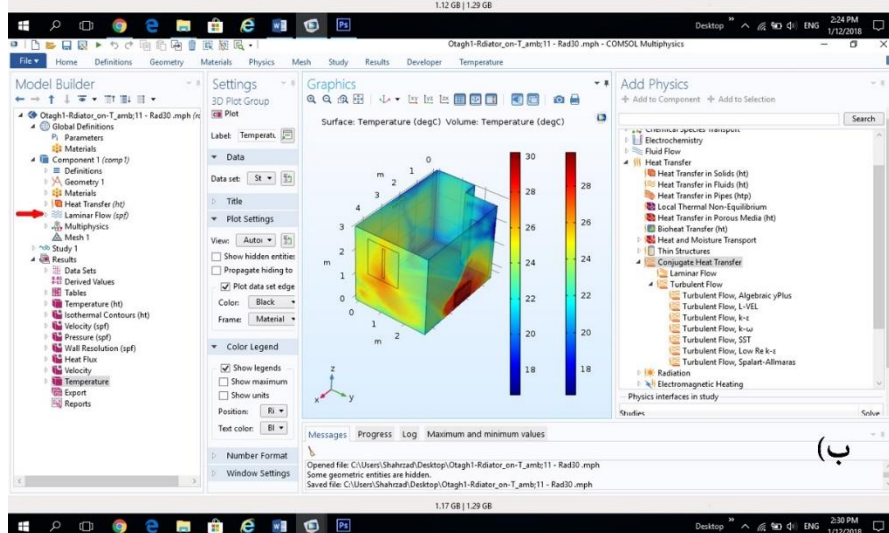
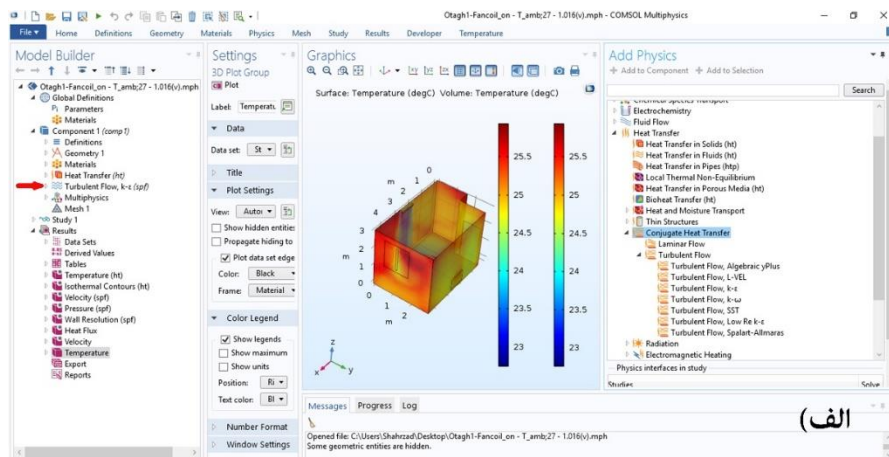
^۲ Eddy flows

^۳ Reynolds number

که l طول مشخصه یک سیال (عرض کانال، قطر هیدرولیک، قطر مانع یا انسداد)، ρ چگالی سیال و ν ویسکوزیته سینماتیکی است.



شکل ۳.۸ جریانهای اِدی محلی اتاق ۱، (الف) وقتی رادیاتور روشن است، جریان لایه‌ای است و (ب) وقتی فن کوئل روشن است، جریان لایه‌ای به جریان آشفته تبدیل می‌شود.



شکل ۳.۹ اجرای جریانهای لایه‌ای و آشفته اتاق ۱ در نرم‌افزار EM (فلشهای قرمز رنگ در شکل)، (الف) جریان آشفته (برای فن کوئل) و (ب) جریان لایه‌ای (برای رادیاتور).

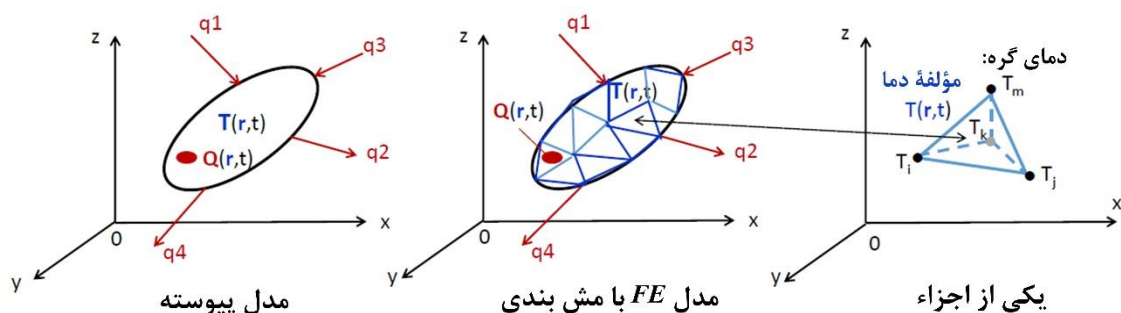
¹ kinematic viscosity

الف- مدل آشفتۀ استاندارد $k - \epsilon$

در این پایان‌نامه از بین مدل‌های آشفتۀ، مدل استاندارد لاندِر و اسپالدینگ^۱ [۱۱۱] استفاده گردید. این مدل بر پایه انرژی جنبشی آشفتۀ k و نرخ پراکندگی ϵ است و با معادله میانگین‌گیری رینولدز ناویه-استوکس^۴ (RANS) حل می‌شود.

۳.۳ روش اجزای محدود

اجزای محدود^۵ (FE) روشی عددی برای حل معادله‌های دلخواه دیفرانسیل با مشتقات جزئی^۶ (PDEs) است که بر خلاف پایه ریاضی بسیار ساده و مختصر FDM، ریاضیاتی نسبتاً پیچیده دارد. اولین قدم برای تحلیل اجزای محدود، تبدیل ساختار پیوسته به مدل اجزای محدود با استفاده از روش مش‌بندی است (در این روش فضای مسئله به اجزای کوچکتر خطی، درجه ۲^۷ و یا درجه ۳^۸ تقسیم می‌گردد که در تحلیل اجزای محدود بیشتر از مش‌بندی درجه ۲ استفاده می‌شود. در مش‌بندی درجه ۲ ابتدا کل فضا به گره‌های گسسته تبدیل و سپس بین گره‌ها مثلث ایجاد می‌شود) [۱۰۸ و ۱۱۲]. در تحلیل اجزای محدود انتقال حرارت رسانشی، دما و گره‌ها، مقادیر معلوم اولیه هستند (شکل ۱۰.۳) [۱۰۸].



شکل ۱۰.۳ تبدیل ساختار پیوسته به مدل FE [۱۰۸].

سپس از معادله تحلیل تنش^۹ (رابطه ۳-۲۷) برای تحلیل انتقال حرارت رسانشی استفاده می‌شود [۱۰۸]:

¹ Launder and Spalding
² turbulence kinetic energy
³ dissipation rate
⁴ Reynolds-Averaged Navier-Stokes
⁵ Finite Element
⁶ Partial Differential Equations
⁷ Quadratic
⁸ Cubic
⁹ interpolation function for stress analysis

دمای گره $\{T\} \times$ تابع درونیایی $[N(x, y, z)] =$ مؤلفه دما T . (۲۷-۳)
 که تابع درونیایی به صورت زیر است (معادله ۳-۲۸):

$$[N(x, y, z)] = \{N_i \quad N_j \quad N_k \quad N_m\} \quad (28-3)$$

دمای گره نیز به صورت زیر تعریف می‌گردد (معادله ۳-۲۹):

$$\{T\} = \{T_i \quad T_j \quad T_k \quad T_m\}^T \quad (29-3)$$

گرادیانهای دمای این مؤلفه بر حسب دمای گره و با مشتق رابطه ۳-۲۷ به صورت رابطه ۳-۳۰ به دست می‌آیند:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T(x,y,z)}{\partial x} \\ \frac{\partial T(x,y,z)}{\partial y} \\ \frac{\partial T(x,y,z)}{\partial z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial N_j}{\partial x} & \frac{\partial N_k}{\partial x} & \frac{\partial N_m}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial y} & \frac{\partial N_m}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_j}{\partial z} & \frac{\partial N_k}{\partial z} & \frac{\partial N_m}{\partial z} \end{bmatrix} \{T\} = [B]\{T\} \quad (30-3)$$

که ماتریس $[B]$ به صورت زیر است (رابطه ۳-۳۱):

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial N_j}{\partial x} & \frac{\partial N_k}{\partial x} & \frac{\partial N_m}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial y} & \frac{\partial N_m}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_j}{\partial z} & \frac{\partial N_k}{\partial z} & \frac{\partial N_m}{\partial z} \end{bmatrix} = [B] \quad (31-3)$$

و در نهایت دمای گره به صورت معادله ۳-۳۲ محاسبه می‌شود:

$$\{T\} = [B]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial N_j}{\partial x} & \frac{\partial N_k}{\partial x} & \frac{\partial N_m}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial y} & \frac{\partial N_m}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_j}{\partial z} & \frac{\partial N_k}{\partial z} & \frac{\partial N_m}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (32-3)$$

در حالت کلی روشی که برای حل معادلات FE و با شرایط مرزی به کار گرفته می‌شود، روش گالریکین^۱

است. یک معادله انتقال حرارت رسانشی با استفاده از روش گالریکین به صورت معادله ۳-۳۳ است

$$[108]:$$

$$\int_v \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - E + \rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \right) N_i dv = 0 \quad (33-3)$$

سپس این انتگرال حجمی با در نظر گرفتن شرایط مرزی و برای رسیدن به تعادل گرمایی به صورت

$$\text{معادله ۳-۳۴ به صورت مجموع انتگرالهای سطحی و حجمی درمی‌آید [108]:}$$

¹ Galerkin method

$$\int_v \rho c \frac{\partial T(x,y,z,t)}{\partial t} N_i dv - \int_v \left[\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_i}{\partial z} \right] \{q\} dv = \int_v Q N_i dv - \int_{s_1} \{q\}^T \{n\} N_i ds - \int_{s_2} q_s N_i ds - \int_{s_3} h(T - T_f) N_i ds \quad (34-3)$$

معادله ۳-۳۴ پس از رسیدن به تعادل گرمایی به معادله ۳-۳۵ تبدیل می‌گردد [۱۰۸]:

$$[C]\{\dot{T}\} + ([K_c] + [K_h])\{T\} = \{R_T\} + \{R_q\} + \{R_h\} \quad (35-3)$$

که ماتریسهای ضرایب محاسبه شده در معادله ۳-۳۵ به صورت معادلات ۳-۳۶ تا ۳-۴۲ هستند [۱۰۸]:

$$[C] = \int_v \rho c [N]^T [N] dv \quad (36-3)$$

$$[K_c] = \int_v k [B]^T [B] dv \quad (37-3)$$

$$[K_h] = \int_{s_3} h [N]^T [N] ds \quad (38-3)$$

و ماتریسهای نیروی حرارتی گر در معادله ۳-۳۵ نیز به صورت زیر هستند [۱۰۸]:

$$s_1 \{R_T\} = - \int_{s_1} \{q\}^T \{n\} [N]^T [N] ds \quad (39-3)$$

$$\{R_Q\} = - \int_v Q [N]^T dv \quad (40-3)$$

$$s_2 \{R_q\} = - \int_{s_2} q_s [N]^T ds \quad (41-3)$$

$$s_3 \{R_h\} = \int_{s_3} h T_f [N]^T ds \quad (42-3)$$

در این پایان‌نامه روش اجرای نرم‌افزار شبیه‌سازی به این صورت است که ابتدا کلیه پارامترها (پیوست

۱؛ شرح کار با نرم‌افزار COMSOL) به نرم‌افزار معرفی می‌گردند. سپس معادلات دیفرانسیل این

پارامترها با اضافه کردن ماژولهای انتقال حرارت و جریان سیالات نرم‌افزار برای آنها تعریف می‌شوند.

پس از آن مش‌بندی هندسه ساختمان با FEM انجام می‌گیرد و معادلات ماتریسی دیفرانسیلی تشکیل

می‌گردند. در انتها نرم‌افزار با استفاده از FDM و رگرسیون گوسی به حل این معادلات دیفرانسیلی

می‌پردازد.

فصل ۴

همینه سازی (توری)

۱.۴ مقدمه

بهینه‌سازی روش یافتن راه‌حلهای بهینه‌ای است که این راه‌حلها از کیفیت بهتری نسبت به سایر راه‌حلها برخوردارند. ما اغلب به دنبال یک راه‌حل بهینه جهانی هستیم که در کل فضای راه‌حل به بهترین نتیجه برسد. یافتن این راه‌حل می‌تواند کاری خسته‌کننده باشد و همینطور فضای راه‌حل از محدودیتهایی مثل نویز، شرایط برانزنگی نامعلوم، ناپایداری و تعداد زیادی حداقل محلی^۱ برخوردار باشد [۱۱۳].

۱.۱.۴ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) یکی از الگوریتمهای فرا ابتکاری است که از علم ژنتیک و از نظریه داروین الهام گرفته است و بر پایه بقای برترینها و انتخاب طبیعی عمل می‌کند. کاربرد متداول GA، استفاده از آن در حل مسائل بهینه‌سازی است. در مسائل بهینه‌سازی، اگر مدلسازی درست انجام گیرد، GA ها قادرند تا به بهترین راه‌حل بهینه برای مسائلی که در عمل اتفاق می‌افتند، دست یابند. در واقع این الگوریتم باید قادر باشد تا برای فضای راه‌حل پیوسته به یک تقریب بهینه سریع و با دقت تقریباً دلخواه برسد. لذا این الگوریتمها برای حل مسائل بهینه‌سازی سخت که روشهای بهینه‌سازی کلاسیک به دلیل شرایط دشواری مثل ناپایداری، مشتق ناپذیری^۲، نویز و غیره شکست می‌خورند، روشهایی عالی به حساب می‌آیند [۱۱۳].

۱.۱.۱.۴ ساختار الگوریتم ژنتیک

فرضیه تکامل با کشف اسید نوکلئیک دئوکسی ریبوز^۳ (DNA) توسعه یافت. روند تکامل با راه‌حلهای مقارنهای تصادفی یا دستی آغاز می‌شود. چرخه تکامل با عملگر آمیزش و با بازترکیب دو راه‌حل یا بیشتر شروع می‌شود. سپس حاصل این آمیزش تغییر پیدا می‌کند و یا بهتر است بگوییم جهش می‌یابد. بهترین راه‌حلهایی که با این روش تولید می‌شوند برای نسل بعدی انتخاب می‌گردند. در نهایت، در صورتیکه چرخه تکامل با شرط پایانی رو به رو گردد، بررسی می‌شود و در غیر این صورت بهینه‌سازی

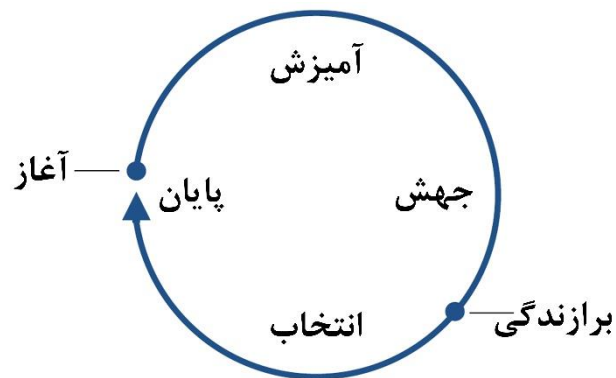
^۱ local minimum

^۲ non-derivability

^۳ deoxyribose nucleic acid

^۴ crossover

ژنتیک ادامه می‌یابد. عملگر انتخاب به انتخاب راه‌حل بهتری که می‌تواند والد یا فرزند باشد، می‌پردازد. عملگرهای آمیزش و جهش^۱ می‌توانند برای تمام راه‌حلها طراحی شوند (شکل ۱.۴) [۱۱۳]. در ادامه این فصل مفاهیم پایه‌ای GA شرح داده می‌شوند و سپس عملگرها معرفی می‌گردند.



شکل ۱.۴ چرخه آغاز، آمیزش، جهش، محاسبه برازندگی، انتخاب و پایان GA [۱۱۳].

۲.۱.۱.۴ مفاهیم پایه‌ای الگوریتم ژنتیک

عملگرهای ژنتیک به تولید راه‌حل‌های تازه برای انتخاب می‌پردازند و اجازه پیمودن مسیر در فضای راه‌حل را به آنها می‌دهند. برنامه‌نویسی راه‌حل مدنظر با توجه به فرایند تکامل، ژنوتیپ^۲ (سرشت ارثی یک موجود) یا کروموزوم نامیده می‌شود. تا زمانیکه جمعیت کامل نشود، حلقه اصلی نسل GA با آمیزش و جهش به تولید راه‌حل‌های نسل^۳ داوطلب می‌پردازد [۱۱۳] (جدول ۱.۴).

جدول ۱.۴ الگوریتم GA پایه [۱۱۳].

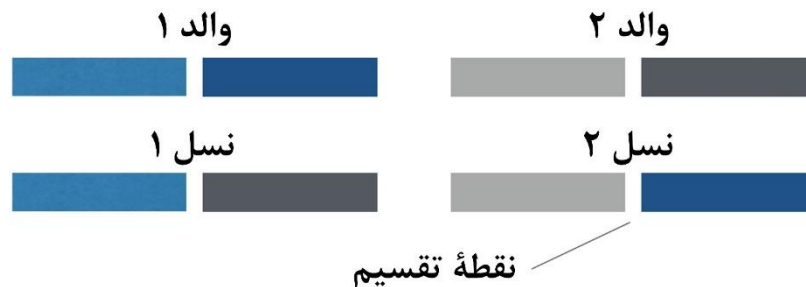
الگوریتم ۱ الگوریتم GA پایه
1: initialize population
2: repeat
3: repeat
4: crossover
5: mutation
6: phenotype mapping
7: fitness computation
8: until population complete
9: selection of parental population
10: until termination condition

¹ mutation
² genotype
³ offspring

در ادامه، هر یک از عملگرهای فوق به صورت جداگانه معرفی می‌شوند:

الف - آمیزش

عملگر آمیزش، عملگری است که اجازه می‌دهد مواد ژنتیکی دو راه‌حل یا بیشتر با هم ترکیب شوند [۱۱۴]. در GA ها می‌توان عملگرهای آمیزش را تا بیشتر از دو والد هم گسترش داد [۱۱۳].



شکل ۲.۴ نمایشی از آمیزش تک‌موضعی که ژنوم را به موضع دلخواه (در اینجا از وسط) تقسیم و دوباره آنها را برای ایجاد دو راه‌حل تازه با هم جمع می‌کند [۱۱۳].

عملگرهای آمیزش در GA ها با انجام مکانیسمی که در ادامه شرح داده می‌شود، مواد ژنتیکی والد را با هم درمی‌آمیزند. یک مکانیسم مشهور برای نمایش رشته بیتی، آمیزش n موضعی (نقطه‌ای) است. این مکانیسم دو راه‌حل را به n موضع تقسیم می‌کند و یک در میان آنها را با موضع جدید جمع می‌نماید (شکل ۲.۴). مثلاً اگر 0010110010 والد اول و 1111010111 والد دوم باشد، آمیزش تک‌موضعی به طور تصادفی به انتخاب یک موضع خواهد پرداخت و اگر فرض کنیم موضع ۴ را انتخاب کند، دو راه‌حل نسلِ داوطلب، $0010-010111$ و $1111-110010$ خواهند بود. انگیزه چنین عملگری این است که هر دو رشته، راه‌حلهای موفقتری از والدینشان را نشان دهند. این عملگر می‌تواند به سادگی در موضعهای بیشتری که راه‌حلها تقسیم و دوباره یک در میان جمع می‌شوند، گسترش یابد [۱۱۳].

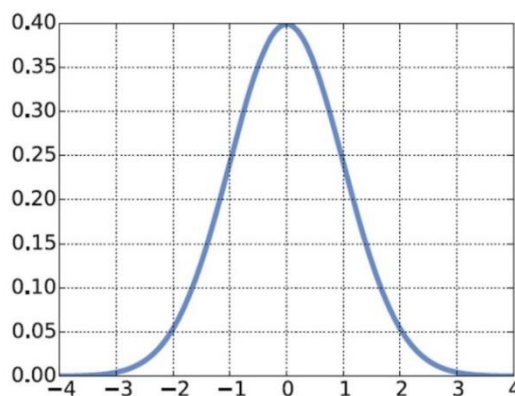
ب - جهش

دومین عملگر GA، جهش نام دارد. عملگرهای جهش با برهم زدن راه‌حلها آنها را تغییر می‌دهند. جهش مبتنی بر تغییرات تصادفی است. قدرت این برهم زدن، نرخ جهش^۱ (اندازه گام) نام دارد. عملگرهای

^۱ mutation rate

^۲ step size

جهش ۳ شرط اصلی دارند: شرط اول دستاورد^۱ است. هر نقطه (موضع) در فضای راه‌حل باید از یک نقطه اختیاری در فضای راه‌حل، قابل دسترسی باشد. باید شانس خیلی کمی برای رسیدن به هر بخشی از فضای راه‌حل وجود داشته باشد. در غیر این صورت، احتمال به دست آمدن نقطه بهینه کم خواهد بود. شرط دوم طراحی خوب عملگرهای جهش، بی قید و شرط بودن^۲ است. عملگر جهش دست کم در فضاهای راه‌حل بدون محدودیت^۳ نباید سبب هدایت یک مسیر به مسیری خاص شود. در صورت وجود فضاهای راه‌حل محدود، بایاس^۴ می‌تواند سودمند باشد [۱۱۴ تا ۱۱۶]. شرط سوم عملگرهای جهش، مقیاس‌پذیری^۵ است. هر عملگر جهش باید به ارائه درجه آزادی^۶ (DOF) که مقدار آن مناسب است، پردازد. این معمولاً برای عملگرهای جهشی که بر اساس توزیع احتمالی هستند، امکان‌پذیر است. مثلاً برای جهش گوسی که مبتنی بر توزیع گوسی است، انحراف معیار می‌تواند نمونه‌های تصادفی کل فضای راه‌حل را اندازه‌گیری نماید. این جهش معمولاً با توجه به طول نمایش انتخاب می‌شود. اگر N طول رشته بیت باشد، هر بیت با نرخ جهش $1/N$ تکرار می‌شود. جهش گوسی برای نمایشهای پیوسته، متداولترین عملگر به شمار می‌رود. اکثر فرایندها در طبیعت از توزیع گوسی تبعیت می‌کنند (شکل ۳.۴) [۱۱۳].



شکل ۳.۴. توزیع گوسی اساس عملگر جهش گوسی است و به هر بخش از کروموزوم نوبت اضافه می‌کند [۱۱۳].

¹ reachability
² unbiasedness
³ unconstrained
⁴ bias
⁵ scalability
⁶ Degree of Freedom

ج- نگاشت ژنوتیپ - فنوتیپ^۱

پس از آمیزش و جهش، جمعیت نسل باید مورد ارزیابی قرار بگیرد. هر راه حل داوطلبانه باید با توجه به توانایی اش در حل مشکل بهینه سازی مورد ارزیابی قرار بگیرد. بسته به نمایش نگاشت این کروموزوم، ژنوتیپ به راه حل واقعی که به عنوان فنوتیپ شناخته می شود، نیاز دارد. این نگاشت باید از ایجاد بایاس جلوگیری نماید [۱۱۳].

د- برازندگی

در مرحله محاسبه برازندگی، فنوتیپ یک راه حل با یک تابع برازندگی^۲ مورد ارزیابی قرار می گیرد. تابع برازندگی به اندازه گیری کیفیت راه حل هایی که GA تولید کرده است، می پردازد [۱۱۳].

ر- انتخاب

برای تخصیص همگرایی به راه حل های بهینه، بهترین راه حل های نسل باید به عنوان والد نسل جدید انتخاب شوند. از این رو مازاد راه حل های نسل، تولید می شوند و بهترین انتخاب در جهت بهینه سازی برای دستیابی به پیشرفت انجام می گیرد. این روند انتخاب بر اساس مقادیر برازندگی این جمعیت انجام می گیرد. عملگرهای انتخاب نخبگان^۳ به انتخاب بهترین راه حل های نسل به عنوان والد می پردازند. انتخاب فاصله جزئی^۴، μ را بهترین راه حل از راه حل های نسل λ انتخاب می کند. انتخاب اضافی^۵، μ را بهترین راه حل از راه حل های نسل λ و والدین پیر μ که منجر به ایجاد آنها می شوند، انتخاب می کند. چرخ رولت^۶ نیز به انتخاب برازندگی نسبی مشهور است و راه حل های والد را با توزیع یکنواخت و به طور تصادفی انتخاب می کند. احتمال انتخاب شدن به برازندگی یک راه حل بستگی دارد. عملگر انتخاب مشهور دیگر، انتخاب مسابقه ای^۷ است. در اینجا مجموعه راه حل ها به طور تصادفی انتخاب و در زیرمجموعه رقابت، در

¹ phenotype

² fitness function

³ Elitist

⁴ Comma selection

⁵ Plus selection

⁶ Roulette wheel

⁷ tournament selection

نهایت بهترین راه‌حلها به عنوان والدین جدید انتخاب می‌شوند. این دیدگاه مستقیماً قانون بقای اصلح داروین را پیاده‌سازی و اجرا می‌کند [۱۱۳].

۵- پایان

شرط پایان^۱ وقتی تعریف می‌شود که حلقه تکاملی به انتها برسد. GA اغلب برای تعداد از پیش تعریف شده نسل اجرا می‌شود. زمان و هزینه ارزیابیهای تابع برازندگی ممکن است به طول فرایند بهینه‌سازی محدود شوند. مناسبترین شرط پایان، همگرایی فرایند بهینه‌سازی است. پیشرفت بهبود تابع برازندگی ممکن است با تقریب مطلوب به میزان زیادی کاهش یابد. اگر روند قابل توجهی مشاهده نگردد، فرایند تکامل متوقف می‌گردد [۱۱۳].

۲.۱.۴ روش تاگوچی

به طور کلی، آزمایشات برای مطالعه عملکرد سیستمها یا فرایندها استفاده می‌شوند و در حال حاضر رویکرد دکتر گنجیچی تاگوچی^۲ به بهبود اکثر فنون مهندسی کاربردی جهان می‌پردازد و تقریباً توسط هر مهندسی به رسمیت شناخته می‌شود. با توجه به نتایج آزمایشات، یک آزمایش ممکن است برای دستیابی به عملکرد بهتری که روش سعی و خطا^۳ نامیده می‌شود، به تنظیم مقادیر پارامترهای سیستم آزمایش بعدی بپردازد. نقطه ضعف این راهبرد وقتی است که نتیجه به دست آمده بهینه نباشد و یا پس از تعداد زیادی آزمایش شرایط سیستمها برآورده نشوند. روش تاگوچی یکی از روشهای سعی و خطاست که از مزیت‌های زیر برخوردار است [۱۱۷ و ۱۱۸]:

- پیاده‌سازی و اجرای راحت؛
- کاهش مؤثر بررسیهای آزمایش؛
- سرعت همگرایی سریع؛
- نتایج بهینه جهانی؛

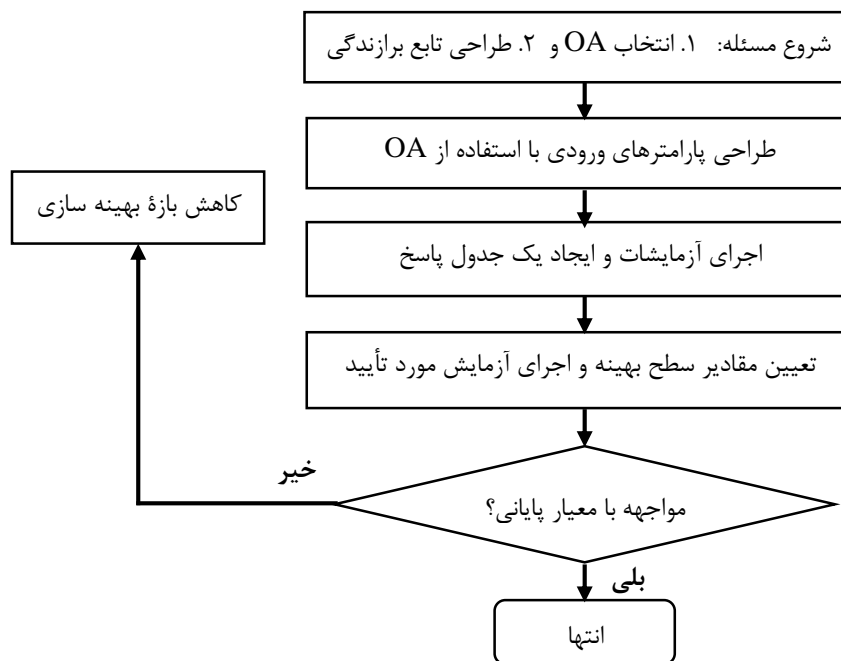
¹ termination

² Genichi Taguchi

³ a trial-and-error approach

- مستقل از مقادیر اولیه پارامترهای بهینه‌سازی.

روش تاگوچی بر اساس آرایه‌های متعامد^۱ (OAs) توسعه یافت که به بحث آمار برمی‌گردد [۱۱۹]. OA ها در دهه ۱۹۴۰ معرفی و به طور گسترده در آزمایشات طراحی مورد استفاده قرار گرفتند. این آرایه‌ها روشی مؤثر و منظم برای تعیین پارامترهای کنترلی به شمار می‌روند، به طوری که نتیجه بهینه می‌تواند با تنها چند اجرای آزمایشی به دست آید. نمودار روش بهینه‌سازی تاگوچی در شکل ۴.۴ آمده است.



شکل ۴.۴ نمودار روش بهینه‌سازی تاگوچی [۱۲۰].

در روش تاگوچی، تابع برازندگی با توجه به هدف بهینه‌سازی انتخاب می‌شود. سپس پارامترهای ورودی باید برای اجرای آزمایشات انتخاب شوند. وقتی OA استفاده می‌شود، با استفاده از جدول تاگوچی (پیوست ۲) مقادیر عددی حداکثر ۵ سطح از هر پارامتر ورودی باید تعیین شوند.

۱.۲.۱.۴ انجام آزمایشات و ایجاد جدول پاسخ

پس از تعیین پارامترها، تابع برازندگی هر آزمایش می‌تواند محاسبه شود. سپس مقدار برازندگی می‌تواند با استفاده از روش SNR و ANOVA همگرا گردد.

^۱ Orthogonal Arrays

الف- روش سیگنال به نویز

در روش تاگوچی تابع برازندگی با SNR و با استفاده از رابطه ۴-۱ همگرا می‌شود [۱۲۰]:

$$\eta = -20 \log(\text{برازندگی}) \quad (۱-۴)$$

از این رو، نتایج مقدار برازندگی کم با SNR زیاد حاصل می‌شود. سپس این نتایج با استفاده از متوسط-

گیری نسبت‌های SNR هر پارامتر n و هر سطح m و با استفاده از معادله ۴-۲ برای ایجاد جدول پاسخ

مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۲۰]:

$$\bar{\eta}(m, n) = \frac{s}{N} \sum_{i.OA(i,n)=m} \eta_i \quad (۲-۴)$$

ب- روش تحلیل واریانس

روش تحلیل دیگر، تعیین پارامترهای ANOVA است که معمولاً به دلیل پارامترها و تکرار آنها برای

تجزیه تغییرات کل آزمایش به متغیرهای جزئی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ANOVA می‌تواند برای

تعیین اثر هر پارامتر ورودی فرضی حاصل از یک مجموعه نتایج آزمایش، مناسب باشد و می‌تواند برای

تفسیر داده‌های آزمایشی، مورد استفاده قرار بگیرد. این مفهوم به این معنی است که توابع با ابعاد زیاد

می‌توانند به زیرمجموعه‌ای از شروط و به صورت معادله ۴-۳ تجزیه شوند [۱۲۱]:

$$f(x) = f_0 + \sum_{i=1}^n f_i(x_i) + \sum_{j=i+1}^n f_{i,j}(x_i, x_j) + f_{1,2,\dots,n}(x) \quad (۳-۴)$$

که n تعداد ورودیها، f_0 ثابت (شرط بایاس) و شروط دیگر در سمت راست، یک متغیری، دو متغیری،

سه متغیری و غیره ترکیبات عملی پارامترهای ورودی هستند.

ANOVA کل تغییرات را به اجزای مناسبی تقسیم می‌کند. مجموع کل مربعات شرط می‌تواند به صورت

رابطه ۴-۴ تعریف گردد [۱۲۱]:

$$SS_T = \sum y_i^2 \quad \text{برای } i = 1, 2, \dots, n \quad (۴-۴)$$

این رابطه می‌تواند به صورت رابطه ۴-۵ داده شود [۱۲۰ و ۱۲۱]:

$$SS_T = SS_m + SS_e \quad (۵-۴)$$

که $SS_m = nM^2$ و $SS_e = \sum (y_i - M)^2$ با $M = 1/n \sum y_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) به ترتیب مجموع

میانگین مربعات و مجموع خطای مربعات هستند.

۳.۱.۴ مقایسه الگوریتم ژنتیک و روش تاگوچی

با توجه به توضیحاتی که در بخشهای قبلی این فصل داده شد، هر دو روش GA و تاگوچی، روشهایی کاربردی و مشهور برای بهینه‌سازی به شمار می‌روند. لذا بد نیست که مقایسه‌ای کلی نیز از این دو روش بهینه‌سازی انجام گیرد. در ادامه مقایسه‌ای کلی از دو روش GA و روش تاگوچی در جدول ۲.۴ ارائه می‌شود.

جدول ۲.۴ مقایسه مشخصات دو فن بهینه‌سازی GA و روش تاگوچی [۱۱۸].

مشخصات				روش
نرخ همگرایی	تابع مشتق‌ناپذیر	تابع ناپیوسته	بهینه‌سازی	
بی‌عیب	خوب	خوب	خوب	GA
خوب	خوب	خوب	خوب	روش تاگوچی

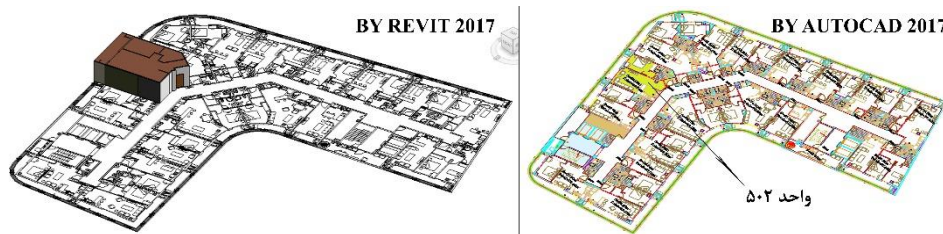
در این پایان‌نامه از بهینه‌سازی برای پیدا کردن بهترین مکان قرارگیری وسایل گرمایشی و سرمایشی استفاده می‌گردد.

فصل ۵

مدلسازی انرژی

۱.۵ نمونه مورد مطالعه

این مطالعه بر روی یکی از واحدهای مسکونی طبقه پنجم (واحد ۵۰۲) یک ساختمان تجاری-اداری-مسکونی بزرگ با نام هتل ستاره آرمان توس واقع در خیابان نواب صفوی مشهد در جوار ملکوتی حرم مطهر حضرت امام رضا (علیه السلام) در مشهد انجام می‌شود (شکل ۱.۵).



شکل ۱.۵ نقشه طبقه پنجم و نمایی از واحد ۵۰۲ در دو نرم‌افزار AutoCAD (سمت راست) و Autodesk REVIT (سمت چپ).

شهر مشهد در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳ دقیقه واقع گردیده است. طبقه پنجم یک طبقه مسکونی است و واحد ۵۰۲ دارای دو اتاق با یک آشپزخانه است که در این مطالعه مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. پروژه مورد مطالعه فوق یکی از پروژه‌های شهرداری ثامن مشهد است که به دلیل همکاری مشترک سازمان نظام مهندسی خراسان رضوی با این پروژه و همکاری نویسنده این تحقیق با این سازمان، دستیابی نویسنده به اطلاعات پروژه مدنظر راحتتر بوده است. شهر مشهد دارای یک اقلیم قاره‌ای با زمستانهای سرد و برفی و تابستانهای خشک و داغ است. ارتفاع مشهد از سطح دریا ۹۶۹/۳ متر است. متوسط دمای تابستان این شهر 40°C و متوسط دمای زمستان آن -5°C است.



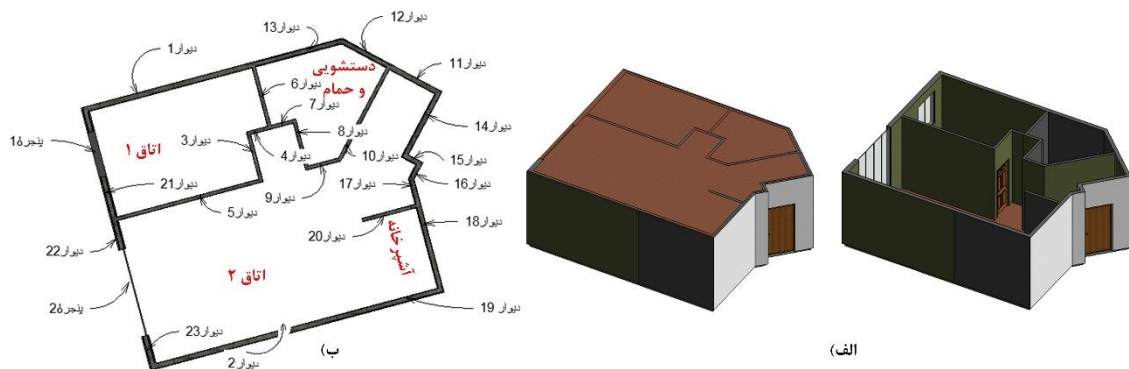
شکل ۱.۵ ۲. ساختمان هتل ستاره آرمان توس؛ نمایش بخش مسکونی و طبقه پنجم آن.

ساختمان هتل ستاره آرمان توس یک ساختمان ۱۳ طبقه‌ای است که ۱۰ طبقه آن به اضافه همکف بر روی زمین و ۳ طبقه آن در زیرزمین واقع گردیده‌اند. بخش مسکونی این ساختمان ۷ طبقه دارد (شکل ۲.۵).

از آنجایی که نیاز انرژی ساختمانها به شدت به آب و هوای محلی، پوسته خارجی ساختمان، نسبت نمای با شیشه و بدون شیشه و جهت آن وابسته است، در این فصل برای مطالعه موردی BEM خود باید (۱) هندسه ساختمان، (۲) خصوصیات ساختمان و (۳) داده‌های آب و هوا (به دلیل اهمیت متغیرهای جوی شهری در BEM [۹۹]) را در اختیار داشته باشیم [۳۲]، [۴۲]، [۴۸]، [۷۴] و [۸۳]. از این جهت کلیه نقشه‌های CAD و 3ds MAX و اطلاعات مربوط به مطالعه موردی از تیم مدیریت پروژه هتل ستاره آرمان توس و اداره هواشناسی خراسان رضوی دریافت گردیده است. در EM تعیین نفوذناپذیری آب و هوا، عملکرد سیستم و نشت پوسته خارجی اساساً با موضوع فشار در ارتباط است که برای مدل‌سازی فیزیک چنین فرایندی باید از یک نرم‌افزار شبیه‌سازی قدرتمند بهره گرفت. در این تحقیق برای مدل‌سازی فیزیک چنین فرایندی از نرم‌افزار قدرتمند شبیه‌سازی COMSOL Multiphysics استفاده گردیده است (برای اطلاع از خصوصیات این نرم‌افزار به فصل ۱ و نحوه مدل‌سازی انرژی به پیوست ۱ مراجعه نمایید). BEM برای تخمین مصرف انرژی ساختمان ضروری است و پیش‌بینی BEM، مالکین، طراحان و مدیریت را قادر می‌سازد تا مصرف انرژی ساختمان را مورد بررسی قرار دهند [۷۹]. به منظور توسعه تخمین بارهای داخلی و روابط بین بهره‌ها و تلفات گرمایشی پوسته خارجی و دماهای داخلی و خارجی، اندازه‌گیریهای جریان سیستم اتوماسیون در نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی COMSOL با استفاده از روشهای مدل‌سازی عددی FDM و FEM توسعه داده شده‌اند. در این پژوهش جهت ایجاد مدل برای EM از بهترین اقدامات اعم از (۱) هندسه، (۲) پنجره‌بندی، (۳) نواحی حرارتی و (۴) سیستمهای HVAC (فن کوئل و رادیاتور) برای ساده‌سازی مدل ساختمان استفاده شده است.

۲.۵ جمع آوری داده‌ها

در این مطالعه ابتدا نقشهٔ CAD پروژه به نرم‌افزار Autodesk REVIT وارد گردید (برای اطلاع از نحوهٔ استفاده از نرم‌افزار REVIT به پیوست ۳ مراجعه نمایید). سپس هندسهٔ واحد مدنظر با توجه به اطلاعات پروژه به صورت دستی در نرم‌افزار کشیده شد (شکل ۱.۵). در صنعت ساختمان هندسهٔ یک ساختمان ۵ بخش: (۱) نمایی ساختمان، (۲) سازهٔ ساختمان، (۳) زیرلایهٔ دیوارها، سقف و کف، (۴) لایه‌های عایق^۴ (لایهٔ هوا و یا حرارتی^۵ و (۵) لایهٔ غشاء را دربرمی‌گیرد. هرکدام از این بخشها مصالح ساختمانی مربوط به خود را دارند. مصالح ساختمانی استفاده شده برای نمای ساختمان به ۶ گروه تقسیم می‌شوند: (۱) دیوارهای خارجی^۶ (در این تحقیق دیوارهای ۲۱، ۲۲ و ۲۳)، (۲) دیوارهای داخلی^۸ (در این تحقیق دیوارهای ۱ تا ۲۰)، (۳) پوشش کف^۹ و پوشش سقف^{۱۰}، درها و پنجره‌ها [۷۴].



شکل ۳.۵ الف) نمایی از هندسهٔ ساختمان واحد ۵۰۲ که در REVIT کشیده شده است و ب) تعداد دیوارها و پنجره‌های واحد مذکور.

مصالح ساختمانی استفاده شده برای سازهٔ ساختمان، هستهٔ دیوارها، کفها و سقفها را دربرمی‌گیرند. زیرلایه برای دیوارها، کف و سقف تعریف می‌شود. لایهٔ عایق می‌تواند برای پنجره‌ها، دیوارها، کف و سقف

- 1 façade
- 2 structure layer
- 3 substrate
- 4 isolation
- 5 thermal/air layer
- 6 memberane layer
- 7 External
- 8 Internal
- 9 floor covering
- 10 roof covering
- 11 core

0
1

تعریف گردد. لایه غشاء فقط برای سقف نهایی تعریف می شود که مثلاً می تواند لایه ایزوگام باشد. جدول

۱.۵ مشخصات مصالح ساختمانی واحد ۵۰۲ را نشان می دهد.

جدول ۱.۵ مشخصات مصالح ساختمانی واحد ۵۰۲.

نوع	نام	ضخامت کل (cm)	شماره	پوشش نهایی ^۲ (m)	زیر لایه (m)	لایه حرارتی و یا هوا (m)	سازه (m)	لایه حرارتی و یا هوا (m)	پوشش نهایی ^۱ (m)
دیوار	اتاق-اتاق	۱۵	۲، ۱ و ۱۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	-	۰/۱۳	-	۰/۰۰۶
	اتاق-اتاق	۱۰	۴، ۳ و ۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	-	۰/۰۹	-	۰/۰۰۳
	دستشویی و حمام-اتاق	۱۵	۱۲ و ۱۳	۰/۰۱۴	-	۰، ۰، ۱۲	۰/۱	-	۰/۰۱
	دستشویی و حمام-اتاق	۱۰	۸، ۷، ۶ و ۹ و ۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	-	۰/۰۹	-	۰/۰۰۳
	اتاق-لابی	۱۵	۱۵، ۱۴ و ۱۶ و ۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	-	۰/۱۱	-	۰/۰۱۲
	آشپزخانه-لابی	۱۵	۱۸	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	-	۰/۱۱	-	۰/۰۱۲
	آشپزخانه-دستشویی و حمام	۱۵	۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	-	۰/۱۱	-	۰/۰۱۲
	آشپزخانه-اتاق	۱۰	۲۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	-	۰/۰۹	-	۰/۰۰۳
	پیرامونی-اتاق	۲۰	۲۲، ۲۱ و ۲۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲	-	۰/۱۱	۰، ۰، ۲	۰/۰۲۵
	پنجره	پنجره	۱	۲ و ۱	**۰/۰۰۲۵	-	*۰/۰۰۵	-	**۰/۰۰۲۵
در	در اتاق ۱	۱۰	-	-	-	-	-	-	-
	در اتاق ۲	۱۵	-	-	-	-	-	-	-
	در دستشویی و حمام	۱۰	-	-	-	-	-	-	-
	کف	کف	۱۰	-	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۷	-	-
سقف	سقف	۱۰	-	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۷	-	-	

* سازه پنجره گاز آرگون است.
 ** پوشش نهایی ۱ و ۲ برای پنجره ها شیشه است.
 توجه: در این مطالعه یک پنجره با شیشه دوجداره توسط نویسنده در نرم افزار Autodesk REVIT ساخته شد.

¹ Finish
² glass
³ double glazing glass

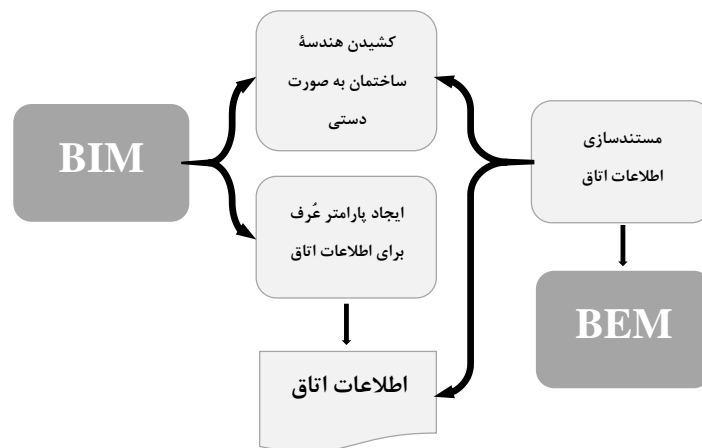
شکل ۳.۵ تعداد دیوارها و پنجره‌های واحد مذکور را نمایش می‌دهد. بدیهی است که در این واحد کف و سقف مثل هم هستند.

کلیه مصالح ساختمانی استفاده شده در دیوارهای داخلی و یا خارجی نما (واقع در پوششهای نهایی ۱ و ۲)، زیرلایه، لایه عایق و سازه واحد ۵۰۲ به ترتیب در پیوسته‌های ۴ و ۵ آمده‌اند. در این پایان‌نامه از هیچ لایه غشایی در واحد مذکور استفاده نمی‌شود. همانطوریکه در فصل ۳ شرح داده شد پارامترهای کلیدی تأثیرگذار بر روی توزیع دما و آسایش حرارتی در ساختمان (خصوصیات توزیع حرارت)، ضریب رسانش حرارتی k ، ضریب انتقال حرارت کلی h ، ضریب تابش سطح ε ، گرمای ویژه در فشار ثابت C_p و چگالی ρ مصالح و نرخ گرمای ویژه γ سیال مدنظر هستند. لذا تمام این پارامترها برای اجزای ساختمان (کف، سقف، دیوارها و پنجره‌ها) به جز درها طبق مشخصات پروژه از طریق نرم‌افزار REVIT تعریف می‌گردند. برای تعریف خصوصیات توزیع حرارت درها از کتابخانه نرم‌افزار COMSOL استفاده می‌شود (برای مشاهده خصوصیات توزیع حرارت اجزای ساختمان به پیوست ۶ مراجعه نمایید). برای تعریف خصوصیات کلی توزیع حرارت (h ، k_{eq} ، ρ_{eq} و C_{peq}) به حجم V و مساحت A لایه‌های مصالح ساختمانی نیاز است که از نرم‌افزار REVIT به دست می‌آیند و سپس خصوصیات کلی با تعریف خصوصیات توزیع حرارت مصالح در نرم‌افزار Excel به صورت دستی محاسبه می‌گردند (پیوسته‌های ۷، ۸ و ۹). همانطوریکه در فصل ۳ شرح داده شد، به دلیل همرفت آزاد، انتقال حرارت کلی h در این پایان‌نامه برای دیوارهای راهروی کوچک مشرف به لابی (دیوارهای ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸)، دیوارهای ایوان مشرف به فضای آزاد (دیوارهای شماره ۲۲ و ۲۳) و پنجره‌ها باید محاسبه شود (شکل ۳.۵ و پیوست ۹). طبق مطالعه‌ای که نویسنده این پایان‌نامه بر روی ارزیابی نقش کلیه مصالح ساختمانی به کار رفته امروزی بر روی توزیع دما به منظور تحلیل حساسیت پارامترهای کلیدی در ساختمان انجام داده است، پارامتر h بیشترین تأثیر را بر روی اختلاف تخمینهای دما در نرم‌افزار EM دارد (رابطه ۵-۱).

$$h \gg \varepsilon > k \cdot \rho \cdot C_p \quad (1-5)$$

بعد از h پارامتر ε بیشترین تأثیر را روی اختلاف تخمینهای دما دارد و مقدار دمای فضا در هر نقطه را کاهش می‌دهد.

در این پایان‌نامه سیالی که فضای داخل ساختمان و فضای بیرون را پُر نموده است، هواست و از این رو γ ، $1/4$ در نظر گرفته شد (مقدار این خصوصیت باید در نرم‌افزار COMSOL وارد شود). پس از تعریف کلیه پارامترهای عَرَف با توجه به خصوصیات توزیع حرارت ساختمان و مستندسازی آنها در جداول پیوست (شکل ۱.۳؛ توسعه و اجرای طرح گریش و همکاران [۲۴]) به سراغ مدلسازی انرژی می‌رویم (شکل ۴.۵).

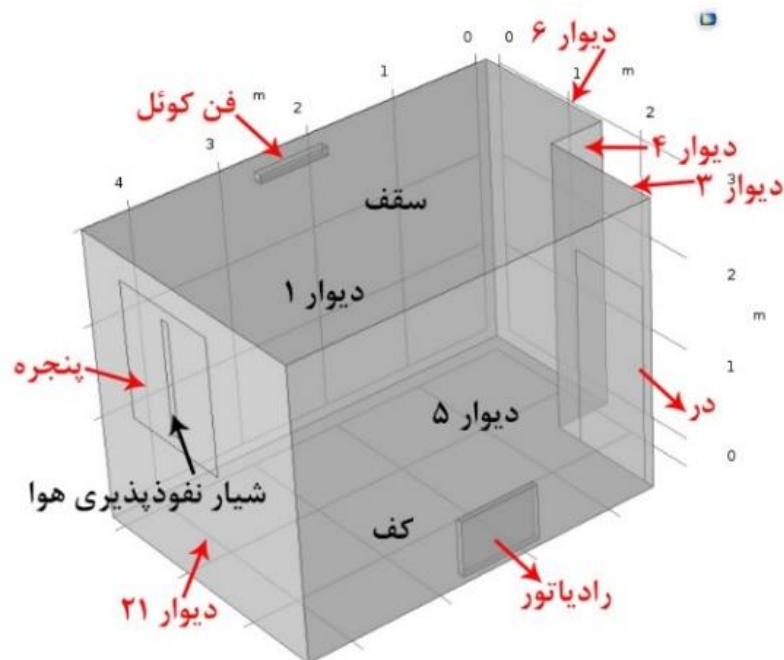


شکل ۴.۵ توسعه و اجرای طرح گریش و همکاران [۲۴]؛ بُردن اطلاعات به BIM، تعریف، جمع‌آوری و مستندسازی اطلاعات برای BEM.

۳.۵ مدلسازی انرژی

همانطور که اشاره شد اگر مدل انرژی بتواند از مدل BIM تولید شود شبیه‌سازی انرژی مؤثرتر عمل خواهد کرد. مانع اصلی استفاده از BIM به عنوان مبنایی برای شبیه‌سازی اطلاعات انرژی، انتقال اطلاعات به صورت خودکار از BIM به نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی است [۳۱]. در این قسمت برای رفع این مشکل و جلوگیری از خطاهای احتمالی در هنگام شبیه‌سازی، مدل ساختمان مجدداً در نرم‌افزار EM (COMSOL) به صورت دستی ایجاد می‌گردد. برای ایجاد مدل به صورت دستی در COMSOL از بهترین اقدامات اعم از (۱) هندسه (مطابق با اندازه‌های مدل REVIT و با صرف‌نظر از ضخامت دیوارها)، (۲) پنجره‌بندی (با تعریف شیار نفوذپذیری هوا)، (۳) نواحی حرارتی (با استفاده از منطقه‌بندی با توجه به

مساحت کف و تقسیم واحد به دو ناحیه حرارتی اتاق ۱ و ۲ با صرفنظر از دستشویی و حمام) و (۴) سیستمهای HVAC (رادیاتور و فن کوئل) جهت ساده‌سازی ساختمان استفاده می‌شود (فصل ۳ شکل ۷.۳ و شکل ۵.۵). سپس اجزای مختلف هندسه ساختمان اعم از کف، سقف، دیوارها و پنجره‌ها و درها در نرم‌افزار COMSOL تعریف شده و پارامترهای کلیدی آنها به دقت از جداول پیوست در نرم‌افزار COMSOL وارد می‌گردند (برای اطلاع از نحوه کار با این نرم‌افزار به پیوست ۱ مراجعه نمایید).



شکل ۵.۵ مدل ساده‌سازی شده ناحیه حرارتی اتاق ۱ در نرم‌افزار EM.

از آنجایی که دمای هوای محلی روز (دمای بیرون ساختمان) به خاطر شرایط آب و هوا و دمای هوای محیط، بیشترین تأثیر را بر روی آسایش حرارتی دارند [۱۰۱] و باید به نرم‌افزار EM معرفی شوند، این دماها جمع‌آوری می‌شوند. دمای محیط (T_{amb}) اتاق ۱ از واحد ۵۰۲ در تاریخ ۱۱ شهریورماه ۱۳۹۶ بدون فعال بودن وسیله سرمایشی و در تاریخ ۱۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۵ بدون فعال بودن وسیله گرمایشی از ساعت ۶ صبح تا ساعت ۱۷ بعد از ظهر، با استفاده از دماسنج مادون قرمز مستیک^۱ (MS6520B) به دست آمد (جدول ۵.۲). دمای هوای محلی^۲ در تاریخ شهریورماه ۲۹°C و در تاریخ بهمن‌ماه ۱۳°C بود.

^۱ Mastech Infrared Thermometer

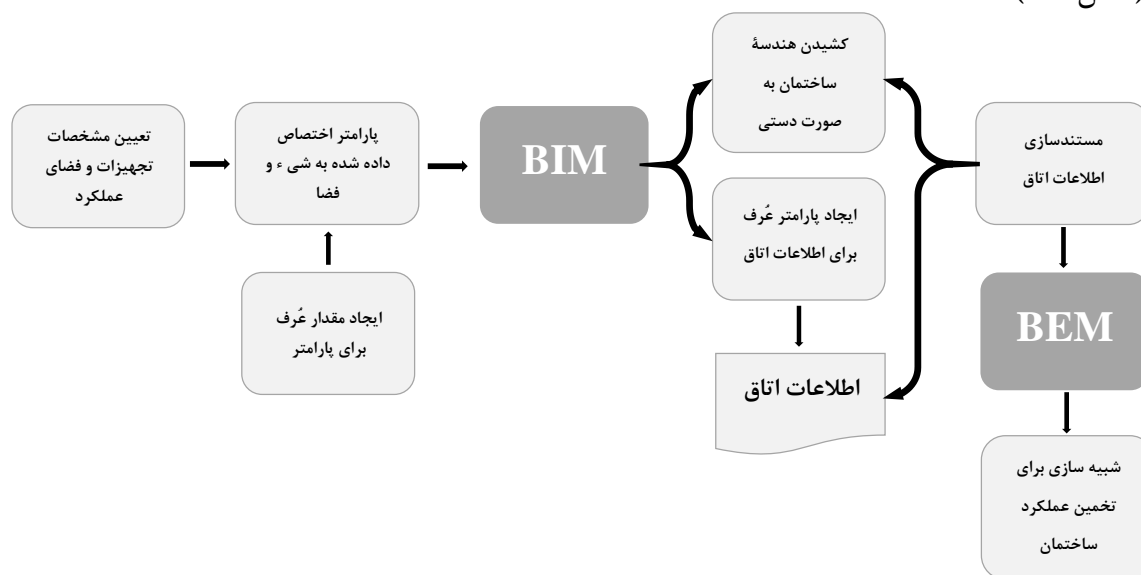
^۲ دمای هوای محلی مشهد (T_{f1}) در تاریخهای مذکور از اداره هواشناسی خراسان رضوی گرفته شد.

جدول ۲.۵ دماهای محیط اتاق ۱ در ۱۱ شهریور ۱۳۹۶ و ۱۶ بهمن ۱۳۹۵ از ساعت ۶ صبح تا ۵ بعد از ظهر.

ساعات: ۶ صبح تا ۵ بعد از ظهر												
دماهای فصلی (°C)	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
تابستان	۲۱	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۷	۲۸	۲۹	۲۹	۲۸	۲۷/۶	۲۷/۴
زمستان	۵	۵	۶	۷	۸	۱۱	۱۲	۱۳	۱۳	۱۲	۱۱/۶	۱۱/۱

داده‌های وارد شده به نرم‌افزار COMSOL به ۳ گروه تقسیم می‌شوند: (۱) عناصر مختلف هندسه ساختمان و تعریف خصوصیات حرارتی عناصر منطبق با پارامترهای کلیدی تعریف شده جدول پیوست، (۲) دماهای داخلی (دماهای محیط اتاق) در فصل تابستان و زمستان و (۳) دمای هوای محلی در تابستان و زمستان. در ادامه روند شبیه‌سازی و تخمین دما در نرم‌افزار COMSOL شرح داده می‌شود

(شکل ۶.۵).



شکل ۶.۵. توسعه و اجرای طرح گریش و همکاران [۲۴]: جمع‌آوری، تحلیل و تعیین اطلاعات اولیه، بردن اطلاعات به BIM، تعریف، جمع‌آوری و مستندسازی اطلاعات برای BEM.

۱.۳.۵ شبیه‌سازی و تخمین دمای داخل

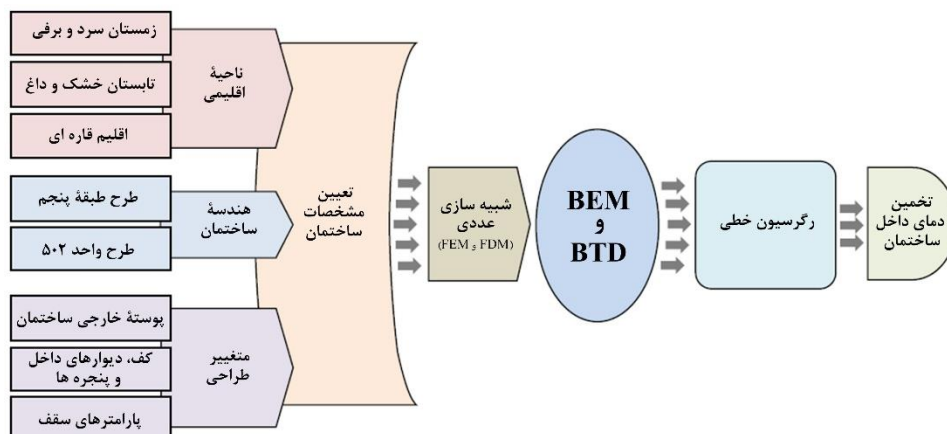
جهت تخمین دمای داخل ساختمان باید از شبیه‌سازی حرارتی ساختمان استفاده کرد. در واقع شبیه‌سازی حرارتی ساختمان روشی قدرتمند برای مطالعه عملکرد حرارتی ساختمان و ارزیابی طراحی است

که نقش مهمی را در EM حرارتی ساختمان ایفا می کند [۱۳ و ۱۲۲]. در این مطالعه جهت شبیه سازی و تخمین دقیق دمای داخل با نرم افزار EM دو حالت در نظر گرفته می شود:

(۱) وسایل سرمایشی و گرمایشی غیرفعال باشند (توزیع حرارت ساختمان^۱ (BTD))،

(۲) وسایل سرمایشی و گرمایشی فعال باشند (مدلسازی انرژی ساختمان (BEM))

اتاق ۱ با یک فن کوئل دو لوله ای در تابستان خنک و با یک رادیاتور ۱۱ پره ای در زمستان گرم می شود. اتاق ۲، اتاق نشیمن است که مشرف به آشپزخانه است. این اتاق با یک فن کوئل دو لوله ای در تابستان خنک و با دو رادیاتور به ترتیب ۱۱ پره ای و ۱۲ پره ای در زمستان گرم می گردد. از آنجایی که انتقال حرارت تأثیر مهمی بر روی عملکرد حرارتی ساختمان دارد [۴۷] برای حالت اول از دو ماژول انتقال حرارت در سیالات و انتقال حرارت در جامدات نرم افزار COMSOL برای توزیع حرارت اتاق ۱ استفاده می گردد. در حالت دوم از ماژول کوپل شده انتقال حرارت^۴ و جریان سیال نرم افزار COMSOL برای EM اتاق ۱ استفاده (شکل ۹.۳ فصل ۳) و تحلیل پارامتری مصرف انرژی حرارتی ساختمان انجام می گیرد (شکل ۷.۵).



شکل ۷.۵. مراحل انجام تحلیل پارامتری مصرف انرژی حرارتی ساختمان این مطالعه.

¹ Building Thermal Distribution

² Heat transfer in Fluid

³ Heat transfer in Solid

⁴ Conjugate Heat Transfer

در این فصل پیش‌بینی‌های دمای توزیع حرارت و EM اتاق ۱ برای دو روز در تابستان (۱۱ شهریورماه ۱۳۹۶) و زمستان (۱۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۵) مورد آزمایش قرار می‌گیرند و تخمینهای دما به دست می‌آیند. در انجام این فرایند، نرم‌افزار COMSOL با استفاده از حل‌کننده PARDISO و روش حذفی GP و رگرسیون خطی^۱ (LR) به حل عددی معادلات ماتریسی به دست آمده از مدل‌سازی عددی (FDM و FEM) می‌پردازد. نحوه کار با نرم‌افزار شبیه‌سازی COMSOL برای انجام آزمایشات BTM و BEM در پیوست ۱ آمده است.

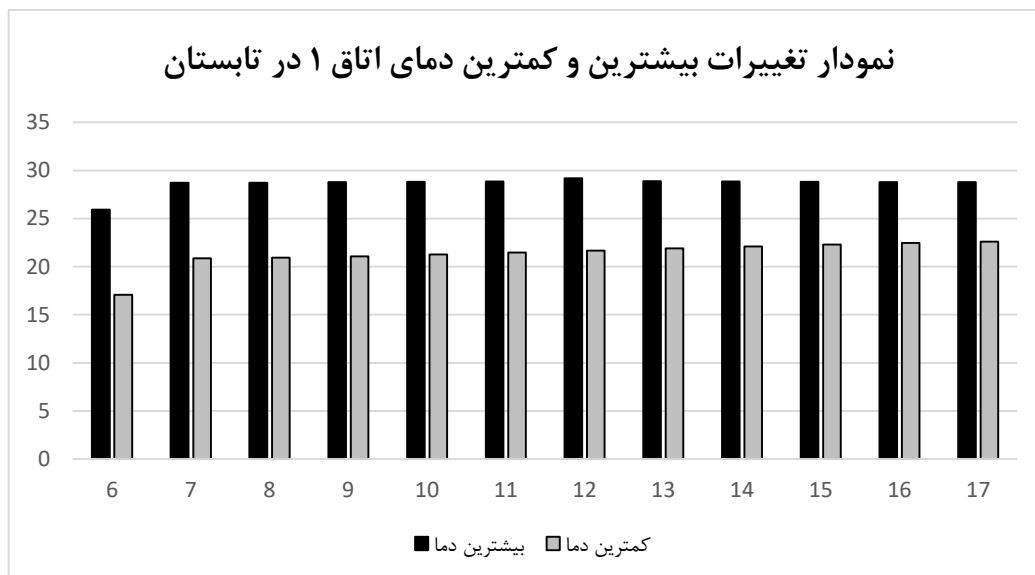
۱.۱.۳.۵ وسایل گرمایشی و سرمایشی غیر فعال

در این قسمت اجرای BTM در زمستان با غیرفعال بودن وسایل گرمایشی و در تابستان با غیر فعال بودن وسایل سرمایشی با استفاده از تعاریف انتقال حرارت در قسمت ۱.۲.۳ و خواص ترموفیزیکی ۲.۲.۳ که در فصل ۳ توضیح داده شدند برای اتاق ۱ انجام می‌گیرد.

الف) وسایل سرمایشی غیر فعال

در این قسمت، اجرای BTM با نرم‌افزار COMSOL انجام می‌گیرد و نتیجه تغییرات گذرای دمای اتاق ۱ از ساعت ۶ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر تابستان بدون اینکه فن کوئل روشن باشد، به دست می‌آیند. بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ طی این ساعات در شکل ۸.۵ و پیوست ۱۰ الف گزارش شد.

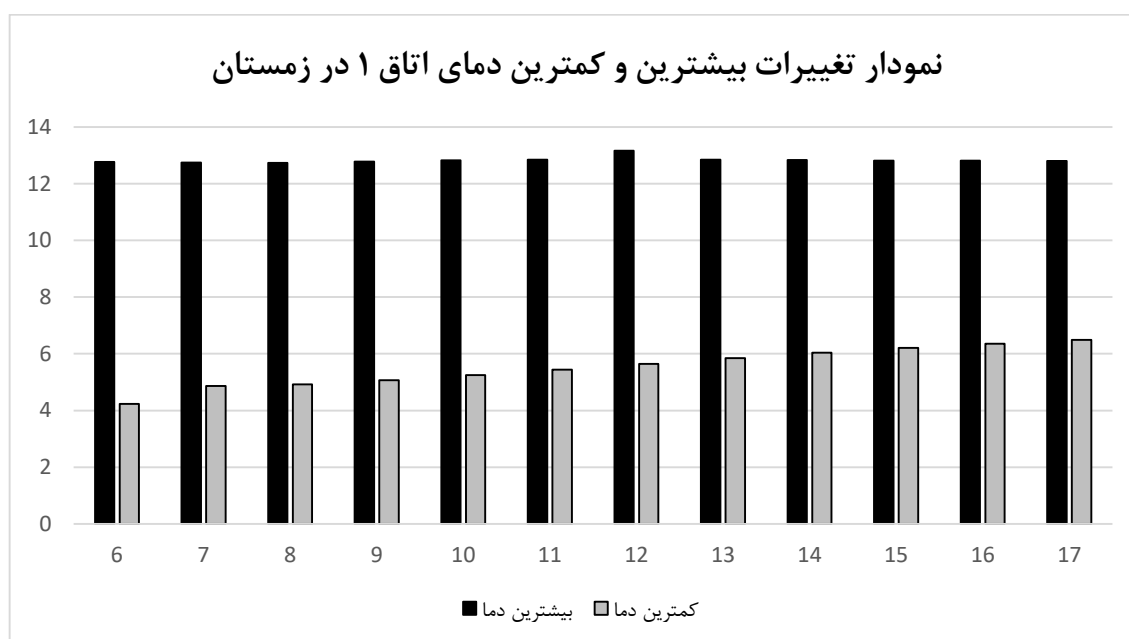
^۱ Linear Regression



شکل ۵. نمودار تغییرات دمای اتاق ۱ در تابستان از ساعت ۶ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر بدون فعال بودن فن کوئل.

ب) وسایل گرمایشی غیر فعال

در این قسمت مجدداً شبیه‌سازی BTM با نرم‌افزار COMSOL انجام و نتیجه تغییرات گذرای دمای اتاق ۱ از ساعت ۶ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر زمستان بدون اینکه رادیاتور روشن باشد، به دست می‌آیند. بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ طی این ساعات در شکل ۹.۵ و پیوست ۱۰ ب گزارش شد.



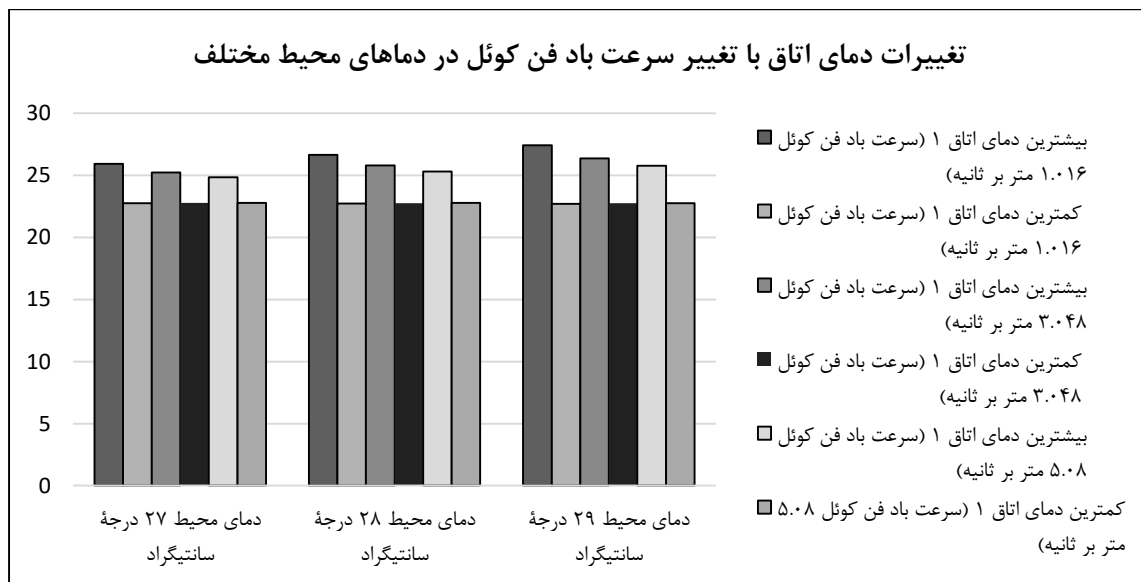
شکل ۹.۵. نمودار تغییرات دمای اتاق ۱ در زمستان از ساعت ۶ صبح تا ۱۷ بعد از ظهر بدون فعال بودن رادیاتور.

۲.۱.۳.۵ وسایل گرمایشی و سرمایشی فعال

در این قسمت با استفاده از تعاریف انتقال حرارت در قسمت ۱.۲.۳، خواص ترموفیزیکی ۲.۲.۳ و معادلات جریان لایه‌ای و آشفته در قسمت ۳.۲.۳ که در فصل ۳ توضیح داده شدند، BEM برای اتاق ۱ انجام می‌گیرد.

الف) وسایل سرمایشی فعال

برای انجام BEM، فن کوئل در گرمترین شرایطی که در تاریخ ۱۱ شهریورماه ۱۳۹۶ برای محیط پیش می‌آید یعنی سه دمای ۲۷، ۲۸ و ۲۹ درجه سانتیگراد، روشن می‌شود و دمای فن کوئل روی 23°C تنظیم می‌گردد. سپس شبیه‌سازی با استفاده از معادلات جریان آشفته و انتقال حرارت انجام می‌گیرد و تغییرات دمای اتاق ۱ با تغییر باد فن کوئل در سه حالت ۱/۰۱۶، ۳/۰۴۸ و ۵/۰۸ متر بر ثانیه به دست می‌آید. بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ در حالات مذکور در پیوست ۱۱ الف و شکل ۱۰.۵ آمده‌اند.

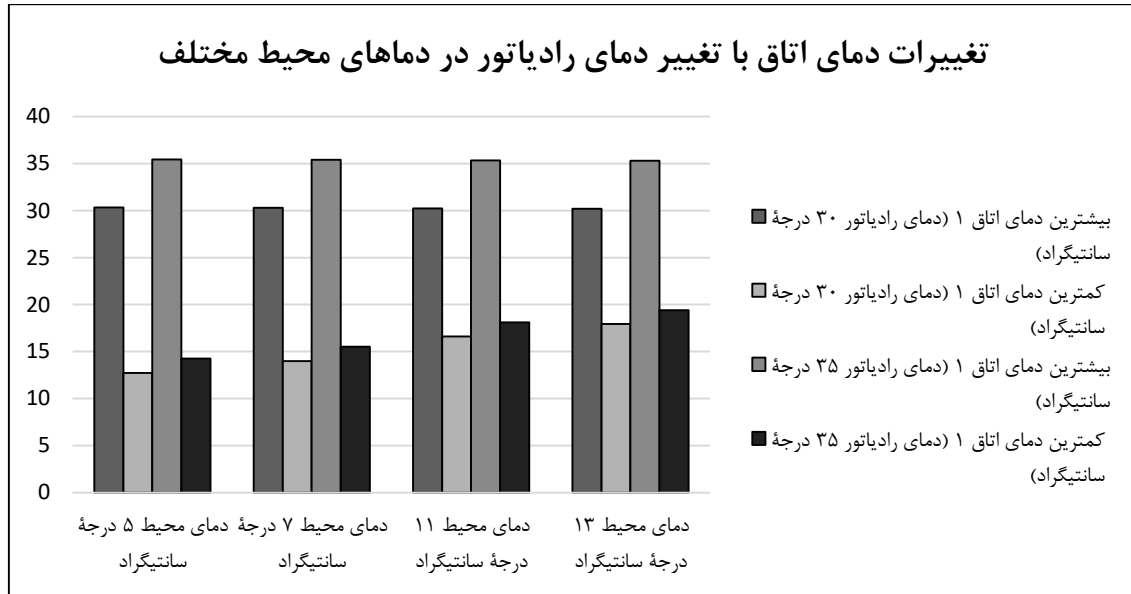


شکل ۱۰.۵ نمودار تغییرات دمای اتاق در تابستان با تغییر سرعت باد فن کوئل در گرمترین شرایط محیط.

ب) وسایل گرمایشی فعال

برای انجام BEM در این قسمت، رادیاتور در سردترین شرایطی که در تاریخ ۱۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۵ برای محیط پیش می‌آید یعنی چهار دمای ۵، ۷، ۱۱ و ۱۳ درجه سانتیگراد روشن و دمای رادیاتور روی دو

حالت ۳۰ و ۳۵ درجه سانتیگراد تنظیم می‌شود. سپس سرعت پخش هوای گرم رادیاتور ۰/۵ متر بر ثانیه تعریف می‌گردد و دمای اتاق ۱ با تغییر دمای رادیاتور در دو حالت ۳۰ و ۳۵ درجه سانتیگراد به دست می‌آید. بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ در حالات مذکور در پیوست ۱۱ ب و شکل ۱۱.۵ آمده‌اند.



شکل ۱۱.۵ نمودار تغییرات دمای اتاق در زمستان با تغییر دمای رادیاتور در سردترین شرایط محیط.

۲.۳.۵ آزمون اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی نتایج به دست آمده و صحت اطلاعات، اطلاعات واقعی با اطلاعات به دست آمده از BTM مقایسه می‌شوند. در این آزمایش [۹۴] کلیه طبقات بخش مسکونی ساختمان موجود در فایل 3ds MAX از هم تفکیک و به نرم‌افزار COMSOL وارد می‌شوند و توزیع حرارت در تاریخ ۱۱ شهریورماه ۱۳۹۶ برای تمامی طبقات ساختمان هتل آرمان ستاره توس به دست می‌آید (پیوست ۱۲). مقدار دمای اولیه دمای ساعت ۶ صبح 20°C در نظر گرفته می‌شود و در نرم‌افزار وارد می‌گردد. دمای محلی نیز در این تاریخ 29°C است که در نرم‌افزار وارد می‌شود.

سپس چند نقطه دمایی بر روی کف دو واحد ۵۰۲ و ۵۱۲ (وسط کف) که هنوز کسی در آنها ساکن نشده و وسایل سرمایشی و گرمایشی آنها استفاده نشده‌اند، با استفاده از دماسنج مادون قرمز مستیک

¹ Initial Value

(MS6520B) به دست می‌آید. سپس این نقاط دمایی با نقاط دمایی به دست آمده از نرم‌افزار شبیه‌سازی

COMSOL مقایسه می‌شوند (شکل ۱۳.۵ و جدول ۳.۵).



شکل ۱۳.۵. نمایشی از واحدهای ۵۰۲ و ۵۱۲؛ سمت راست: هال و پذیرایی (نشیمن)، وسط: اتاق خواب و سمت چپ: نقشه CAD واحد؛ الف) بالایی واحد ۵۰۲، ب) پایینی واحد ۵۱۲، ج) دماسنج مستک برای اندازه‌گیری دما و د) دمایی به دست آمده از نرم‌افزار.

جدول ۳.۵. مقایسه دمایی واقعی با دمایی نرم‌افزار.

دمای به دست آمده با دماسنج (°C)		دمای به دست آمده با نرم‌افزار (°C)		شماره واحد
نشیمن	اتاق خواب	نشیمن	اتاق خواب	
۲۷/۴	۲۷/۱	۲۷/۴۰۷	۲۷/۱۰۸	۵۰۲
۲۷/۴	۲۷/۴	۲۷/۴۱۰	۲۷/۴۱۳	۵۱۲

پس از انجام آزمایش، نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار خیلی به واقعیت نزدیک هستند و فرضیات ما را تأیید می‌نمایند.

فصل ۶

بهینه‌سازی مصرف انرژی

بهینه‌سازی اساساً به طراحی مربوط می‌شود و برای دستیابی به اهداف بهتر باید راه‌حلهای مختلف بهینه‌سازی در طراحی مورد مقایسه قرار بگیرند. امروزه بهینه‌سازی با استفاده از اطلاعات به دست آمده از BIM بسیار مهم است [۱۲]. در این پایان‌نامه با توسعه طرح گریش و همکاران [۲۴]، نویسنده به معرفی طرح جدیدی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌پردازد. این پژوهش ۶ مرحله را دربرمی‌گیرد:

- ۱- تعیین اطلاعات و پارامترها، ۲- جمع‌آوری اطلاعات با BIM، ۳- BTD برای تحلیل حساسیت و اعتبارسنجی، ۴- BEM برای تخمین دما، ۵- تعیین متغیرهای طراحی و توابع هدف و ۶- توسعه مدل با الگوریتم بهینه‌سازی.

با توجه به مطالعه‌ای که در فصل ۲ انجام شد، کلیه بهینه‌سازیهای مصرف انرژی تاکنون به دنبال کاهش مصرف انرژی و بهبود هزینه‌های مصرفی ساختمان بوده‌اند [۴۳]، [۴۷]، [۶۷]، [۶۹]، [۷۸] و [۸۲] و هیچکدام بهینه‌سازی مصرف انرژی را به منظور بهره‌وری آسایش حرارتی در ساختمان انجام نداده‌اند. بهترین رویکرد برای دستیابی به بهره‌وری آسایش حرارتی در ساختمان، "قرار دادن وسایل گرمایشی و سرمایشی به صورت بهینه در ساختمان" است. برای دستیابی به این رویکرد باید عوامل زیر را با هم مدنظر قرار داد [۱۲۲]:

- ۱- اندازه وسایل سرمایشی و گرمایشی،
 - ۲- تعیین بهترین مکان قرارگیری وسایل گرمایشی و سرمایشی (با توجه به سطح آسایش ساکنین ساختمان)،
 - ۳- هزینه مصرفی ساخت (با حداقل تلفات)،
 - ۴- کاهش مصرف انرژی.
- تاکنون تحقیقی در زمینه قرار دادن وسایل گرمایشی و سرمایشی به صورت بهینه در ساختمان مشاهده نشده است. در این تحقیق عامل دوم با تعیین بهترین مکان قرارگیری وسایل سرمایشی مورد بررسی

قرار می‌گیرد و از دو روش آماری (تاگوچی) و تکاملی (GA) برای تعیین بهترین مکان قرارگیری وسایل سرمایشی استفاده می‌شود.

اصولاً توابع هدف جهت بهینه‌سازی انرژی مسکونی می‌توانند با دو رویکرد نوشته شوند [۱۲۲ و ۱۲۳]:

۱- به حداقل رساندن هزینه یا مصرف انرژی

۲- به حداکثر رساندن رضایت ساکنین ساختمان.

در این پایان‌نامه سعی می‌شود تا با تعریف تابع هدف به صورت دوم و نزدیک شدن به نقطهٔ آسایش 25°C ، رضایت ساکنین ساختمان به حداکثر برسد. در ادامه نحوهٔ بهینه‌سازیها و به دست آوردن مکان بهینه با هر دو روش شرح داده می‌شود.

۲.۶ الگوریتم ژنتیک

برای بهینه‌سازی به روش GA از نرم‌افزار Matlab و الگوریتم GA (شکل ۳.۶) برای انتخاب نقطهٔ بهینه استفاده می‌شود. با توجه به نرم‌افزار EM، توابع هدف برای دستیابی به حداکثر آسایش و تعیین ساختار بهینهٔ مدل می‌توانند به صورت روابط ۱-۶ و ۲-۶ تعریف گردند:

$$F = T_{Max} - T_{min} \quad (۱-۶)$$

$$F = |T_{Max} - 25| + |T_{min} - 25| \quad (۲-۶)$$

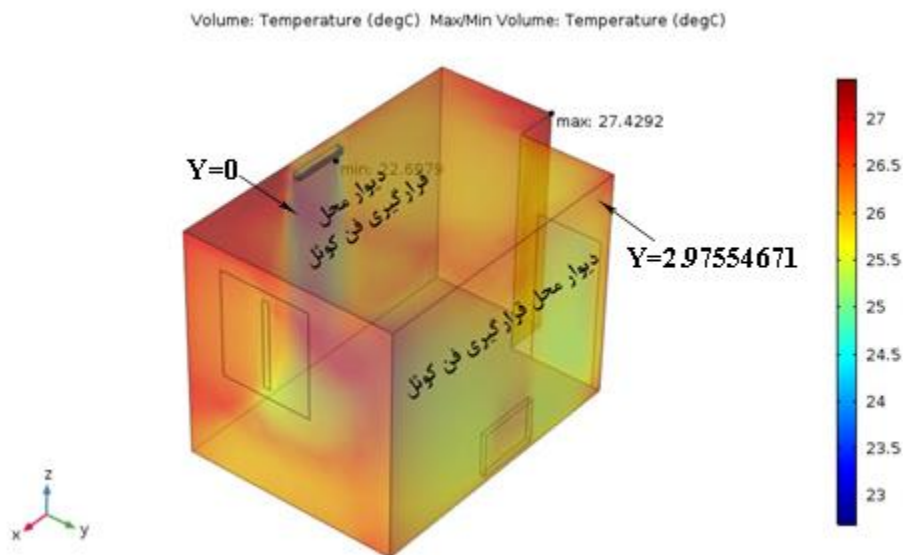
رابطهٔ ۲-۶ به خاطر قرار دادن شرط آسایش 25°C دقیقتر است. لذا تابع برازندگی GA به صورت رابطهٔ ۲-۶ تعریف می‌گردد.

نتایج این بهینه‌سازی به BTD بستگی دارد. لذا داده‌های BTD بدون فعال بودن وسایل سرمایشی از ساعت ۶ صبح تا ۵ بعد از ظهر (پیوست ۱۰ الف) در فایل Excel جمع‌آوری گردیدند. تعداد کل داده‌های به دست آمده از BTD در نرم‌افزار COMSOL، ۱۳۵۷۷ عدد بود و از آنجاییکه فن کوئل همانند شکل ۱.۶ نمی‌تواند غیر از دو دیوار نمایش داده شده در جای دیگری قرار بگیرد لذا تعداد داده‌ها به ۳۱۷ عدد کاهش یافتند. محل قرارگیری فن کوئل بر روی دو دیوار به صورت زیر است (رابطهٔ ۳-۶؛ شکل ۱.۶):

$$Y = 0 \text{ و } Y = 2.9754671 \quad (۳-۶)$$

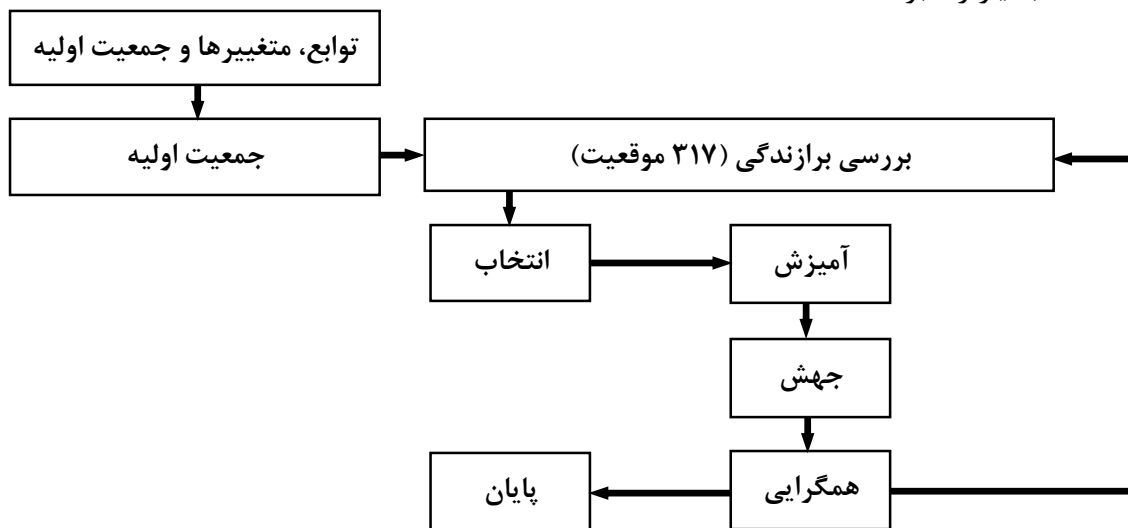
حداقل و حداکثر ارتفاع قرارگیری فن کوئل نیز طبق اطلاعات به دست آمده از پروژه مورد مطالعه به صورت زیر در نظر گرفته می شود (رابطه ۴-۶):

$$1.5 \leq Z \leq 3 \quad (4-6)$$



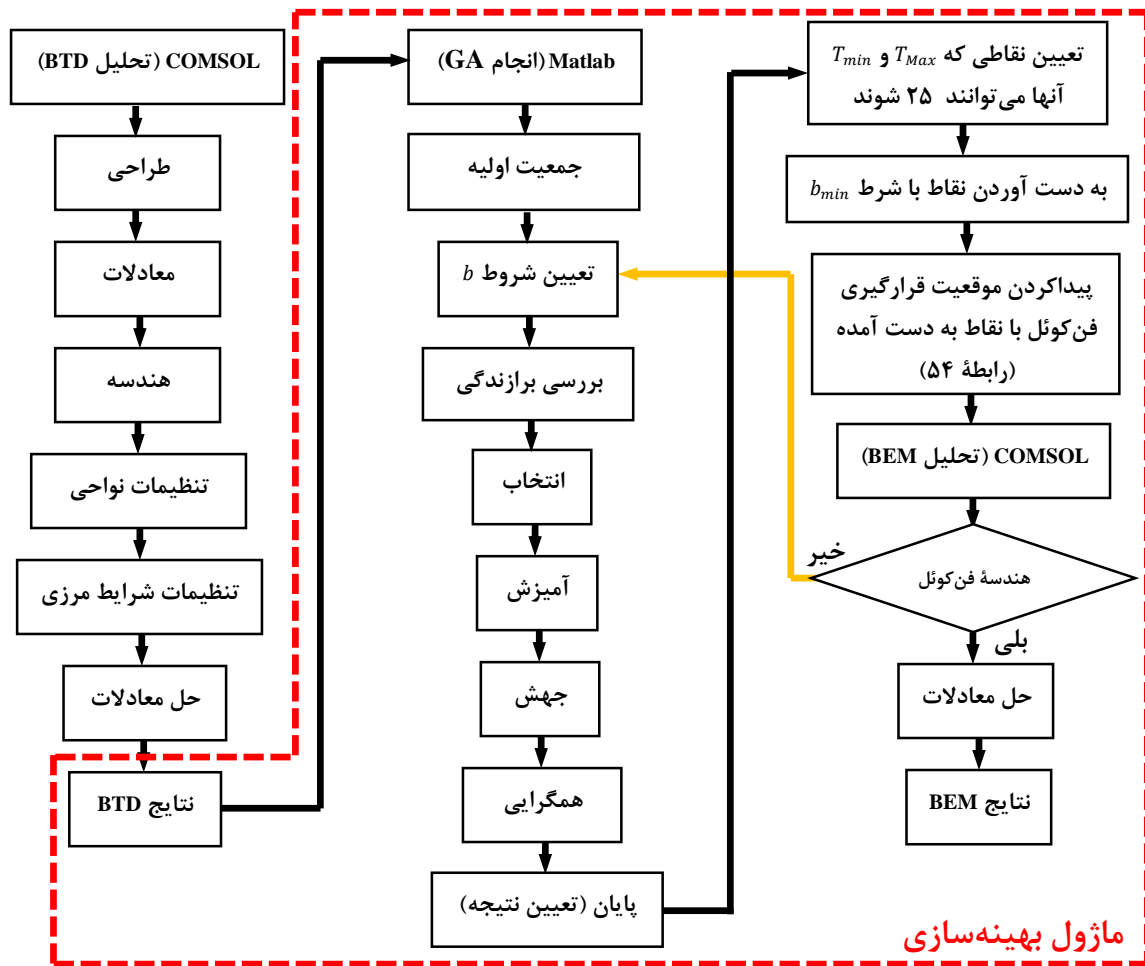
شکل ۱.۶ محل قرارگیری فن کوئل بر روی دیوار.

برای به دست آوردن بهترین نقطه قرارگیری وسایل سرمایشی با GA یک روش انجام کار، شکل ۲.۶ است که بسیار زمانبر است:



شکل ۲.۶ روش اول پیدا کردن بهترین نقطه قرارگیری وسایل سرمایشی با GA.

نویسنده به جای روش شکل ۲.۶ از روش ابداعی ساده‌تر خود که اجرای آن زمان کوتاهی (۱۲ دقیقه) به طول می‌انجامد برای پیدا کردن بهترین نقطه قرارگیری وسایل سرمایشی استفاده می‌کند (شکل ۳.۶). روش شکل ۲.۶ زمانبر و دو هفته به طول می‌انجامد.



شکل ۳.۶ ماژول بهینه‌سازی پیشنهادی نویسنده.

این روش بدین شرح است: از آنجاییکه دمای حداکثر می‌تواند در هر نقطه از اتاق قرار بگیرد و دمای حداقل نزدیک به فن کوئل قرار دارد، مقادیر بیشینه b_{Max} از بین ۱۳۵۷۷ داده دما و کمینه b_{min} از بین ۳۱۷ داده دما در فایل Excel برای هر ۱۲ ساعت انتخاب و یک به یک به عنوان قیود تابع هدف b به صورت معادله ۵-۶ معرفی می‌گردند (جدول ۱.۶).

$$[A]T \leq b \quad (۵-۶)$$

که T نقطه بهینه، b قید و A ماتریسی است که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases} T_{Max} - 25 \geq 0 \rightarrow -T_{Max} \leq -25 \\ T_{min} - 25 \leq 0 \rightarrow T_{min} \leq 25 \end{cases} \rightarrow [-1 \quad 0; 0 \quad 1] \begin{bmatrix} T_{Max} \\ T_{min} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} -25 \\ 25 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow A = [-1 \quad 0; 0 \quad 1];$$

جدول ۱.۶ شروط تعريف شده براي ۱۲ ساعت BTD.

b		ساعت	b		ساعت
b_{min}	b_{max}		b_{min}	b_{max}	
۲۹/۱۱۰۸۰۶۵۲	۲۹/۱۵۷۶۷۸۱۵	۱۲	۲۰/۹۸۰۹۰۷۹۱	۲۱/۰۷۱۴۲۱۸۲	۶
۲۸/۷۷۶۲۷۹۵۱	۲۸/۸۰۴۷۴۴۲۹	۱۳	۲۱/۹۱۵۶۵۴۳۴	۲۲/۰۱۲۰۶۹۶۳	۷
۲۸/۵۱۸۹۱۸۲۷	۲۸/۵۴۰۵۲۰۳	۱۴	۲۳/۰۵۰۶۹۰۱۶	۲۳/۱۴۶۷۷۵۹۱	۸
۲۷/۷۳۵۰۷۶۷۸	۲۷/۷۵۰۶۳۵۵۳	۱۵	۲۵/۹۱۵۷۵۴۹۱	۲۶/۰۱۶۱۸	۹
۲۶/۹۷۲۵۵۳۴۱	۲۶/۹۹۲۵۱۵۲۶	۱۶	۲۷/۶۷۴۱۲۲۷۸	۲۷/۷۶۱۰۶۵۲۱	۱۰
۲۶/۶۵۵۱۵۴۸۳	۲۶/۶۷۸۵۴۹۸۹	۱۷	۲۸/۶۸۹۲۲۷۹۳	۲۸/۷۵۶۰۴۹۳	۱۱

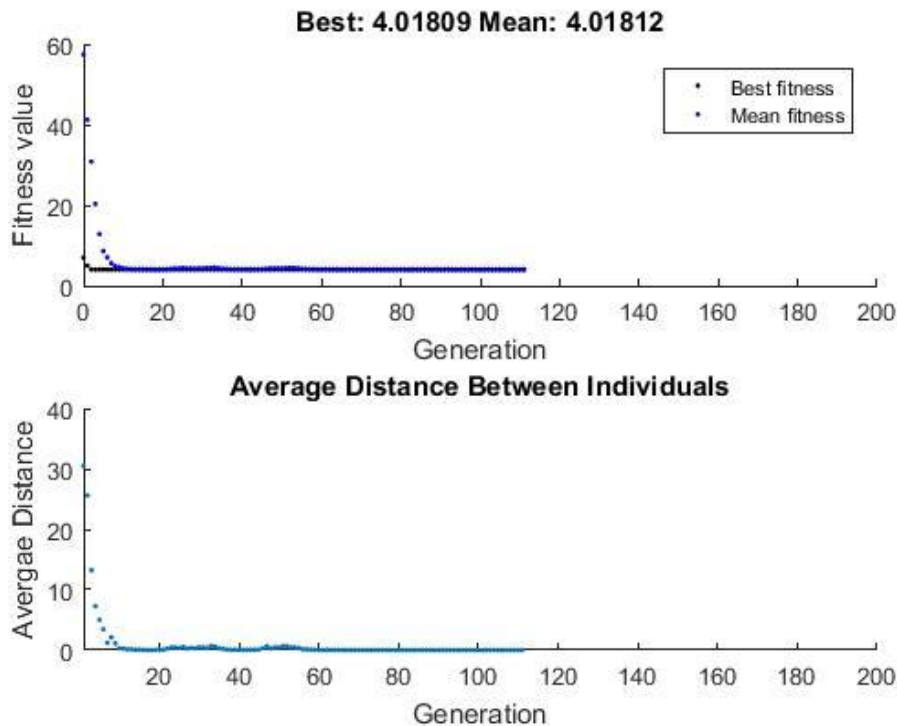
پس از اجرای تابع GA در متلب، مقدار بهینه و دماهای حداکثر و حداقل طی ۱۲ ساعت بر اساس جدول ۲.۶ به دست می‌آیند.

جدول ۲.۶ نتایج مقدار برازندگی GA طی ۱۲ ساعت.

T_{min}	T_{Max}	F	ساعت	T_{min}	T_{Max}	F	ساعت
۲۵	۲۵	$۱/۵۵۱۷ \times ۱۰^{-۸}$	۱۲	۲۰/۹۸۱۹	۲۵	۴/۰۱۸۱	۶
۲۵	۲۵	$۲/۰۰۵۹ \times ۱۰^{-۷}$	۱۳	۲۱/۹۱۶۷	۲۵	۳/۰۸۳۳	۷
۲۵	۲۵	$۱/۶۳۷۲ \times ۱۰^{-۹}$	۱۴	۲۳/۰۵۱۷	۲۵	۱/۹۴۸۳	۸
۲۵	۲۵	$۷/۴۰۱۲ \times ۱۰^{-۹}$	۱۵	۲۵	۲۵	$۲/۵۵۴۲ \times ۱۰^{-۸}$	۹
۲۵	۲۵	$۷/۴۸۱۸ \times ۱۰^{-۱۰}$	۱۶	۲۵	۲۵	$۱/۶۰۲۴ \times ۱۰^{-۷}$	۱۰
۲۵	۲۵	$۱/۴۲۵۷ \times ۱۰^{-۸}$	۱۷	۲۵	۲۵	$۵/۴۲۷۷ \times ۱۰^{-۸}$	۱۱

همانطوریکه در فصل ۴ اشاره شد، در الگوریتم GA پس از مراحل آمیزش و جهش و نگاشت ژنوتیپ - فنوتیپ، فنوتیپ به دست آمده برای یک راه‌حل با تابع برازندگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در واقع تابع برازندگی به اندازه‌گیری کیفیت راه‌حلهایی که GA تولید کرده است، می‌پردازد. در ادامه بهترین راه‌حلهای نسل در جهت بهینه‌سازی و برای دستیابی به پیشرفت بهبود تابع برازندگی با تقریب مطلوب به میزان زیادی کاهش می‌یابند و در نهایت به همگرایی می‌رسند [۱۱۳]. شکل ۴.۶ اجرای الگوریتم

ژنتیک این تحقیق رسیدن به همگرایی و توقف پس از ۱۱۲ نسل ایجاد شده را برای ساعت ۶ نشان می دهد.



شکل ۴.۶ اجرای GA، رسیدن به همگرایی و توقف پس از ۱۱۲ نسل ایجاد شده برای ساعت ۶.

از آنجاییکه هدف تعیین محل قرارگیری وسایل سرمایشی است و T_{min} همواره نزدیک به فن کوئل قرار دارد، لذا فن کوئل باید در b_{min} قرار بگیرد (جدول ۱.۶). با توجه به جدول ۲.۶، نقاط بهینه با معیار نقطه آسایش 25°C طی ساعات ۹ صبح تا ۵ بعد از ظهر پیدا می شوند که دو نقطه پیدا شده در ساعات ۱۶ و ۱۷ در گوشه اتاق جای گرفته اند.

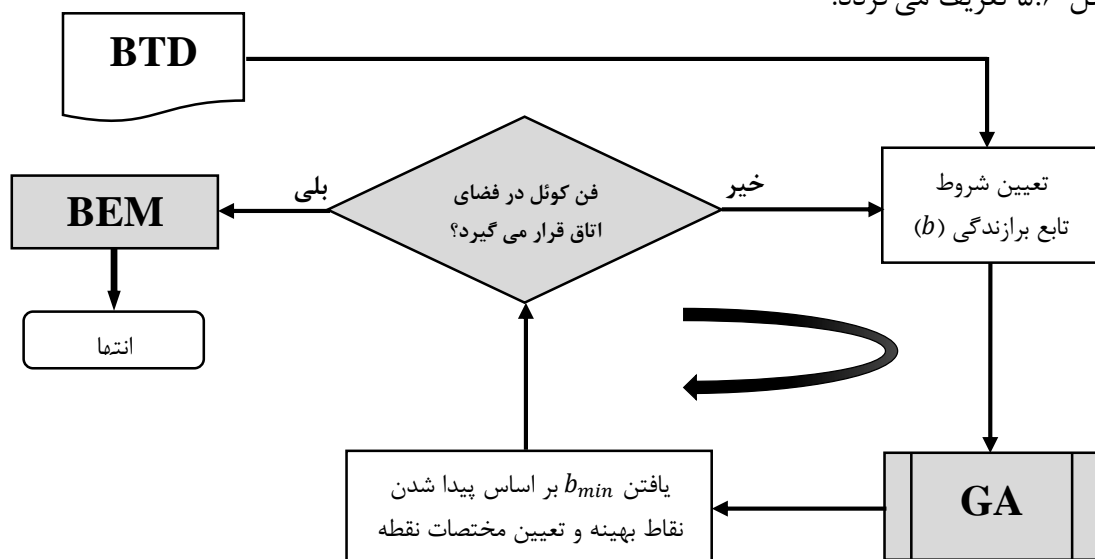
جدول ۳.۶ نقاط بهینه به دست آمده از آزمایش.

b_{min}	Z	Y	X	نتیجه بهینه سازی	b_{min}	Z	Y	X	نتیجه بهینه سازی
۲۸/۵۱۹	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	نقطه ۶ (ساعت ۱۴)	۲۵/۹۱۵	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	نقطه ۱ (ساعت ۹)
۲۷/۷۳۵	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	نقطه ۷ (ساعت ۱۵)	۲۷/۶۷۴	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	نقطه ۲ (ساعت ۱۰)
۲۶/۹۷۵	۱/۹۰۷۶۹۲	.	.	نقطه ۸ (ساعت ۱۶)	۲۸/۶۸۹	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	نقطه ۳ (ساعت ۱۱)
۲۶/۶۵۵	۱/۹۰۷۶۹۲	.	.	نقطه ۹ (ساعت ۱۷)	۲۹/۱۱۱	۱/۵۶۸۴۲۹	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۲۰۸۸۲۶	نقطه ۴ (ساعت ۱۲)
					۲۸/۷۷۶	۱/۵۶۸۴۲۹	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۲۰۸۸۲۶	نقطه ۵ (ساعت ۱۳)

با توجه به جدول ۳.۶، ۳ نقطه بهینه بر روی دیوارها به دست می‌آیند. پس از یافتن نقاط X ، Y و Z موقعیت قرارگیری فن کوئل به صورت رابطه ۶-۶ تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} X \rightarrow (X_{\text{آزمایش}} - 2.25) \times (-1) \\ Z \rightarrow (Z_{\text{آزمایش}} - 1.6) \times (-1) \end{cases} \quad (6-6)$$

سپس EM در شرایط بیشترین دمای محیط (29°C) و با کمترین سرعت فن کوئل ($1/0.16 \frac{m}{s}$)، برای ۲ نقطه اجرا و بهترین مدل انتخاب می‌گردد (از آنجایی که فن کوئل با مختصات ساعات ۱۶ و ۱۷ در خارج از فضای اتاق قرار می‌گیرد، این مختصات قابل قبول نیستند). الگوریتم بهینه‌سازی با GA به صورت شکل ۵.۶ تعریف می‌گردد.



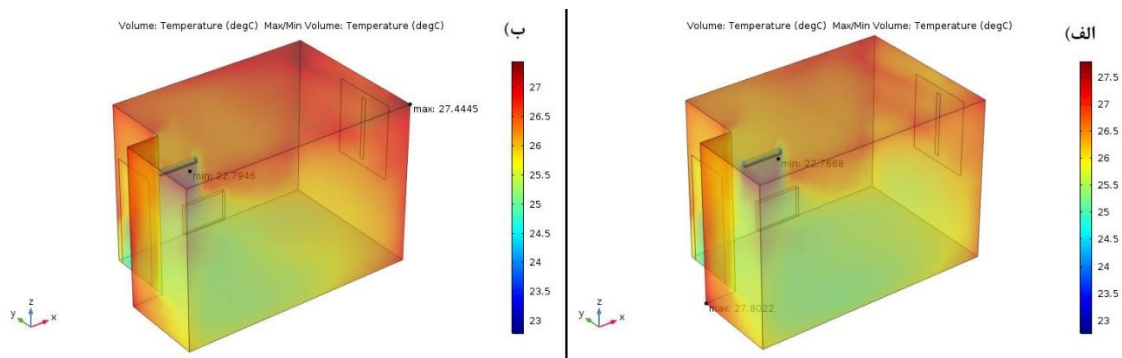
شکل ۵.۶ جریان کار روش پیشنهادی بهینه‌سازی GA نویسنده.

۱.۲.۶ نتایج بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک

EM انجام شده با نتایج بهینه‌سازی در جدول ۴.۶ و شکل ۶.۶ آمده است.

جدول ۴.۶ نتایج حاصل از بهینه‌سازی GA.

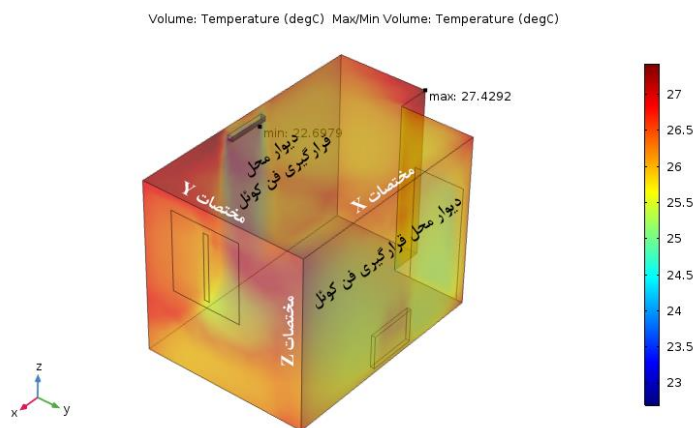
ردیف	نتیجه بهینه‌سازی	X	Y	Z	T_{min}	T_{Max}
الف	نقطه اول (ساعات ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۴ و ۱۵)	۲/۴۴۷۰۷۷	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۱/۵۷۹۴۴۸	۲۲/۷۶۶۸	۲۷/۸۰۲۲
ب	نقطه دوم (ساعات ۱۲ و ۱۳)	۲/۲۰۸۸۲۶	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۱/۵۶۸۴۲۹	۲۲/۷۹۴۶	۲۷/۴۴۴۵



شکل ۶.۶ EM حاصل از بهینه‌سازی با دو موقعیت جدید قرارگیری فن کوئل.

۳.۶ روش تاگوچی

برای بهینه‌سازی به روش تاگوچی، پارامترهای موردنظر مطابق شکل ۷.۶ معرفی می‌گردند. حداقل و حداکثر ارتفاع قرارگیری فن کوئل به صورت رابطه ۶-۴ است و محل قرارگیری فن کوئل بر روی دیوار به صورت رابطه ۶-۳ در نظر گرفته می‌شود. در روش تاگوچی تعداد سطوح بیشتر از ۵ نمی‌توان در نظر گرفت. لذا پارامترها و سطوح مدنظر برای آزمایش مطابق جدول ۵.۶ در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۷.۶ تعریف پارامترهای تاگوچی با مختصاتهای X, Y و Z (EM) در بیشترین دمای محیط (29°C) و با کمترین سرعت فن کوئل).

جدول ۵.۶ پارامترها و سطوح مورد استفاده برای اجرای بهینه‌سازی به روش تاگوچی.

پارامتر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم	سطح پنجم
مختصات X	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵
مختصات Y	۰	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۰	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۰
مختصات Z	۱/۷۵	۲	۲/۲۵	۲/۵	۲/۷۵

در ادامه آزمایشات تاگوچی از جمله DOF هر پارامتر، DOF کل و حداقل تعداد آزمایشات، طبق معادلات ۶-۷ تا ۶-۹ تعیین می‌گردند. در این آزمایش DOF کل، ۱۲ و حداقل تعداد آزمایشات ۱۳ تعیین می‌شوند.

$$DOF(\text{parameter}) = \text{Level}(\text{parameter}) - 1 = 5 - 1 = 4 \quad (۷-۶)$$

$$DOF(\text{total}) = \sum DOF(\text{parameter}) = 3 \times 4 = 12 \quad (۸-۶)$$

$$DOF(\text{total}) + 1 = 12 + 1 = 13 \quad (۹-۶)$$

با توجه به پارامترها و تعداد سطوح آنها، تمام تعداد حالت‌های ممکن آزمایشات به صورت رابطه ۶-۱۰ محاسبه می‌شود که ۱۲۵ آزمایش باید انجام گیرد.

$$\text{سطح پارامتر} = 5^3 = 125 \quad (۱۰-۶)$$

ولی به جای انجام ۱۲۵ آزمایش، برای تعیین تعداد آزمایشها و نحوه انجام آنها از جدول OA های تاگوچی (پیوست ۲) استفاده می‌شود. با توجه به پارامترها و تعداد سطوح آنها و با توجه به جدول پیوست ۲، آرایه L25 برای انجام آزمایش مناسب است، یعنی به جای ۱۲۵ آزمایش، تنها ۲۵ آزمایش با روش تاگوچی انجام می‌گیرد. برای استخراج مشخصات آزمایشات موردنیاز، از نرم‌افزار Minitab استفاده می‌شود (برای اطلاع از نحوه انجام کار با نرم‌افزار Minitab به پیوست ۱۳ مراجعه نمایید). ۲۵ آزمایش تصادفی تاگوچی بر اساس جدول ۵.۶، مطابق جدول ۶.۶ هستند.

تابع برازندگی به صورت معادله ۶-۲ تعریف می‌گردد. با توجه به هندسه تعریف شده در نرم‌افزار COMSOL، مختصات دیوار و محل قرارگیری فن کوئل، محل جدید قرارگیری فن کوئل بر روی دیوار به صورت رابطه ۶-۶ تعریف می‌شود.

جدول ۶.۶ ۲۵ آزمایش به دست آمده از روش تاگوچی.

F	Z	Y	X	تعداد آزمایشات	F	Z	Y	X	تعداد آزمایشات
۵/۱۹۰۶	۱/۷۵	۲/۹۷۵۴۷	۲/۵	۱۴	۴/۶۵۳۷	۱/۷۵	۰	۱/۵	۱
۴/۷۰۱۳	۲	۰	۲/۵	۱۵	۴/۷۸۷۰	۲	۲/۹۷۵۴۷	۱/۵	۲
۴/۶۲۳۵	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۳	۱۶	۴/۷۰۳۸	۲/۲۵	۰	۱/۵	۳
۴/۵۷۳۵	۲/۷۵	۲/۹۷۵۴۷	۳	۱۷	۴/۶۹۰۸	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۱/۵	۴
۴/۹۲۶۸	۱/۷۵	۰	۳	۱۸	۴/۷۸۳۶	۲/۷۵	۰	۱/۵	۵

۴/۶۹۱۲	۲	۲/۹۷۵۴۷	۳	۱۹	۴/۵۶۳۱	۲	۰	۲	۶
۴/۸۳۳۸	۲/۲۵	۰	۳	۲۰	۴/۷۱۱۵	۲/۲۵	۲/۹۷۵۴۷	۲	۷
۴/۸۸۴۹	۲/۷۵	۰	۳/۵	۲۱	۴/۵۴۴۸	۲/۵	۰	۲	۸
۴/۷۰۸۹	۱/۷۵	۲/۹۷۵۴۷	۳/۵	۲۲	۴/۶۶۵۱	۲/۷۵	۲/۹۷۵۴۷	۲	۹
۴/۸۸۰۸	۲	۰	۳/۵	۲۳	۴/۵۷۲۷	۱/۷۵	۰	۲	۱۰
۴/۶۶۳۹	۲/۲۵	۲/۹۷۵۴۷	۳/۵	۲۴	۴/۷۶۰۴	۲/۲۵	۰	۲/۵	۱۱
۴/۹۳۴۲	۲/۵	۰	۳/۵	۲۵	۴/۶۶۳۲	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۲/۵	۱۲
					۴/۷۵۶۳	۲/۷۵	۰	۲/۵	۱۳

در ادامه EM با هر ۲۵ آزمایش به دست آمده از روش تاگوچی در نرم افزار COMSOL انجام می گیرد و نتایج دماهای حداکثر و حداقل به صورت جدول ۷.۶ گزارش می گردند.

جدول ۷.۶ نتایج T_{min} و T_{Max} حاصل از EM با ۲۵ آزمایش به دست آمده از روش تاگوچی.

T_{Max}	T_{min}	تعداد آزمایشات	T_{Max}	T_{min}	تعداد آزمایشات
۲۷/۹۵۵۵	۲۲/۷۶۴۹	۱۴	۲۷/۴۳۳۳	۲۲/۷۷۹۶	۱
۲۷/۴۶۶۵	۲۲/۷۶۵۲	۱۵	۲۷/۵۹۰۳	۲۲/۸۰۳۳	۲
۲۷/۴۰۰۳	۲۲/۷۷۶۸	۱۶	۲۷/۵۰۵۶	۲۲/۸۰۱۸	۳
۲۷/۳۴۴۶	۲۲/۷۷۱۱	۱۷	۲۷/۴۴۸۴	۲۲/۷۵۷۶	۴
۲۷/۶۳۲۱	۲۲/۷۰۵۳	۱۸	۲۷/۵۵۶۷	۲۲/۷۷۳۱	۵
۲۷/۴۵۹۸	۲۲/۷۶۸۶	۱۹	۲۷/۳۴۷۲	۲۲/۷۸۴۱	۶
۲۷/۶۰۹۰	۲۲/۷۷۵۲	۲۰	۲۷/۴۹۲۴	۲۲/۷۸۰۹	۷
۲۷/۶۵۶۶	۲۲/۷۷۱۷	۲۱	۲۷/۳۴۹۱	۲۲/۸۰۴۳	۸
۲۷/۴۵۲۴	۲۲/۷۴۳۵	۲۲	۲۷/۴۴۵۰	۲۲/۷۷۹۹	۹
۲۷/۶۵۴۲	۲۲/۷۷۳۴	۲۳	۲۷/۳۴۱۲	۲۲/۷۶۸۵	۱۰
۲۷/۴۳۹۸	۲۲/۷۷۵۹	۲۴	۲۷/۵۲۳۹	۲۲/۷۶۳۵	۱۱
۲۷/۶۶۳۵	۲۲/۷۲۹۳	۲۵	۲۷/۴۷۴۱	۲۲/۸۱۰۹	۱۲
			۲۷/۴۷۰۲	۲۲/۷۱۳۹	۱۳

سپس نتایج حاصل از تحلیل جدول ۷.۶ با استفاده از تابع برازندگی (معادله ۶-۲) استخراج و در جدول ۶.۶ وارد می گردند. در ادامه این نتایج با استفاده از دو روش ANOVA و SNR مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرند تا نهایتاً بهترین حالت ممکن استخراج شود.

الف- روش سیگنال به نویز

در روش SNR در صورتیکه بهترین حالت خروجی یک آزمایش در کمینه‌ترین حالت آن رخ دهد، مقدار تابع تلفات^۱ (LF) به صورت معادله ۱۱-۶ تعریف می‌شود:

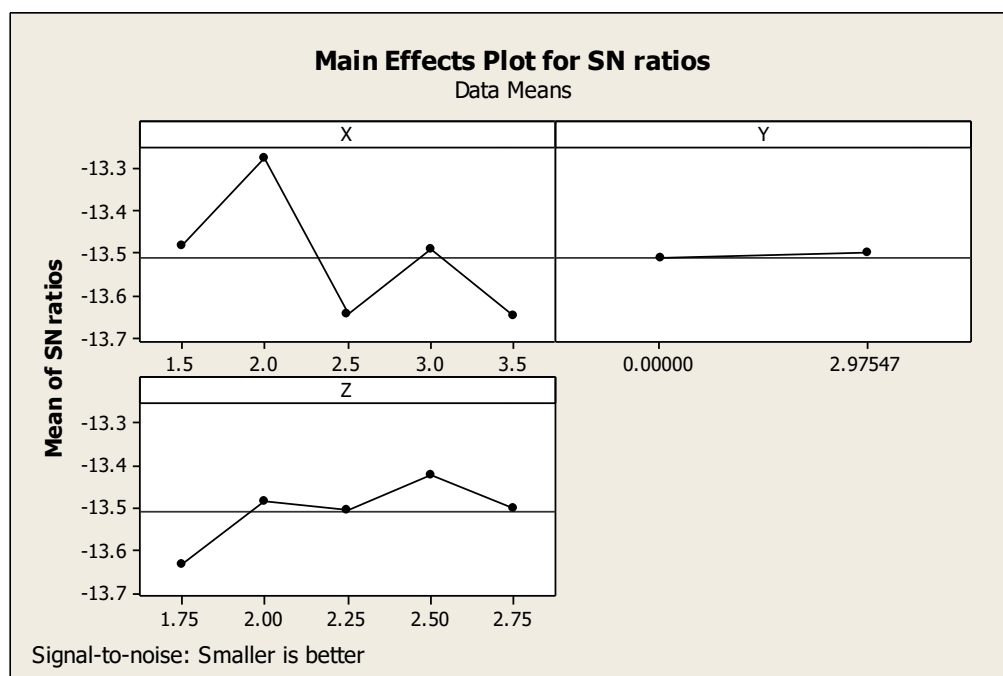
$$SB = \frac{1}{n} \sum (F_i)^2 \quad (11-6)$$

که n تعداد تکرارهای انجام شده از یک آزمایش و F_i تابع برازندگی متناظر با آزمایش انجام شده است. مقدار نسبت سیگنال به نویز طبق رابطه ۴-۱ از فصل ۴ به صورت رابطه ۶-۱۲ تعریف می‌شود:

$$\eta = -20 \log(\text{برازندگی}) = -20 \log(SB) \quad (12-6)$$

لذا همانطور که قبلاً در فصل ۴ نیز به آن اشاره شد، سطحی از یک پارامتر که دارای بیشترین مقدار SNR باشد، دارای بهترین حالت است. نتایج بهینه‌سازی با استفاده از روش SNR به صورت شکل ۸.۶

و جدول ۸.۶ هستند.



شکل ۸.۶ نتایج بهینه‌سازی SNR.

^۱ Loss Function

ب- روش تحلیل واریانس

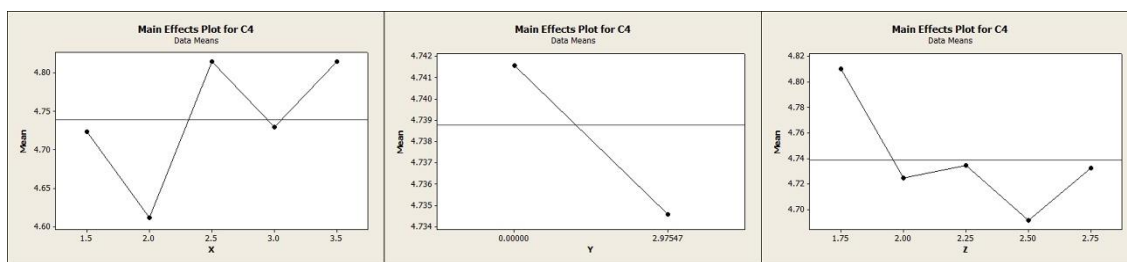
همانطوریکه در فصل ۴ ذکر گردید، ANOVA کُل تغییرات را به اجزای مناسبی تقسیم می‌کند. طبق تحلیل ANOVA از فصل ۴ مجموع میانگین مربعات از رابطه ۶-۱۳ به دست می‌آید:

$$SS_m = nM^2 \quad (۱۳-۶)$$

که n تعداد تکرارهای انجام شده از یک آزمایش و M به صورت رابطه ۶-۱۴ است:

$$M = 1/n \sum F_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (۱۴-۶)$$

طبق این تحلیل سطحی از یک پارامتر که دارای کمترین مقدار ANOVA باشد، دارای بهترین حالت است. نتایج بهینه‌سازی با استفاده از روش ANOVA به صورت شکل ۹.۶ و جدول ۸.۶ هستند.



شکل ۹.۶ نتایج بهینه‌سازی ANOVA.

۱.۳.۶ نتایج بهینه‌سازی به روش تاگوچی

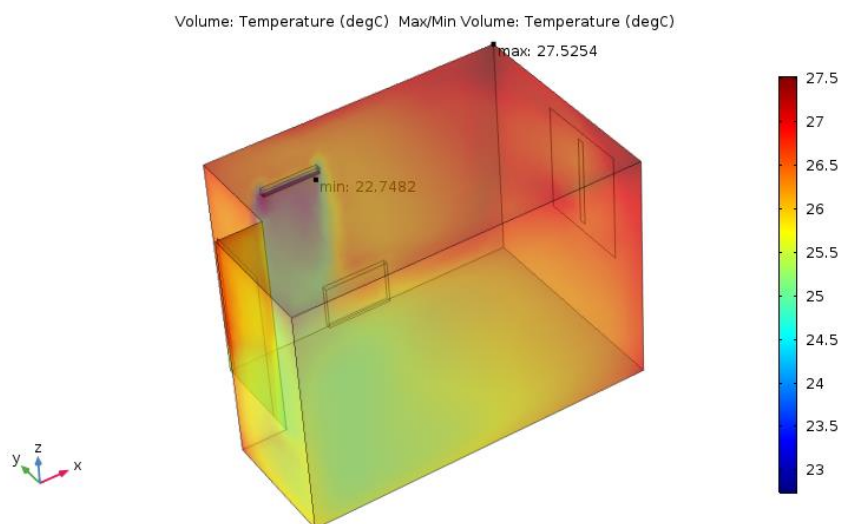
پس از انجام دو روش SNR و ANOVA نتایج حاصل از بهینه‌سازی هر دو تحلیل مانند هم می‌شوند.

جدول ۸.۶ نتایج حاصل از بهینه‌سازی SNR و ANOVA.

T_{Max}	T_{min}	Z	Y	X	نتیجه بهینه‌سازی
۲۷/۵۲۵۴	۲۲/۷۴۸۲	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۲	SNR
۲۷/۵۲۵۴	۲۲/۷۴۸۲	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۲	ANOVA

EM با موقعیت جدید به دست آمده از بهینه‌سازی، مجدداً انجام می‌گیرد و نتایج به دست آمده در

جدول ۸.۶ وارد می‌شوند. EM انجام شده در شکل ۱۰.۶ آمده است.



شکل ۱۰.۶. EM حاصل از بهینه‌سازی با موقعیت جدید قرارگیری فن کوئل.

فصل ۷

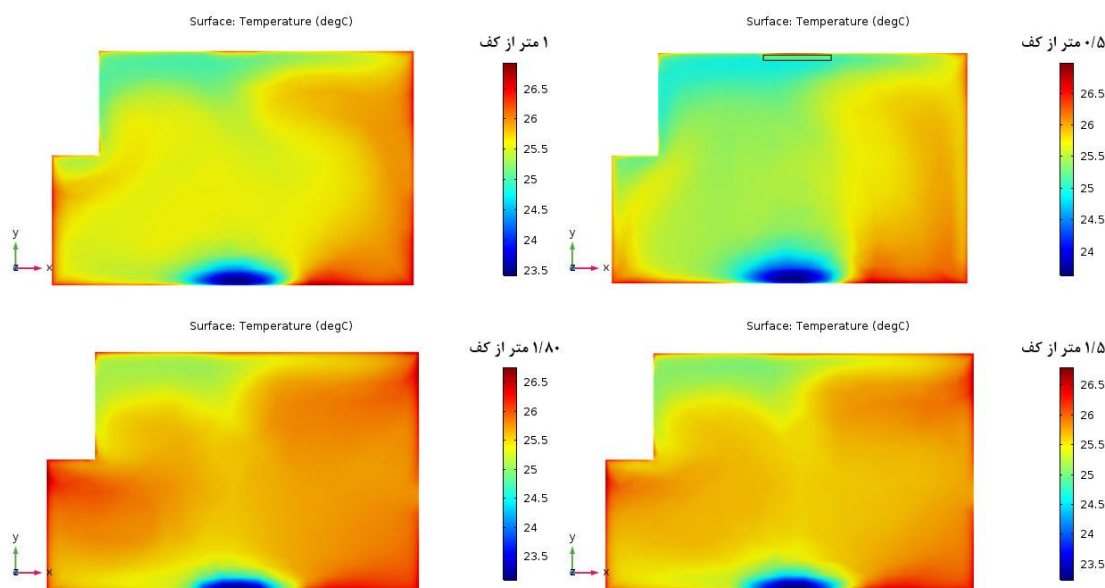
نتیجہ آزمائش

۱.۷ مقدمه

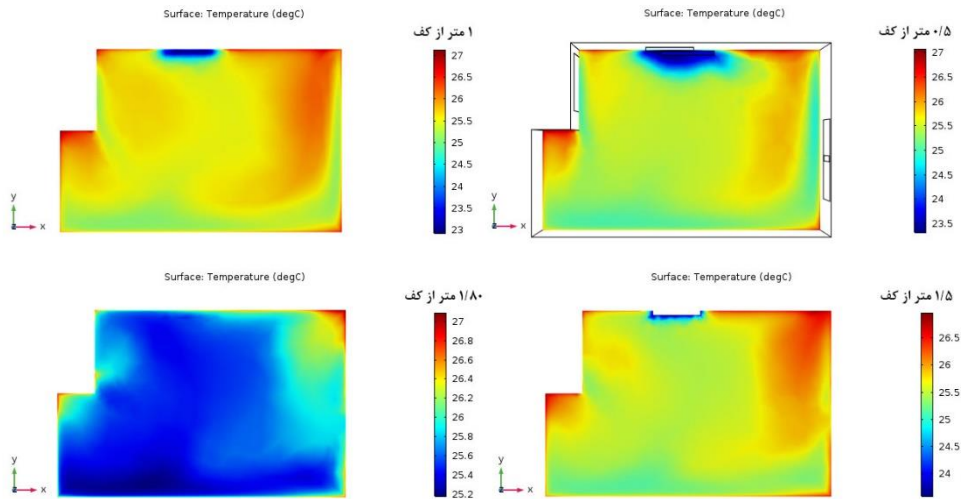
از آنجاییکه درصد زیادی از تلفات انرژی ساختمان از طریق وجود نشتیهای موجود در پوسته خارجی ساختمان رخ می‌دهند، بهره‌وری عملکرد تجهیزات سیستمهای HVAC می‌تواند به میزان زیادی از مصرف انرژی ساختمان بکاهد. این مطالعه به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهره‌وری آسایش حرارتی در ساختمان انجام شده است. در این مطالعه پس از انجام BEM و به دست آمدن تخمینهای دما (فصل ۵)، بهترین مکان قرارگیری وسایل سرمایشی با بهینه‌سازی به روش GA و تاگوچی به دست آمد (فصل ۶). در این فصل ضمن مقایسه نتایج آزمایشهای انجام شده، به نقاط قوت و ضعف این پایان‌نامه نیز اشاره می‌گردد.

۱.۱.۷ نتایج آزمایشها و مقایسه

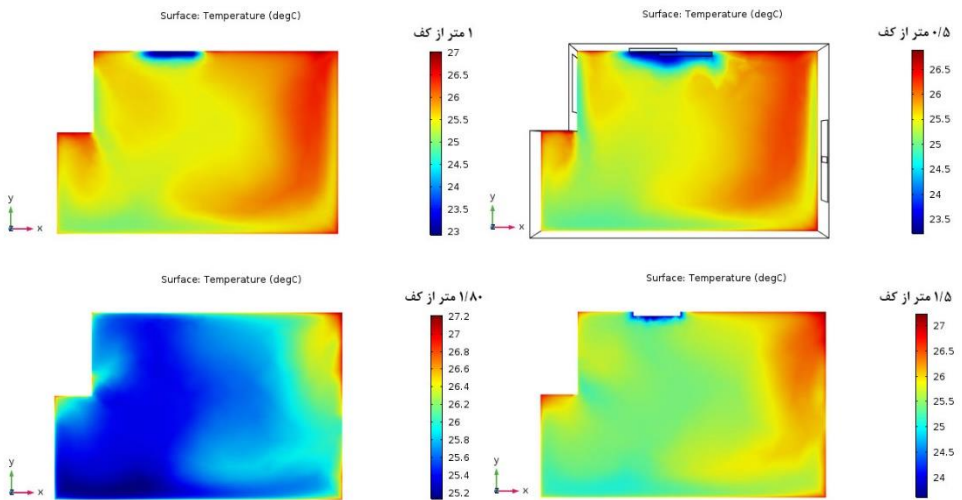
پس از انجام آزمایشات GA و تاگوچی، نتایج آزمایش به صورت مقاطع طولی (۰.۵ متر، ۱ متر، ۱/۵ متر و ۱/۸۰ متر) در شکلهای ۱.۷ تا ۴.۷ و عرضی (۱/۳ متر، ۲/۳ متر و ۳/۳ متر) در شکلهای ۵.۷ و ۶.۷ برای حالت اولیه اتاق، دو حالت بهینه‌سازی شده GA و یک حالت بهینه‌سازی شده تاگوچی به دست می‌آیند.



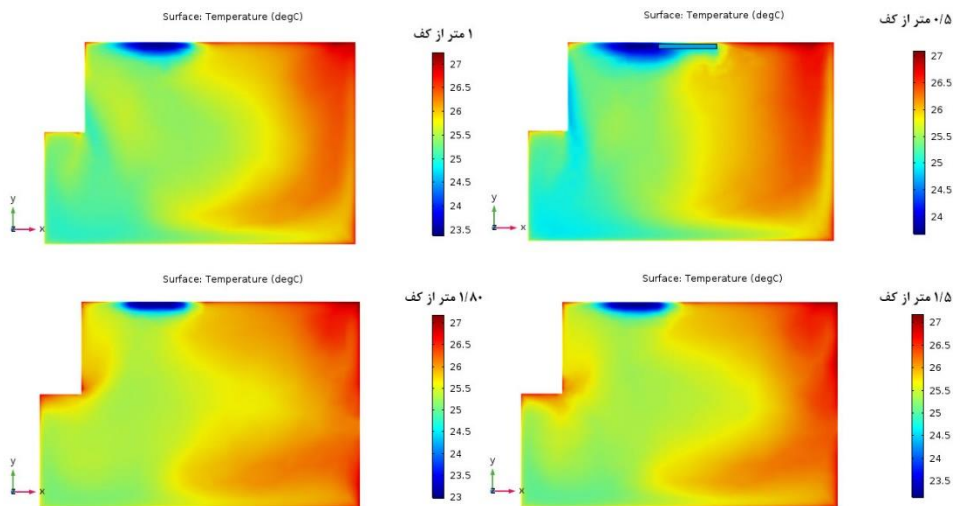
شکل ۱.۷ برش مقاطع طولی دمای اتاق.



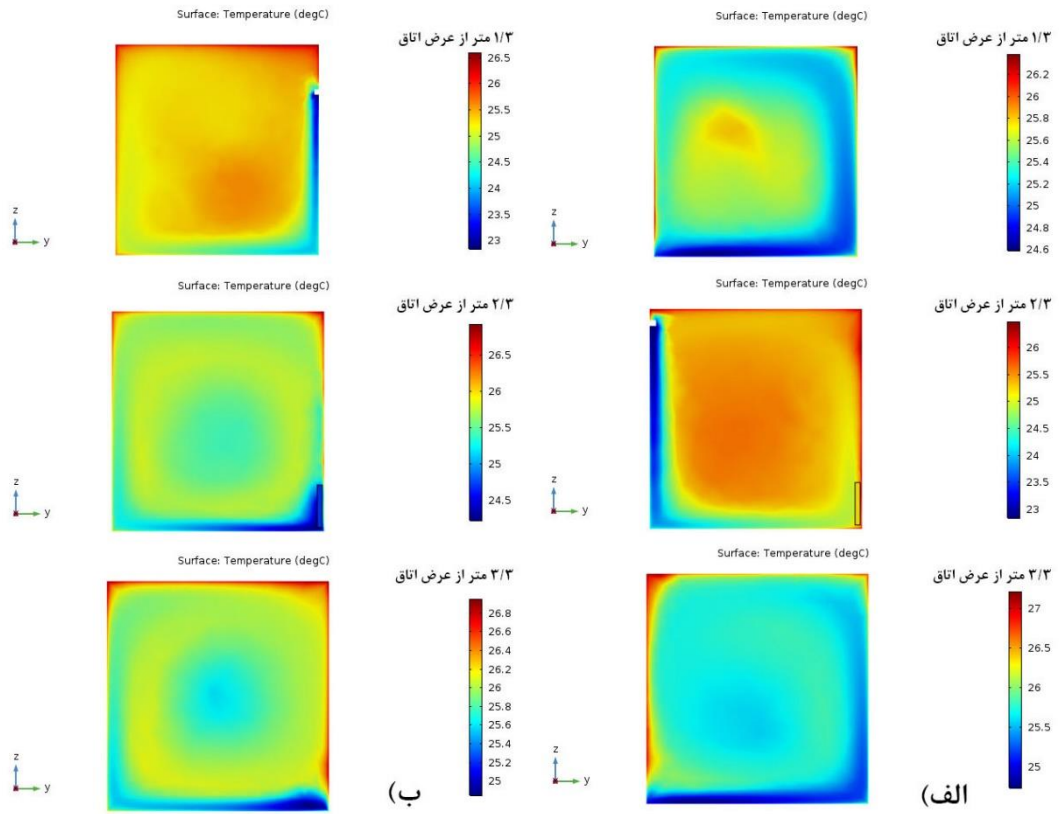
شکل ۲.۷. برش مقاطع طولی دما برای حالت بهینه‌سازی GA-opt.



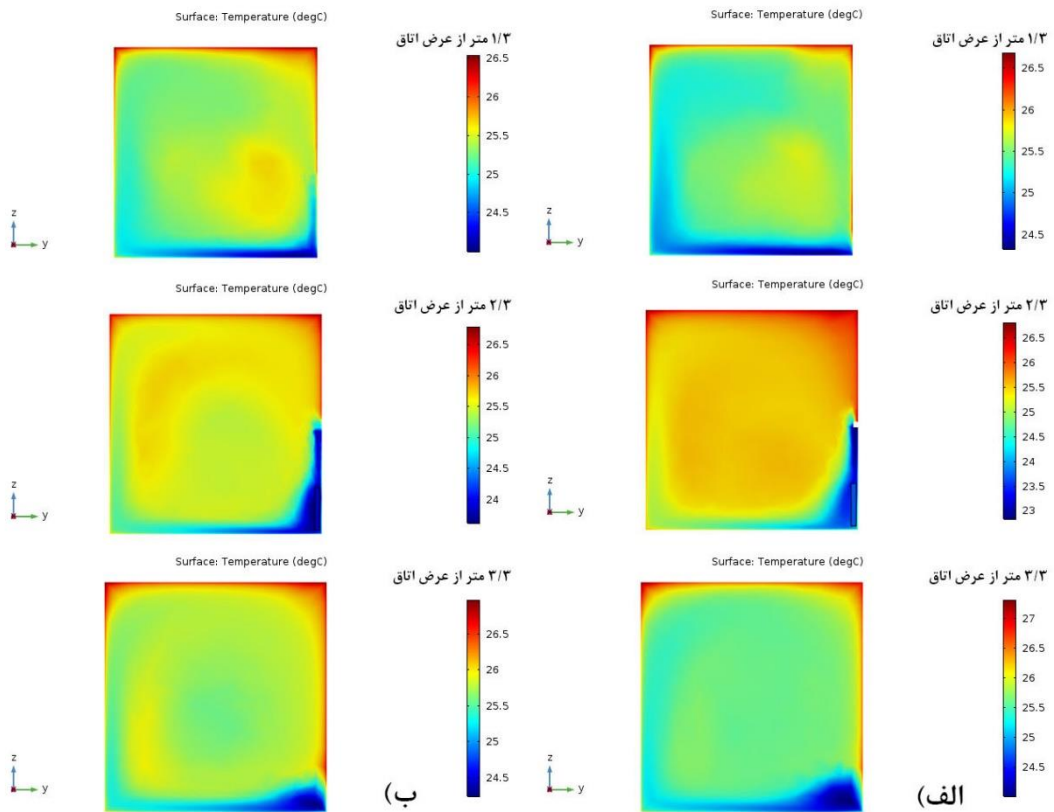
شکل ۳.۷. برش مقاطع طولی دما برای حالت بهینه‌سازی GA1-opt.



شکل ۴.۷. برش مقاطع طولی دما برای حالت بهینه‌سازی GA2-opt.



شکل ۵.۷ برش مقاطع عرضی دما: الف) اتاق و ب) بهینه‌سازی تاگوچی.

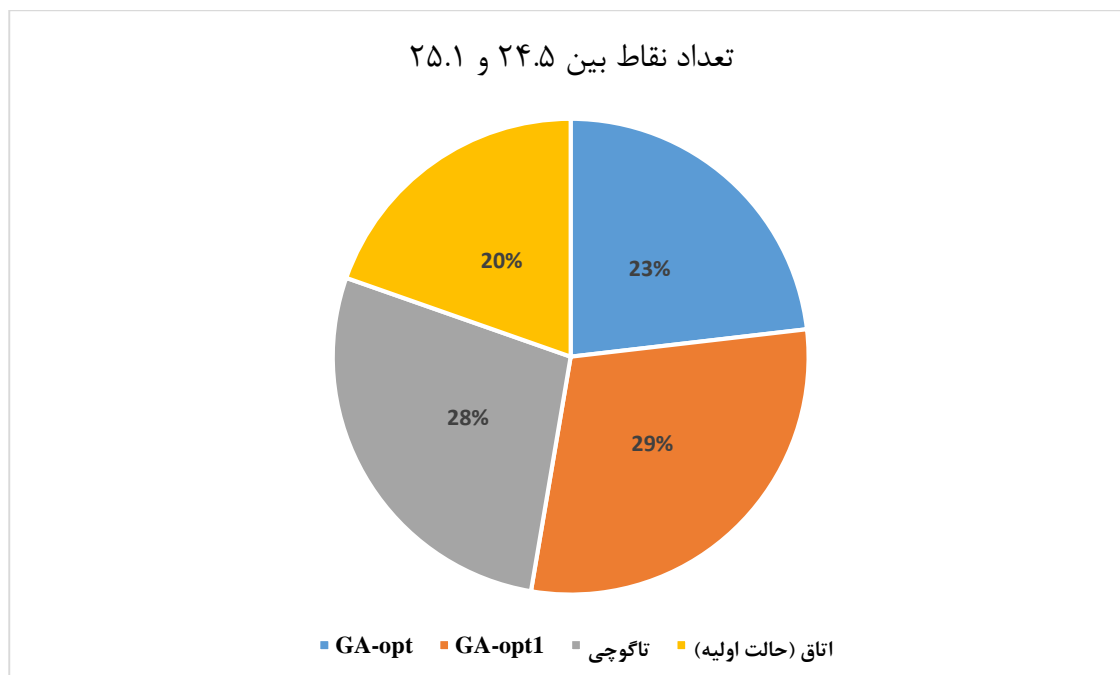


شکل ۶.۷ برش مقاطع عرضی دما: الف) بهینه‌سازی GA-opt و ب) بهینه‌سازی GA1-opt.

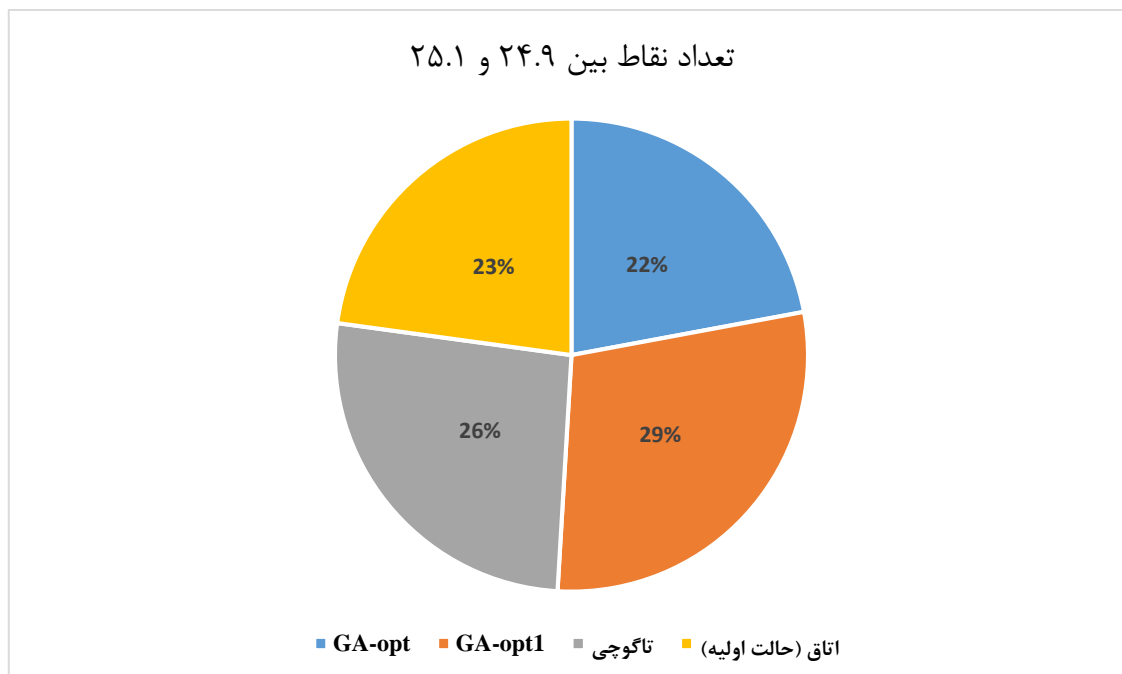
برای دستیابی به پاسخ آزمایش، معیار بررسی این سؤال انتخاب گردید که چه حجمی از فضای اتاق به نقطه آسایش رسیده است؟ به این منظور کلیه نقاط دما برای کلیه حالت‌های بهینه‌سازی شده: ۲ حالت برای GA، یک حالت برای تاگوچی و حالت اولیه بدون بهینه‌سازی از نرم‌افزار COMSOL استخراج گردید. دو معیار $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$ و $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$ انتخاب شد و تعداد نقاط با استفاده از این دو معیار آسایش برای دو حالت GA، یک حالت تاگوچی و حالت اولیه اتاق به دست آمدند (جدول ۱.۷ و شکل‌های ۷.۷ و ۸.۷).

جدول ۱.۷ تعداد نقاط به دست آمده در دو معیار آسایش $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$ و $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$.

تعداد نقاط به دست آمده در معیار آسایش مدنظر		نقاط بهینه به دست آمده			بهینه سازی انجام شده
$24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$	$24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$	Z	Y	X	
۱۳۰	۵۸	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	GA-opt
۱۶۶	۷۶	۱/۵۶۸۴۲۹	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۲۰۸۸۲۶	GA-opt1
۱۵۸	۷۰	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۲	تاگوچی
۱۱۲	۶۱	حالت اولیه			



شکل ۷.۷ مقایسه روشها با هم و با اتاق در معیار آسایش $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$.



شکل ۸.۷ مقایسه روشها با هم و با اتاق در معیار آسایش $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/1^{\circ}\text{C}$.

از آنجایی که روش پیشنهادی این پایان‌نامه جدید است و تاکنون هیچ مقاله‌ای در خصوص تعیین قرارگیری وسایل سرمایشی و گرمایشی انجام نشده است، برای مقایسه دقیقتر بین GA و تاگوچی از دو روش زیر استفاده می‌شود:

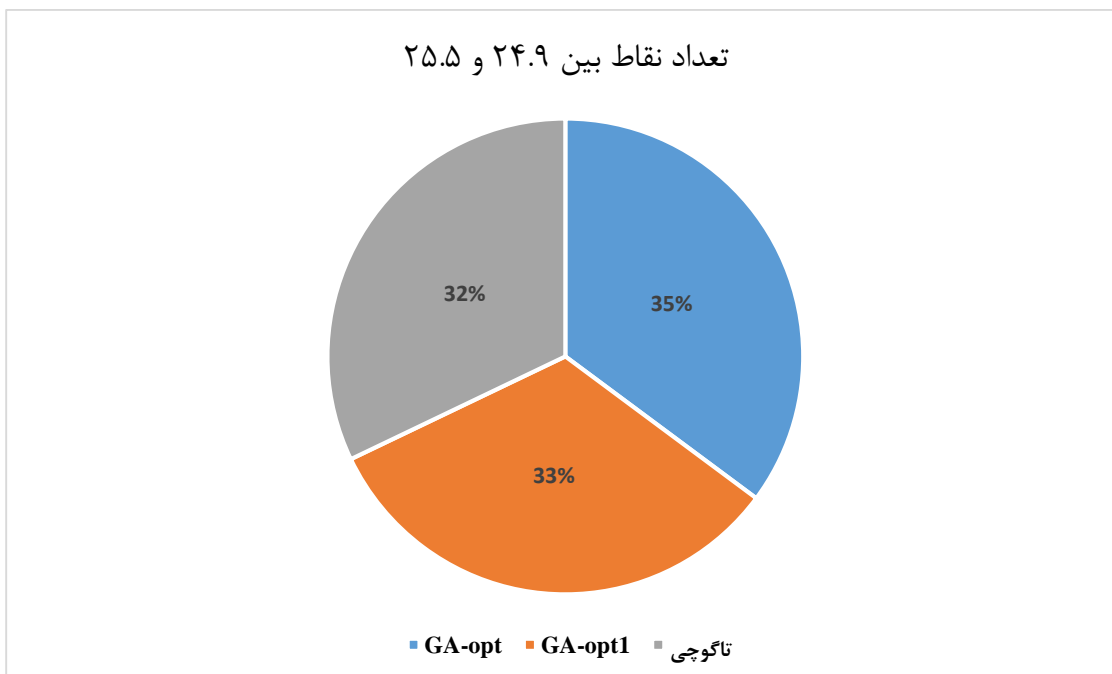
۱- استفاده از دو معیار آسایش دیگر $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$ و $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$

(جدول ۲.۷ و شکل‌های ۹.۷ و ۱۰.۷).

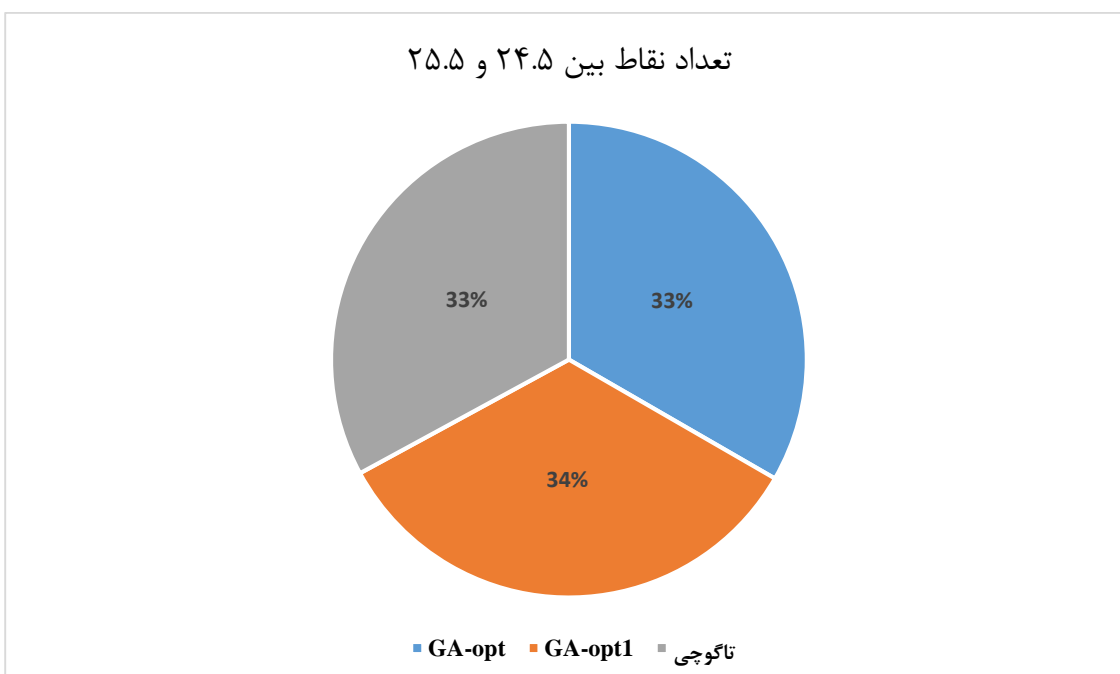
۲- مقایسه خطا با دو معیار غیر آسایش $T < 24^{\circ}\text{C}$ و $T > 26/5^{\circ}\text{C}$ و با CV-RMSE.

جدول ۲.۷ تعداد نقاط به دست آمده در دو معیار آسایش $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$ و $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$.

تعداد نقاط به دست آمده در معیار آسایش مدنظر		نقاط بهینه به دست آمده			بهینه‌سازی انجام شده
$24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$	$24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$	Z	Y	X	
۲۷۹	۲۰۷	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	GA-opt
۲۸۳	۱۹۳	۱/۵۶۸۴۲۹	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۲۰۸۸۲۶	GA-opt1
۲۸۰	۱۹۲	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۲	تاگوچی



شکل ۹.۷. مقایسه روشها با هم در معیار آسایش $24/9^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$.



شکل ۱۰.۷. مقایسه روشها با هم در معیار آسایش $24/5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 25/5^{\circ}\text{C}$.

در مقایسه حالت اول GA رفتار بهتری را نسبت به تاگوچی نشان می‌دهد. برای مقایسه خطا در حالت

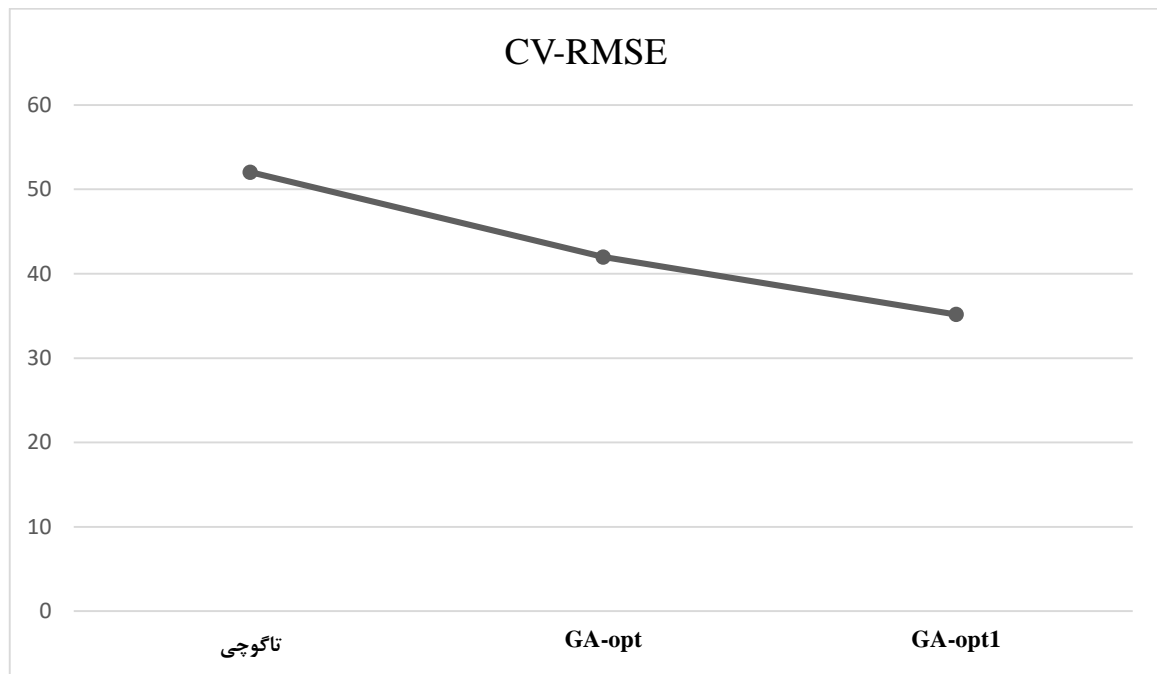
دوم از CV-RMSE استفاده گردید (معادله ۱-۷):

$$CVRMSE = 100 \times \frac{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]^{1/2}}{\bar{y}} \quad (1-7)$$

که n تعداد نقاط به دست آمده، y_i داده‌های به دست آمده اتاق با استفاده از معیارهای غیر آسایش $T < 24^\circ\text{C}$ و $T > 26/5^\circ\text{C}$ ، \tilde{y}_i داده‌های به دست آمده از بهینه‌سازی با استفاده از معیارهای غیر آسایش $T < 24^\circ\text{C}$ و $T > 26/5^\circ\text{C}$ و \bar{y} متوسط مقدار y_i است. با استفاده از این مقایسه درصد خطای هر سه نقطه بهینه‌سازی به دست می‌آید که GA-opt1 کمترین میزان خطا را نشان می‌دهد (جدول ۳.۷ و شکل ۱۱.۷).

جدول ۳.۷ مقایسه درصد خطای روشهای بهینه‌سازی.

CV-RMSE	نقاط بهینه به دست آمده			بهینه سازی انجام شده
	Z	Y	X	
۴۱٪	۱/۵۷۹۴۴۸	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۴۴۷۰۷۷	GA-opt
۳۵٪	۱/۵۶۸۴۲۹	۲/۹۷۵۴۶۷۱	۲/۲۰۸۸۲۶	GA-opt1
۵۲٪	۲/۵	۲/۹۷۵۴۷	۲	تاگوچی



شکل ۱۱.۷ مقایسه درصد خطای روشهای بهینه‌سازی.

در ادامه به نقاط قوت و ضعف طراحی این پایان‌نامه اشاره می‌شود.

۲.۱.۷ نقاط قوت پایان نامه

نقاط قوت طراحی این پایان نامه به استفاده از نرم افزار جدید و قوی شبیه سازی انرژی برای BEM و بهینه سازی آن با استفاده از GA بر می گردد که می توان این موارد را برای آن برشمرد: (۱) ارائه راهبردی تازه برای تعیین قرارگیری وسایل سرمایشی در ساختمان، (۲) تسهیل فرایند تصمیم گیری برای تعیین مکان وسایل سرمایشی و گرمایشی، (۳) ادغام BEM و GA در چارچوب همکاری با توسعه طرح گریش و همکاران [۲۴] به عنوان مدلی جامع برای شبیه سازی و بهینه سازی انرژی و (۵) ارائه یک رویکرد ساده برای توانمندسازی نقشه ها جهت BEM و تحلیل دقیق بهینه سازی مصرف انرژی. در نتیجه باید اظهار داشت از آنجاییکه بانک اطلاعات بهینه سازی، BIM است و BIM در صنعت ساختمان ابزاری برای اجرایی شدن پروژه ها قبل از ساخت است، این روش با استفاده از اطلاعات BIM و ارائه راهکار برای درست قرار دادن وسایل سرمایشی و گرمایشی در ساختمان به کمک BIM شتافته و به مهندسين این صنعت کمک می کند تا معماری و مهندسی درست و دقیقتری را برای ساختمان و افراد آن پیاده سازی نمایند. لذا این روش برای هر ساختمانی ۱۰۰٪ قابل اجرا است.

۳.۱.۷ نقاط ضعف پایان نامه

از نقاط ضعف این طراحی می توان این موارد را برشمرد: (۱) طولانی بودن زمان اجرای محاسبات BEM (اجرای BEM برای رادیاتور حدود ۳ ساعت و نیم و برای فن کوئل حدود ۲ ساعت و نیم به طول می انجامد).

فصل ۱

پیچگیری و

مشهد در افکار آینده

۱.۸ نتیجه گیری و پیشنهاد راهکار آینده

پژوهش حاضر سعی دارد تا در چارچوب BIM و به منظور تخمین دمای داخل ساختمان به BEM بپردازد. در حال حاضر EM های انجام شده با نرم افزارهای شبیه سازی انرژی خیلی کم به موضوع بهینه سازی مصرف انرژی برای آسایش حرارتی و بهره وری انرژی در ساختمان پرداخته اند. پژوهش حاضر سعی دارد تا با توسعه و اجرای طرح گریش و همکاری [۲۴] به تخمین و بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی ساختمان به منظور آسایش حرارتی در جهت بهره وری انرژی ساختمان بپردازد. این پژوهش ۶ مرحله را دربر گرفته است: ۱- تعیین اطلاعات و پارامترها، ۲- جمع آوری اطلاعات با BIM، ۳- BTD برای تحلیل حساسیت و اعتبارسنجی، ۴- BEM برای تخمین دما، ۵- تعیین متغیرهای طراحی و توابع هدف و ۶- توسعه مدل با الگوریتم بهینه سازی. برای بهینه سازی، بهترین مکان قرارگیری وسایل سرمایشی جهت دستیابی به بهره وری انرژی و آسایش حرارتی تعیین شد. به این منظور از دو روش بهینه سازی GA و روش تاگوچی استفاده گردید. سعی گردید تا با تعریف تابع برازندگی به صورت نزدیک شدن به نقطه آسایش 25°C ، رضایت ساکنین ساختمان به حداکثر برسد. در بهینه سازی GA دو نقطه و در روش تاگوچی یک نقطه به دست آمد. سپس BEM با بهترین مکانهای قرارگیری به دست آمده برای وسایل سرمایشی در نرم افزار COMSOL اجرا و نتیجه حاصل از EM بهینه سازی GA با نتیجه حاصل از EM دو تحلیل SNR و ANOVA ی روش تاگوچی و EM ساختمان مورد مطالعه مورد مقایسه قرار گرفت. در این مقایسه EM حاصل از بهینه سازی GA نتایج بهتری را نسبت به روش تاگوچی و EM ساختمان مورد مطالعه نشان داد. از دو نقطه به دست آمده از GA، یک نقطه پاسخ بهتری را نسبت به نقطه دیگر نشان داد.

در این پایان نامه مدل به صورت دستی در COMSOL ایجاد و از بهترین اقدامات اعم از (۱) هندسه، (۲) پنجره بندی، (۳) نواحی حرارتی و (۴) سیستمهای HVAC جهت ساده سازی ساختمان استفاده شد. جهت تعیین پارامترها و اعتبارسنجی از BTD استفاده گردید و نتایج به دست آمده با اطلاعات واقعی مورد مقایسه قرار گرفتند که نتایج شبیه سازی نرم افزار خیلی به واقعیت نزدیک بوده و فرضیات پایان نامه

را تأیید نمودند. اجرای GA در Matlab از طریق ادغام گدهای COMSOL با Matlab انجام گرفت و نقاط بهینه به دست آمدند و سپس BEM مجدداً در نرم‌افزار COMSOL اجرا گردید تا با شرایط اولیه اتاق مورد مقایسه قرار بگیرد. در این پژوهش به نقاط قوت و ضعف تحلیلها در فصل آخر اشاره گردید. در ادامه نویسنده همچنین به ارائه نظراتی در خصوص پیشنهاد راهکار آینده می‌پردازد:

- توسعه یکپارچه‌سازی BIM و WSN برای جمع‌آوری اطلاعات تجربی [۱].
- توسعه سیستم نظارتی از راه دور مبتنی بر GIS جهت نظارت بر جمع‌آوری اطلاعات [۱].
- دریافت اطلاعات دمایی از اینترنت و کنترل دمای ساختمان با توجه به آن.
- توسعه روش پیشنهادی برای کل ساختمان.
- تعیین بهینه اندازه وسایل سرمایشی و گرمایشی.
- استفاده از محیط محاسبات ابری برای دستیابی به بهترین نتایج بهره‌وری آسایش حرارتی [۱].
- طراحی یک مدل یکپارچه موتور شبیه‌ساز حرارتی با استفاده از شماره‌های ۱ و ۲ [۱۲۲].
- نتایج خروجی این موتور شبیه‌ساز باید عبارت از: ارزیابی فضا و عملکرد حرارتی ساختمانها برای دستیابی به اهداف طراحی بهره‌وری آسایش حرارتی؛ کل تخمین انرژی حرارتی مورد استفاده در فضای ساختمان و کل هزینه‌های برآورد شده انرژی؛ برآورد هزینه‌های مصرفی؛ برآورد انرژی مورد استفاده در طول عمر و هزینه‌های ساختمان باشند [۱۲۲].
- تبدیل خودکار یا نیمه اتوماتیک تمام فایل‌های 3ds Max اعم از بزرگ یا کوچک به FEM [۹۴].
- تحقیقات ذوب و انجماد مصالح ساختمان جهت استفاده از بهترین مصالح برای پوشش خارجی ساختمان [۹۴].
- بررسی انتقال حرارت و تعیین دقیق ماهیت عوامل مؤثر بر هندسه ساختمان و شرایط مرزی و آزمون خستگی [۱۰۴].
- بررسی استفاده از عایق‌های سرامیکی نانو ساختار برای لایه عایق ساختمان [۱۰۴].
- بررسی و مطالعه توسعه مواد با مواد مصنوعی ایده‌آل و روشهای جدید جذب هوا [۱۰۴].

- روش تنظیم بهینه‌سازی در الگوریتم‌های پیشنهادی تولید مواد از قبیل شیشه [۱۰۴].

- [1] Z. Pezeshki and S. A. S. Ivani, "Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 25, no. 2, pp. 273-312, 2016.
- [2] J. Sweeney, J. Haymaker, and B. Welle, "An Integrated Conceptual Design Process for Energy, Thermal Comfort, and Daylighting," Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), 2008.
- [3] L. Bottaccioli, A. Aliberti, F. Ugliotti, E. Patti, A. Osello, E. Macii, *et al.*, "Building Energy Modelling and Monitoring by Integration of IoT Devices and Building Information Models," in *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, Turin, Italy, 2017, pp. 914-922.
- [4] W. Wu, W. Li, D. Law, and W. Na, "Improving Data Center Energy Efficiency using a Cyber-physical Systems Approach: Integration of Building Information Modeling and Wireless Sensor Networks," *Procedia Engineering*, vol. 118, pp. 1266-1273, 2015.
- [5] H. Yin, "Building Management System to Support Building Renovation," Department of Civil and Environmental Engineering, UCC, Snapshots of Doctoral Research, University College Cork, 2010.
- [6] M. Bonvini and M. Wetter, "Gradient-Based Optimal Control of Batteries and HVAC in District Energy Systems," in *14th Conference of International Building Performance Simulation Association (BS2015)*, Hyderabad, India, 2015, pp. 363-370.
- [7] P. O. t. Veld, "MORE-CONNECT: Development and Advanced Prefabrication of Innovative, Multifunctional Building Envelope Elements for Modular Retrofitting and Smart Connections," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1057-1062, 2015.
- [8] E. Iadanza, B. Turillazzi, F. Terzaghi, L. Marzi, A. Giuntini, and R. Sebastian, "The STREAMER European Project. Case Study: Careggi Hospital in Florence," in *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering*, 2015, pp. 649-652.
- [9] E. Turkyilmaz, "A Proposal for Energy Efficient Design: An IFC Based Design Decision System and Its Application," *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 179, pp. 663-670, 2013.
- [10] F. Jalaei and A. Jrade, "An Automated BIM Model to Conceptually Design, Analyze, Simulate, and Assess Sustainable Building Projects," *Journal of Construction Engineering*, vol. 14, pp. 1-21, 2014.
- [11] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, and B. T. Griffith, "Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs," *Building and Environment*, vol. 43, no. 4, pp. 661-673, 2008.
- [12] B. Welle, J. Haymaker, and Z. Rogers, "ThermalOpt: A Methodology for Automated BIM Based Multidisciplinary Thermal Simulation for Use in Optimization Environments," *Building Simulation*, vol. 4, no. 4, pp. 293-313, 2011.
- [13] Y. Bahar, C. Pere, J. Landrieu, and C. Nicolle, "A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform," *Buildings*, vol. 3, pp. 380-398, 2013.
- [14] J. Cao, R. Wimmer, M. Thorade, T. Maile, J. O'Donnell, J. Rädler, *et al.*, "A Flexible Model Transformation to Link BIM with Different Modelica Libraries for Building Energy Performance Simulation," in *14th Conference of International Building Performance Simulation Association (BS2015)*, Hyderabad, India, 2015, pp. 434-441.

- [15] E. E. Asmi, S. Robert, B. Haas, and K. Zreik, "A Standardized Approach to BIM and Energy Simulation Connection," *International Journal of Design Sciences & Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 59-82, 2015.
- [16] H. Kim and K. Anderson, "Energy Modeling System using Building Information Modeling Open Standards," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 27, no. 3, pp. 203-211, 2013.
- [17] A. M. Lewis, R. Valdes-Vasquez, C. Clevenger, and T. Shealy, "BIM Energy Modeling: Case Study of a Teaching Module for Sustainable Design and Construction Courses," *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 141, no. 2, p. C5014005, 2015.
- [18] S. Hwang, M. Park, H.-S. Lee, and H. Kim, "Automated Time-Series Cost Forecasting System for Construction Materials," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, no. 11, pp. 1259-1269, 2012.
- [19] A. Strzalka, J. Bogdahn, V. Coors, and U. Eicker, "3D City Modeling for Urban Scale Heating Energy Demand Forecasting," *HVAC&R Research*, vol. 4, pp. 526-539, 2011.
- [20] M. Pazhoohesh, R. Shahmir, and C. Zhang, "Investigating Thermal Comfort and Occupants Position Impacts on Building Sustainability Using CFD and BIM," in *Living and Learning: Research for a Better Built Environment: 49th International Conference of the Architectural Science Association 2015*, The Architectural Science Association and The University of Melbourne, 2015, pp. 257-266.
- [21] D. DeVoto, P. Paret, M. Mihalic, and S. Narumanchi, "Thermal Performance and Reliability Characterization of Bonded Interface Materials (BIMs)," in *Fourteenth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, Orlando, FL, USA, 2014, pp. 409-417.
- [22] J. Zhang, B.-C. Seet, and T. Lie, "Building Information Modelling for Smart Built Environments," *Buildings*, vol. 5, no. 1, pp. 100-115, 2015.
- [23] J. Lü, X. Wang, F. Kan, D. Zhang, C. Liu, N. Qi, *et al.*, "Building Environment Monitoring System Based on BIM," in *International Conference on Education, Management, Computer and Society (EMCS 2016)*, Shenyang, China, 2016, pp. 1107-1110.
- [24] T. Gerrish, K. Ruikar, M. Cook, M. Johnson, and M. Phillip, "Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 24, no. 2, pp. 190-208, 2017.
- [25] R. Gupta and C. Garrigan, "Developing and Testing a Global Common Carbon Metric Approach for Measuring Energy Use and Greenhouse Gas Emissions from Building Operations," in *Sustainable Building Conference 2013*, 2013, pp. 1-11.
- [26] R. Gupta, "Embedding Post-Occupancy Evaluation into Architectural Education: From Specialism to Mainstream," in *AAE 2014 Conference Proceedings 2014*, pp. 145-150.
- [27] N. M. Kolekar, "Thermal Comfort Assessment for Existing Buildings by using Building Information Modelling," *International Journal of Research in Engineering, Science and Technologies*, vol. 1, no. 8, pp. 347-353, 2015.
- [28] A. V. Prada-Hernández, J. S. Rojas-Quintero, J. A. Vallejo-Borda, and J. L. Ponz-Tienda, "Interoperability of Building Energy Modeling (BEM) with Building Information Modeling (BIM)," in *SIBRAGEC ELAGEC 2015*, Sao Carlos, Brasil, 2015, pp. 519-526.
- [29] J. Jeon and Y. Ham, "Evaluating the Impact of Reflecting the As-Is Building Condition in the BIM-Based Energy Modeling Process on Building Energy Simulations," in *Construction Research Congress 2016*, 2016, pp. 2360-2370.

- [30] Z. Shi and W. O'Brien, "Building Energy Model Reduction using Principal Component Analysis and Affinity Propagation Clustering of Thermal Zones," in *Asim 2016, The 3rd Asia conference of International Building Performance Simulation Association 2016*.
- [31] X. Sun and J. J. McArthur, "Facilitating Early Stage Energy Modeling using BIM," in *Sustainable Built Environment 2016 (SBE16), Regenerative and Resilient Urban Environments*, Toronto, 2016, pp. 1-9.
- [32] M. R. Asl, W. Xu, J. Shang, B. Tsai, and I. Molloy, "Regression-Based Building Energy Performance Assessment using Building Information Model (BIM)," in *ASHRAE and IBPSA-USA SimBuild 2016 Building Performance Modeling Conference Salt Lake City, UT, 2016*, pp. 357-364.
- [33] Y. Bai, P. A. Zadeh, S. Staub-French, and R. Pottinger, "Integrating GIS and BIM for Community-Scale Energy Modeling," in *International Conference on Sustainable Infrastructure 2017*, 2017, pp. 185-196.
- [34] Z. Shi and W. O'Brien, "Building Energy Model Reduction using Model-Cluster-Reduce Pipeline," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 11, no. 5, pp. 553-567, 2017.
- [35] A. Andriamamonjy, D. Saelens, and R. Klein, "An Automated IFC-Based Workflow for Building Energy Performance Simulation with Modelica," *Automation in Construction*, vol. 91, pp. 166-181, 2018.
- [36] E. Kamel and A. M. Memari, "Automated Building Energy Modeling and Assessment Tool (ABEMAT)," *Energy*, vol. 147, pp. 15-24, 2018.
- [37] C. Bianchi, S. M. Lucich, and A. D. Smith, "Influence of Weather Boundary Conditions on Building Energy Modeling," in *2015 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, Ogden, UT, USA, 2015, pp. 35-41.
- [38] L. C. Ng, A. K. Persily, and S. J. Emmerich, "Improving Infiltration Modeling in Commercial Building Energy Models," *Energy and Buildings*, vol. 88, pp. 316-323, 2015.
- [39] A. Chong and K. P. Lam, "Uncertainty Analysis and Parameter Estimation of HVAC Systems in Building Energy Models," in *Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Hyderabad, India, 2015, pp. 2788-2795.
- [40] A. T. Nguyen and S. Reiter, "A Performance Comparison of Sensitivity Analysis Methods for Building Energy Models," *Building Simulation*, vol. 8, no. 6, pp. 651-664, 2015.
- [41] C. Cui, T. Wu, M. Hu, J. D. Weir, and X. Li, "Short-Term Building Energy Model Recommendation System: A Meta-Learning Approach," *Applied Energy*, vol. 172, pp. 251-263, 2016.
- [42] G. Chaudhary, J. New, J. Sanyal, P. Im, Z. O'Neill, and V. Garg, "Evaluation of "Autotune" Calibration against Manual Calibration of Building Energy Models," *Applied Energy*, vol. 182, pp. 115-134, 2016.
- [43] T. Hong, J. Kim, J. Jeong, M. Lee, and C. Ji, "Automatic Calibration Model of a Building Energy Simulation using Optimization Algorithm," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 3698-3704, 2017.
- [44] W. O. Collinge, J. C. DeBlois, A. E. Landis, L. A. Schaefer, and M. M. Bilec, "Hybrid Dynamic-Empirical Building Energy Modeling Approach for an Existing Campus Building," *Journal of Architectural Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. (04015010)1-12, 2016.
- [45] M. H. Kristensen and S. Petersen, "Choosing the Appropriate Sensitivity Analysis Method for Building Energy Model-Based Investigations," *Energy and Buildings*, vol. 130, pp. 166-176, 2016.

- [46] Q. Li, G. Augenbroe, and J. Brown, "Assessment of Linear Emulators in Lightweight Bayesian Calibration of Dynamic Building Energy Models for Parameter Estimation and Performance Prediction," *Energy and Buildings*, vol. 124, pp. 194-202, 2016.
- [47] S. Salakij, N. Yu, S. Paolucci, and P. Antsaklis, "Model-Based Predictive Control for Building Energy Management. I: Energy Modeling and Optimal Control," *Energy and Buildings*, vol. 133, pp. 345-358, 2016.
- [48] J. Sokol, C. Cerezo Davila, and C. F. Reinhart, "Validation of a Bayesian-Based Method for Defining Residential Archetypes in Urban Building Energy Models," *Energy and Buildings*, vol. 134, pp. 11-24, 2017.
- [49] M. Martin, D. J. C. Hii, M. Ignatius, and N. H. Wong, "Comparison between a Simplified and Detailed Building Energy Model Coupled with an Urban Canopy Model," in *4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island*, National University of Singapore, Singapore, 2016, pp. 1-16.
- [50] W. Tian, S. Yang, Z. Li, S. Wei, W. Pan, and Y. Liu, "Identifying Informative Energy Data in Bayesian Calibration of Building Energy Models," *Energy and Buildings*, vol. 119, pp. 363-376, 2016.
- [51] Y. K. Yi, "Dynamic Coupling Between a Kriging-Based Daylight Model and Building Energy Model," *Energy and Buildings*, vol. 128, pp. 798-808, 2016.
- [52] B. Zhang, Y. Liu, R. Rai, and V. Krovi, "Invariant Probabilistic Sensitivity Analysis for Building Energy Models," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 10, no. 4, pp. 392-405, 2016.
- [53] L. C. Ng, N. O. Quiles, W. S. Dols, and S. J. Emmerich, "Weather Correlations to Calculate Infiltration Rates for U. S. Commercial Building Energy Models," *Build Environ*, vol. 127, pp. 47-57, Jan 2018.
- [54] K. U. Ahn and C. S. Park, "Artificial Neural Network Models for Building Energy Prediction," in *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, Las Vegas, NV, USA, 2017, pp. 2708-2716.
- [55] Z. Ming-ming, Y. Guang, Q. Shu-nian, Z. Wei-jie, and L. Zheng-wei, "Energy Saving Analysis of a Building Based on Normative Building Energy Consumption Model," in *2017 National HVAC Simulation Academic Annual Meeting*, China, 2017.
- [56] Y. Chen, T. Hong, and M. A. Piette, "Automatic Generation and Simulation of Urban Building Energy Models Based on City Datasets for City-Scale Building Retrofit Analysis," *Applied Energy*, vol. 205, pp. 323-335, 2017.
- [57] C. Duarte, P. Raftery, and S. Schiavon, "Development of Whole-Building Energy Models for Detailed Energy Insights of a Large Office Building with Green Certification Rating in Singapore," *Energy Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 84-93, 2017.
- [58] J. Yuan, V. Nian, and B. Su, "A Meta Model Based Bayesian Approach for Building Energy Models Calibration," *Energy Procedia*, vol. 143, pp. 161-166, 2017.
- [59] Y. S. Kim, M. Heidarinejad, M. Dahlhausen, and J. Srebric, "Building Energy Model Calibration with Schedules Derived from Electricity Use Data," *Applied Energy*, vol. 190, pp. 997-1007, 2017.
- [60] S. Jemiolo, R. Gajewski, P. Pieniążek, A. Zbiciak, M. Mitew-Czajewska, M. Krzemiński, *et al.*, "Building Energy Modelling and Simulations: Qualitative and Quantitative Analysis," in *MATEC Web of Conferences*, 2017, pp. 1-6.
- [61] J. Yuan, V. Nian, B. Su, and Q. Meng, "A Simultaneous Calibration and Parameter Ranking Method for Building Energy Models," *Applied Energy*, vol. 206, pp. 657-666, 2017.

- [62] J. Cao, H. Metzmacher, J. O'Donnell, J. Frisch, V. Bazjanac, L. Kobbelt, *et al.*, "Facade Geometry Generation from Low-Resolution Aerial Photographs for Building Energy Modeling," *Building and Environment*, vol. 123, pp. 601-624, 2017.
- [63] A. Chong, K. P. Lam, M. Pozzi, and J. Yang, "Bayesian Calibration of Building Energy Models with Large Datasets," *Energy and Buildings*, vol. 154, pp. 343-355, 2017.
- [64] E. Elbeltagi, H. Wefki, S. Abdrabou, M. Dawood, and A. Ramzy, "Visualized Strategy for Predicting Buildings Energy Consumption during Early Design Stage using Parametric Analysis," *Journal of Building Engineering*, vol. 13, pp. 127-136, 2017.
- [65] M. Heidarinejad, N. Mattise, M. Dahlhausen, K. Sharma, K. Benne, D. Macumber, *et al.*, "Demonstration of Reduced-Order Urban Scale Building Energy Models," *Energy and Buildings*, vol. 156, pp. 17-28, 2017.
- [66] T. Suesser and T. Dogan, "Campus Energy Model: Using a Semi-Automated Workflow to Build Spatially Resolved Campus Building Energy Models for Climate Change and Net-Zero Scenario Evaluation," in *Proceedings of the 15th IBPSA Conference San Francisco, CA, USA, 2017*, pp. 1720-1729.
- [67] R. A. Lara, E. Naboni, G. Pernigotto, F. Cappelletti, Y. Zhang, F. Barzon, *et al.*, "Optimization Tools for Building Energy Model Calibration," *Energy Procedia*, vol. 111, pp. 1060-1069, 2017.
- [68] S. Banihashemi, G. Ding, and J. Wang, "Developing a Hybrid Model of Prediction and Classification Algorithms for Building Energy Consumption," *Energy Procedia*, vol. 110, pp. 371-376, 2017.
- [69] S. Nagpal, C. Mueller, A. Aijazi, and C. F. Reinhart, "A Methodology for Auto-Calibrating Urban Building Energy Models using Surrogate Modeling Techniques," *Journal of Building Performance Simulation*, pp. 1-16, 2018.
- [70] W. Li, Y. Zhou, K. S. Cetin, S. Yu, Y. Wang, and B. Liang, "Developing a Landscape of Urban Building Energy Use with Improved Spatiotemporal Representations in a Cool-Humid Climate," *Building and Environment*, vol. 136, pp. 107-117, 2018.
- [71] Y. Chen and T. Hong, "Impacts of Building Geometry Modeling Methods on the Simulation Results of Urban Building Energy Models," *Applied Energy*, vol. 215, pp. 717-735, 2018.
- [72] A. D. Fontanini, J. L. Castro Aguilar, M. S. Mitchell, J. Kosny, N. Merket, J. W. DeGraw, *et al.*, "Predicting the Performance of Radiant Technologies in Attics: Reducing the Discrepancies between Attic Specific and Whole-Building Energy Models," *Energy and Buildings*, vol. 169, pp. 69-83, 2018.
- [73] F. Monari, "Sensitivity Analysis and Bayesian Calibration of Building Energy Models," PhD, Energy System Research Unit, University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom, 2016.
- [74] S. Ferrari and V. Zanutto, *Building Energy Performance Assessment in Southern Europe: in SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, Springer International Publishing, 2016.
- [75] K. Menberg, Y. Heo, and R. Choudhary, "Sensitivity Analysis Methods for Building Energy Models: Comparing Computational Costs and Extractable Information," *Energy and Buildings*, vol. 133, pp. 433-445, 2016.
- [76] A. Cacabelos, P. Eguía, L. Febrero, and E. Granada, "Development of a New Multi-Stage Building Energy Model Calibration Methodology and Validation in a Public Library," *Energy and Buildings*, vol. 146, pp. 182-199, 2017.
- [77] E. Guzmán Garcia and Z. Zhu, "Interoperability from Building Design to Building Energy Modeling," *Journal of Building Engineering*, vol. 1, pp. 33-41, 2015.

- [78] A. Jafari and V. Valentin, "An Optimization Framework for Building Energy Retrofits Decision-Making," *Building and Environment*, vol. 115, pp. 118-129, 2017.
- [79] A. Mohammadpour, M. Mottahedi, S. S. Amiri, S. Asadi, D. Riley, and A. Shafaghat, "Parametric Analysis of Building Elements on Building Energy Use," *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, vol. 74, no. 4, pp. 79-83, 2015.
- [80] C. Conaghan, D. Jordan, R. Guida, R. Rawte, D. McLean, and M. Sapor, "Development of an Innovative Energy Modelling Framework for Design and Operation of Building Clusters in the Tropics," *Energy Procedia*, vol. 143, pp. 289-294, 2017.
- [81] C. Nytsch-Geusen, A. Inderfurth, W. Kaul, K. Mucha, J. Rädler, M. Thorade, *et al.*, "Template Based Code Generation of Modelica Building Energy Simulation Models," in *Proceedings of the 12th International Modelica Conference*, Prague, Czech Republic, 2017, pp. 199-207.
- [82] M. Arida, N. Nassif, R. Talib, and T. Abu-Lebdeh, "Building Energy Modeling using Artificial Neural Networks," *Energy Research Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 24-34, 2017.
- [83] M. F. A. Hamid, N. A. Ramli, and N. M. F. Syawal Nik Mohd Kamal, "An Analysis of Energy Performance of a Commercial Building using Energy Modeling," in *2017 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2017, pp. 105-110.
- [84] Y. B. Kar, N. A. Talik, Z. Sauli, J. S. Fei, and V. Retnasamy, "Finite Element Analysis of Thermal Distributions of Solder Ball in flip Chip Ball Grid Array using ABAQUS," *Microelectronics International*, vol. 30, no. 1, pp. 14-18, 2013.
- [85] Y. Liu, Y. Lee, H.-k. Jung, S.-y. Hahn, J.-H. Youn, K.-W. Kim, *et al.*, "3D Thermal Stress Analysis of the Rotor of an Induction Motor," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 36, no. 4, pp. 1394-1397, 2000.
- [86] L. Yixian and A. A. O. TAY, "Finite Element Thermal Stress Analysis of a Solar Photovoltaic Module," in *2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Seattle, WA, USA, 2011.
- [87] Y. Lee and A. A. O. Tay, "Finite Element Thermal Analysis of a Solar Photovoltaic Module," *Energy Procedia*, vol. 15, pp. 413-420, 2012.
- [88] A. R. Shaterzadeh, S. Abolghasemi, and R. Rezaei, "Finite Element Analysis of Thermal Buckling of Rectangular Laminated Composite Plates with Circular Cut-Out," *Journal of Thermal Stresses*, vol. 37, no. 5, pp. 604-623, 2014.
- [89] L. S. Mayboudi, A. M. Birk, G. Zak, and P. J. Bates, "A Three-Dimensional Thermal Finite Element Model of Laser Transmission Welding for Lap-Joint," *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 29, no. 2, pp. 149-155, 2015.
- [90] S. K. Thangaraju and K. M. Munisamy, "Electrical and Joule Heating Relationship Investigation using Finite Element Method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 88, 2015, p. 88012036.
- [91] J. Nam, H. S. Ryou, and S. W. Cho, "A Numerical Model of Rotating Bearings for Thermo-Mechanical Coupled Analysis," in *14 International Conference on th Simulation and Experiments in Heat Transfer and its Applications (HT 2016)*, 2016, pp. 25-31.
- [92] M. Sayem El-Daher, "Finite Element Analysis of Thermal Effects in Diode End-Pumped Solid-State Lasers," *Advances in Optical Technologies*, vol. 2017, pp. 1-15, 2017.
- [93] M. G. Fouad, N. M. Ghazaly, A. M. Abd-El-Tawwab, and k. A. A. El-Gwwad, "Finite Element Thermal Analysis of a Ceramic Coated Si EnginePiston Considering Coating Thickness," *American Journal of Engineering Research (AJER)*, vol. 6, no. 2, pp. 109-113, 2017.

- [94] Z. Pezeshki, A. Soleimani, and A. Darabi, "3Ds MAX to FEM for Building Thermal Distribution: A Case Study," in *2017 3rd Iranian Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ICSPIS)*, 2017, pp. 110-115.
- [95] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, and I. H. Witten, "The Weka Data Mining Software: An Update," *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, vol. 11, no. 1, pp. 10-18, 2009.
- [96] V. S. K. V. Harish and A. Kumar, "Modeling and Simulation of a Simple Building Energy System," in *2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom)*, Durgapur, India, 2016.
- [97] T. Dogan, C. Reinhart, and P. Michalatos, "Autozoner: an Algorithm for Automatic Thermal Zoning of Buildings with Unknown Interior Space Definitions," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 9, no. 2, pp. 176-189, 2015.
- [98] D. Mauree, S. Coccolo, J. Kaempf, and J. L. Scartezzini, "Multi-Scale Modelling to Evaluate Building Energy Consumption at the Neighbourhood Scale," *PLoS One*, vol. 12, no. 9, pp. 1-21, 2017.
- [99] D. Robinson, F. Haldi, J. Kämpf, P. Leroux, D. Perez, A. Rasheed, *et al.*, "CitySim: Comprehensive Microsimulation of Resource Flows for Sustainable Urban Planning," in *Eleventh International IBPSA Conference* Glasgow, Scotland, 2009, pp. 1083-1090.
- [100] R. Caro-Martínez and J. J. Sendra, "Implementation of Urban Building Energy Modeling in Historic Districts. Seville as Case-Study," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 13, pp. 528-540, 2018.
- [101] J. Allegrini and J. Carmeliet, "Simulations of Local Heat Islands in Zürich with Coupled CFD and Building Energy Models," *Urban Climate*, vol. 24, pp. 340-359, 2018.
- [102] H. Tanaka, *Building Energy Management: Performance Verification and System Simulation*: Muller B., and Shimizu H. (eds) Towards the Implementation of the New Urban Agenda, Springer, Cham, 2018.
- [103] L. M. Khodeir and A. A. Nessim, "BIM2BEM Integrated Approach: Examining Status of the Adoption of Building Information Modelling and Building Energy Models in Egyptian Architectural Firms," *Ain Shams Engineering Journal*, 2017.
- [104] Z. Pezeshki, A. Soleimani, A. Darabi, and S. M. Mazinani, "Thermal Transport in: Building Materials," *Construction and Building Materials*, vol. 181, pp. 238-252, 2018.
- [105] P. Böckh and T. Wetzels, *Heat Transfer Basics and Practice*: in Springer-Verlag, New York, 2012.
- [106] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamental of Physics*: in 9 ed. John Wiley & Sons, 2010.
- [107] E. Hecht, *Optics*: in 5 ed. Adelphi University Pearson, 2017.
- [108] T. R. Hsu, *The Finite Element Method in Thermomechanics*: in MA: Allen & Unwin, Boston, USA, 1986.
- [109] Z. Wang, J. Ma, and L. Zhang, "Finite Element Thermal Model and Simulation for a Cylindrical Li-Ion Battery," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 15372-15379, 2017.
- [110] Y. Nakayama and R. F. Boucher, *Introduction to Fluid Mechanics*: in 1 ed. Butterworth-Heinemann, 1998.
- [111] B. E. Launder and D. B. Spalding, "The Numerical Computation of Turbulent Flows," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 269-289, 1974.

[۱۱۲] ح. باغبان، ل. باغی، و ه. باغبان، "مدلسازی مهندسی با COMSOL" تهران: انتشارات دانشگاهی کیان، ۱۳۹۳.

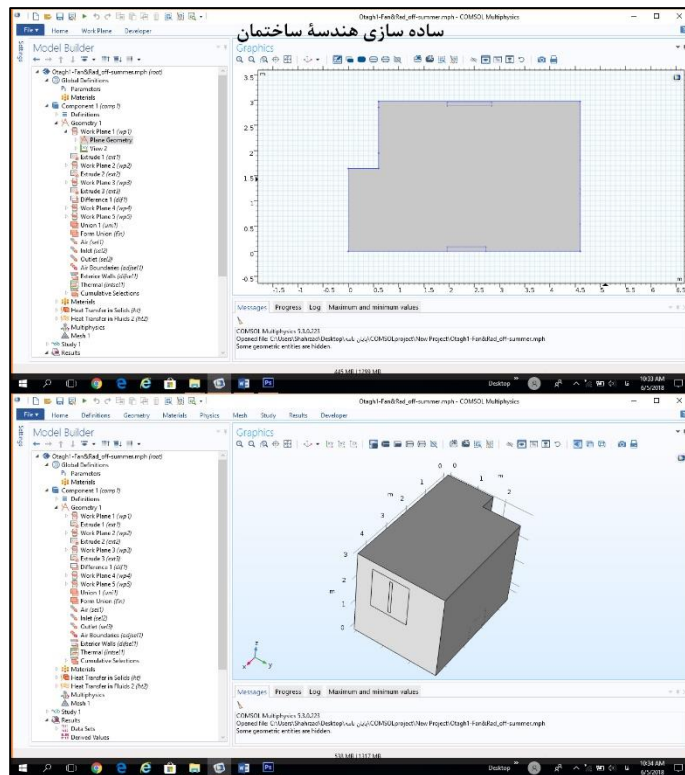
- [113] O. Kramer, *Genetic Algorithm Essentials: in Studies in Computational Intelligence*, Springer International Publishing, 2017.
- [114] G. Syswerda, "Simulated Crossover in Genetic Algorithms," *Foundations of Genetic Algorithms*, vol. 2, pp. 239-255, 1993.
- [115] O. Kramer, *Self-Adaptive Heuristics for Evolutionary Computation: n Studies in Computational Intelligence*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [116] O. Kramer and H. P. Schwefel, "On Three New Approaches to Handle Constraints within Evolution Strategies," *Natural Computing*, vol. 5, no. 4, pp. 363-385, 2006.
- [117] G. Taguchi, S. Chowdhury, and Y. Wu, *Taguchi's Quality Engineering Handbook: in 1 ed.* Wiley, U.S., 2007.
- [118] W. C. Weng, F. Yang, and A. Elsherbeni, "Electromagnetics and Antenna Optimization using Taguchi's Method," *Synthesis Lectures on Computational Electromagnetics*, vol. 2, no. 1, pp. 1-94, 2007.
- [119] A. S. Hedayat, N. J. A. Sloane, and J. Stufken, *Orthogonal Arrays: Theory and Applications: in Springer Series in Statistics*, Springer-Verlag New York, 1999.
- [120] W. C. Weng, F. Yang, and A. Z. Elsherbeni, "Linear Antenna Array Synthesis using Taguchi's Method: A Novel Optimization Technique in Electromagnetics," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 3, pp. 723-730, 2007.
- [121] B. M. Gopalsamy, B. Mondal, and S. Ghosh, "Taguchi method and ANOVA : An Approach for Process Parameters Optimization of Hard Machining while Machining Hardened Steel," *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 68, no. 8, pp. 686-695, 2009.
- [122] Z. Pezeshki and S. M. Mazinani, "Comparison of Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic and Neuro Fuzzy for Predicting Optimization of Building Thermal Consumption: a Survey," *Artificial Intelligence Review*, pp. 1-31, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9630-6>.
- [123] A. Soares, Á. Gomes, and C. H. Antunes, "An Evolutionary Algorithm for The Optimization of Residential Energy Resources," *In: Bertsch V., Fichtner W., Heuveline V., Leibfried T. (eds) Advances in Energy System Optimization. Trends in Mathematics. Birkhäuser, Cham, 2017.*

پیوستها

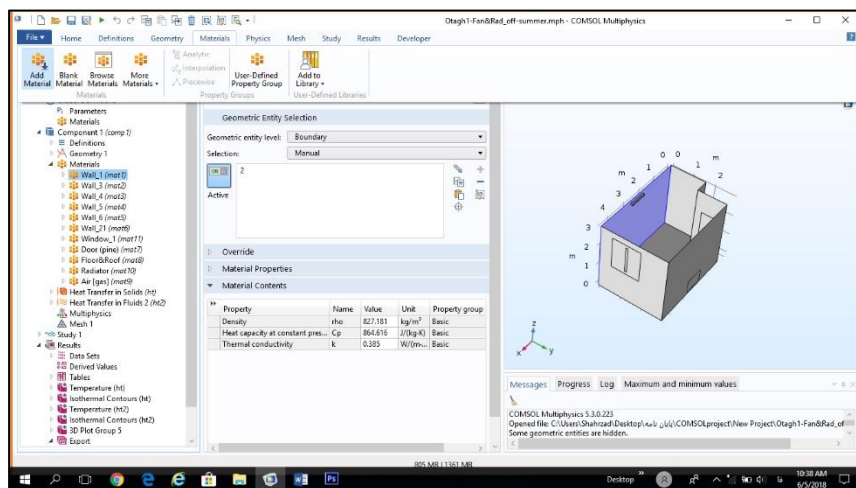
پیوست ۱ شرح کار با نرم افزار COMSOL

الف- شرح کار برای محاسبه BTD:

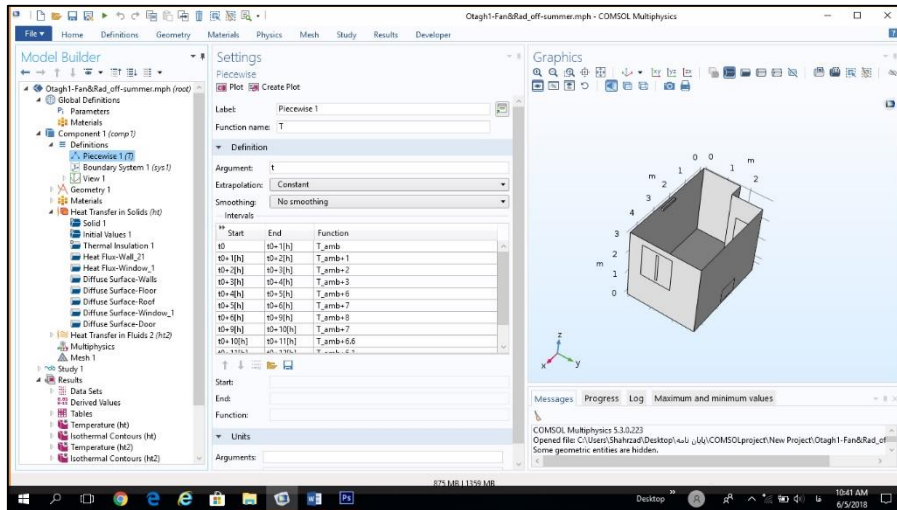
ابتدا هندسه واحد ۵۰۲ مجدداً در نرم افزار COMSOL ساده سازی گردید.



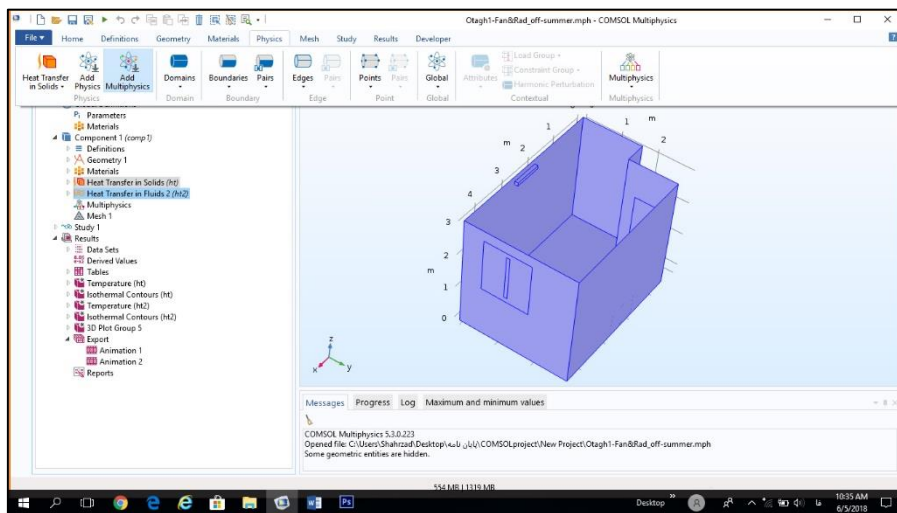
سپس خصوصیات توزیع حرارت برای هر یک از اجزای ساختمان تعریف گردیدند.



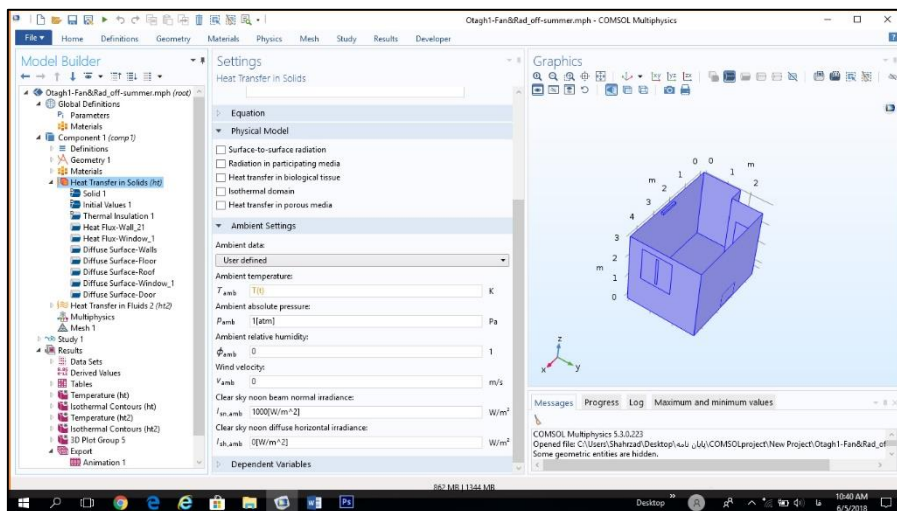
در ادامه دمای محیط به صورت گذرا برای ساختمان تعریف گردید.

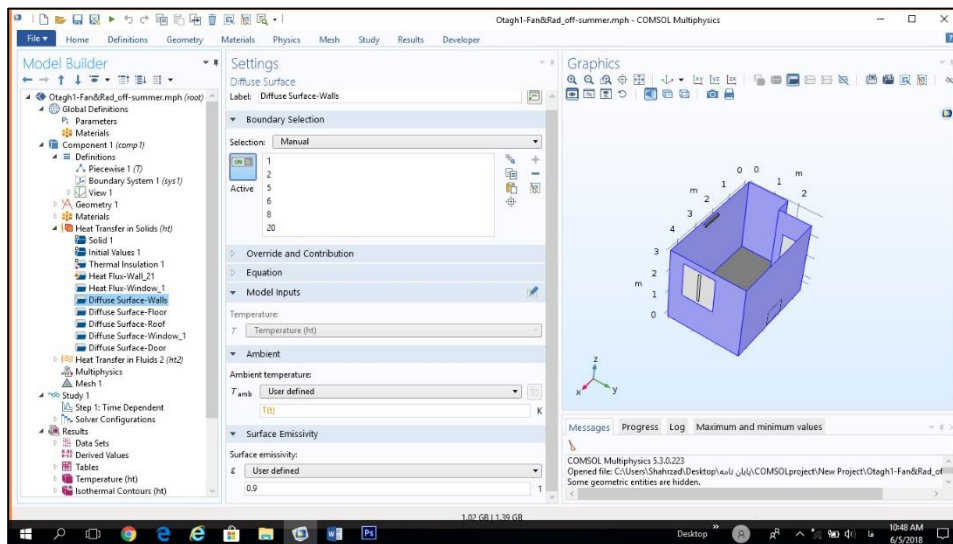
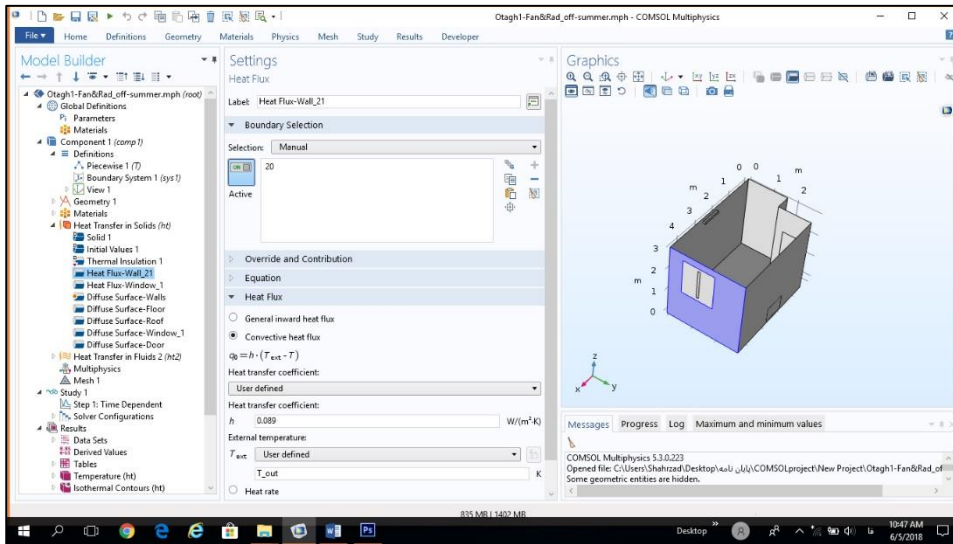


برای BTD دو ماژول انتقال حرارت در جامدات و انتقال حرارت در سیالات اضافه شدند.

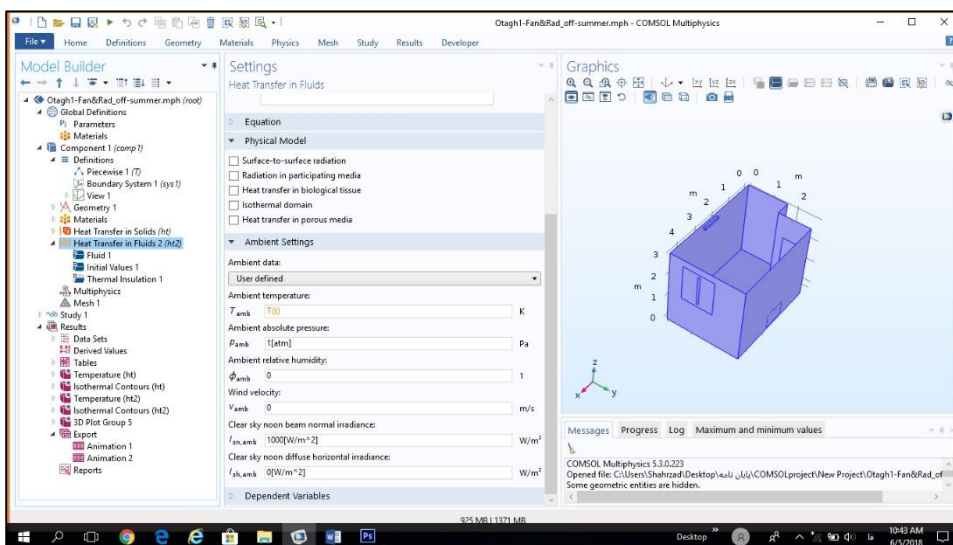


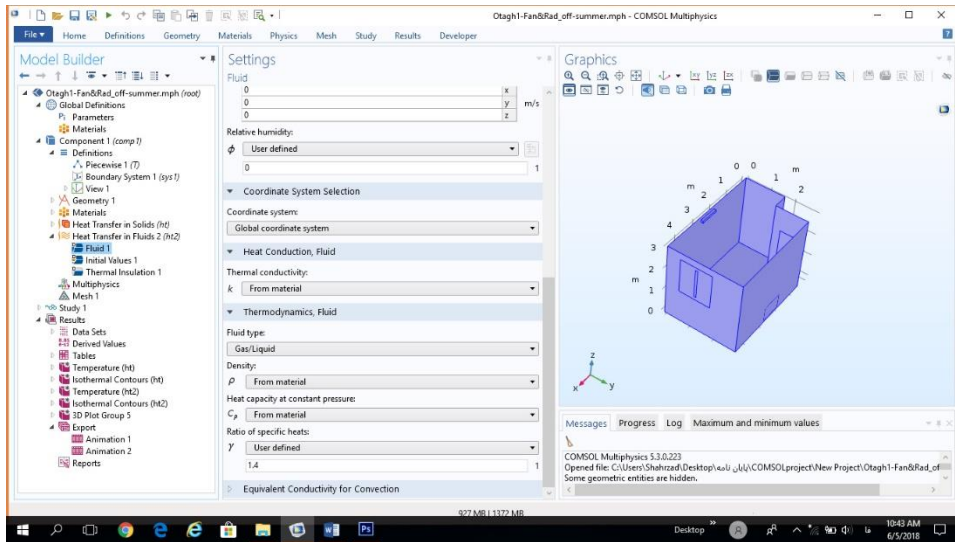
در ماژول انتقال حرارت در جامدات، دمای محیط، شارهای گرمایی و تشعشعها تعریف گردیدند.



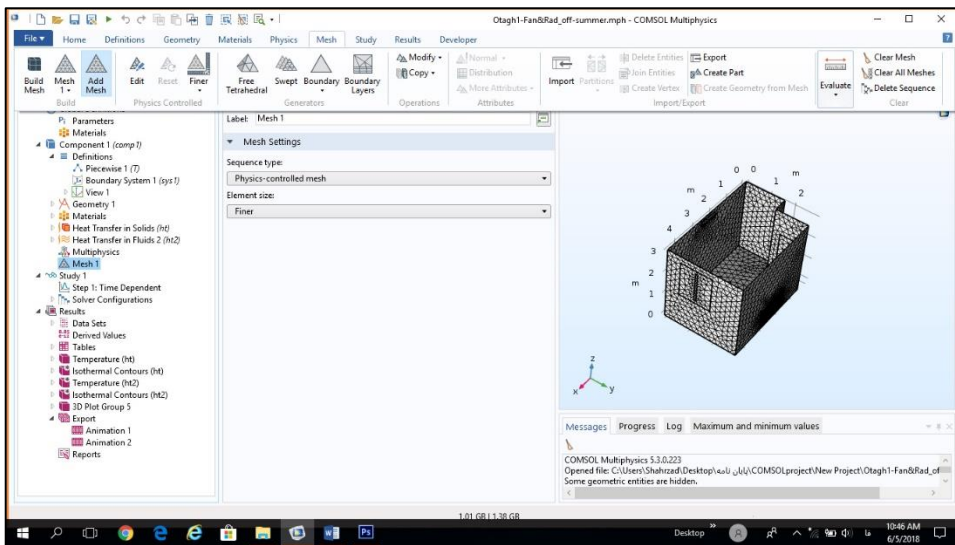


در ماژول انتقال حرارت در سیالات، سیال هوا فرض گردید و به همراه دمای محیط در آن وارد شد.

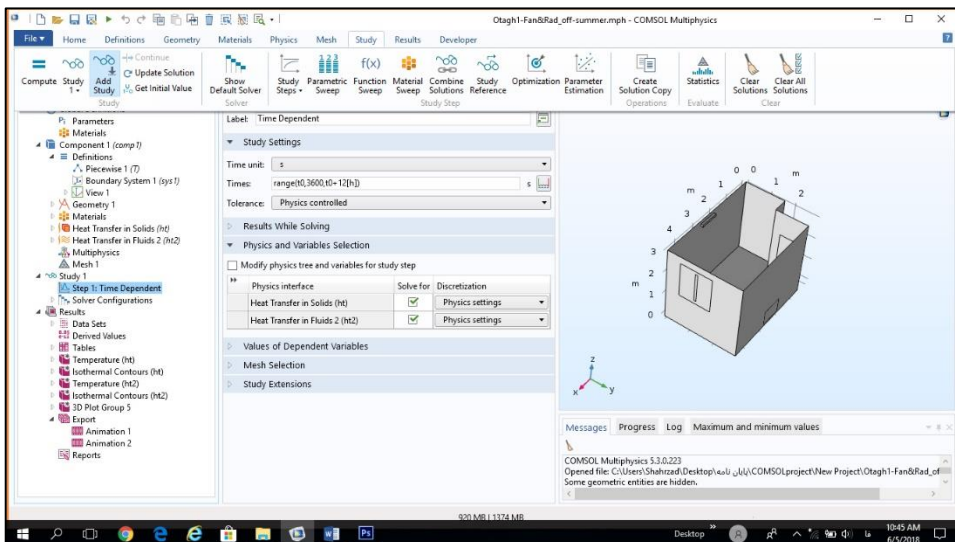


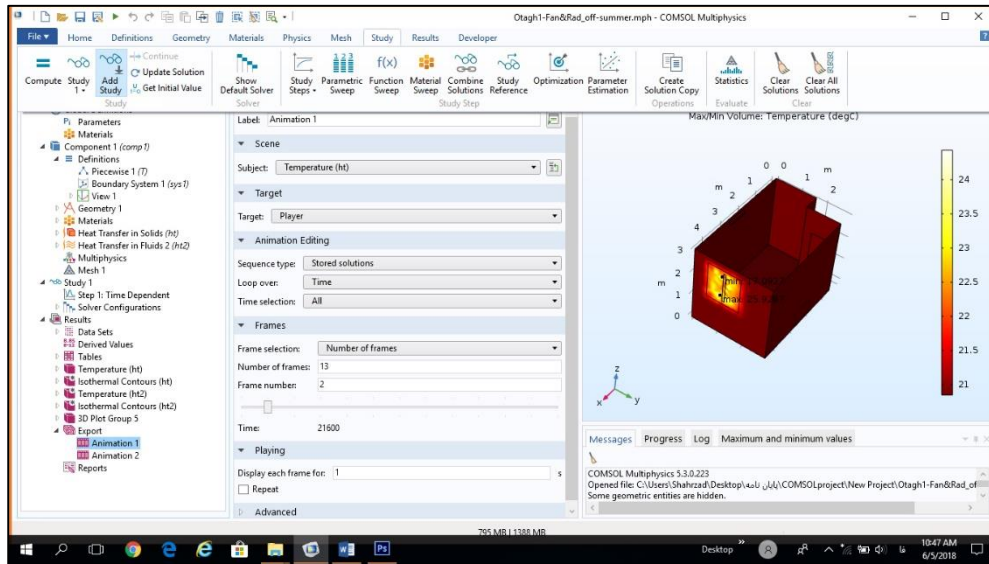


سپس مش بندی اضافه گردید.



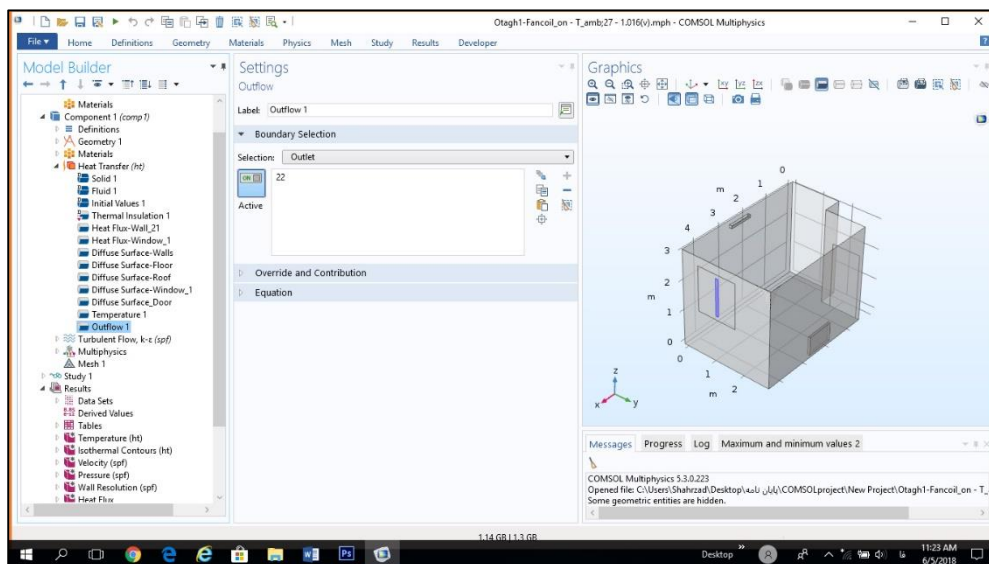
در انتها مطالعه برای حالت گذرا اضافه شد و نتایج به دست آمدند.



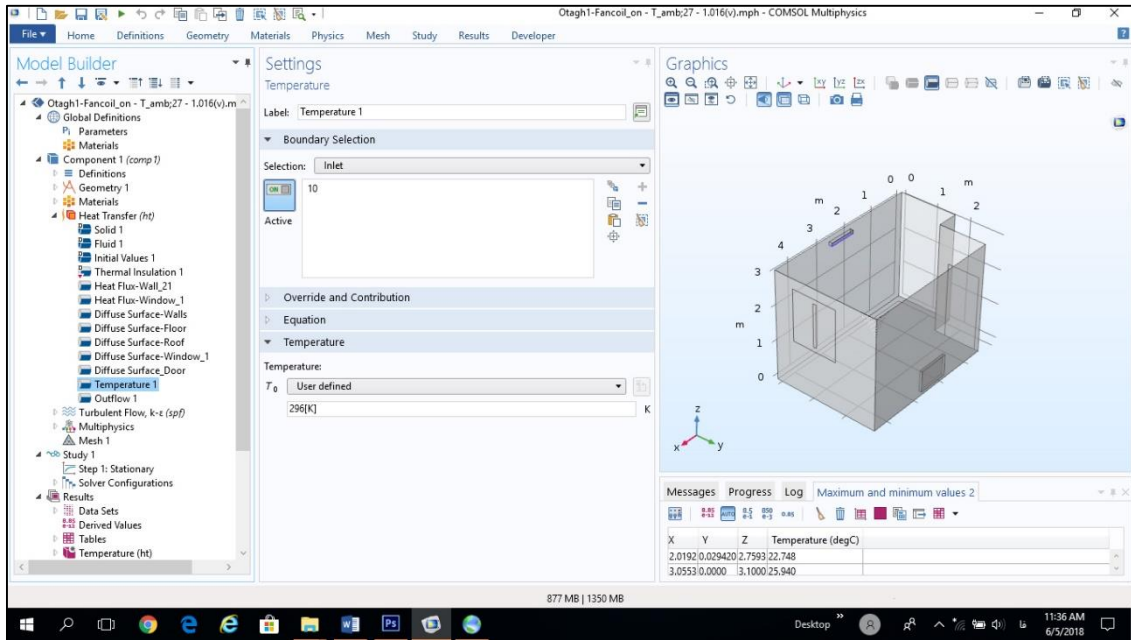


ب- شرح کار برای محاسبه BEM:

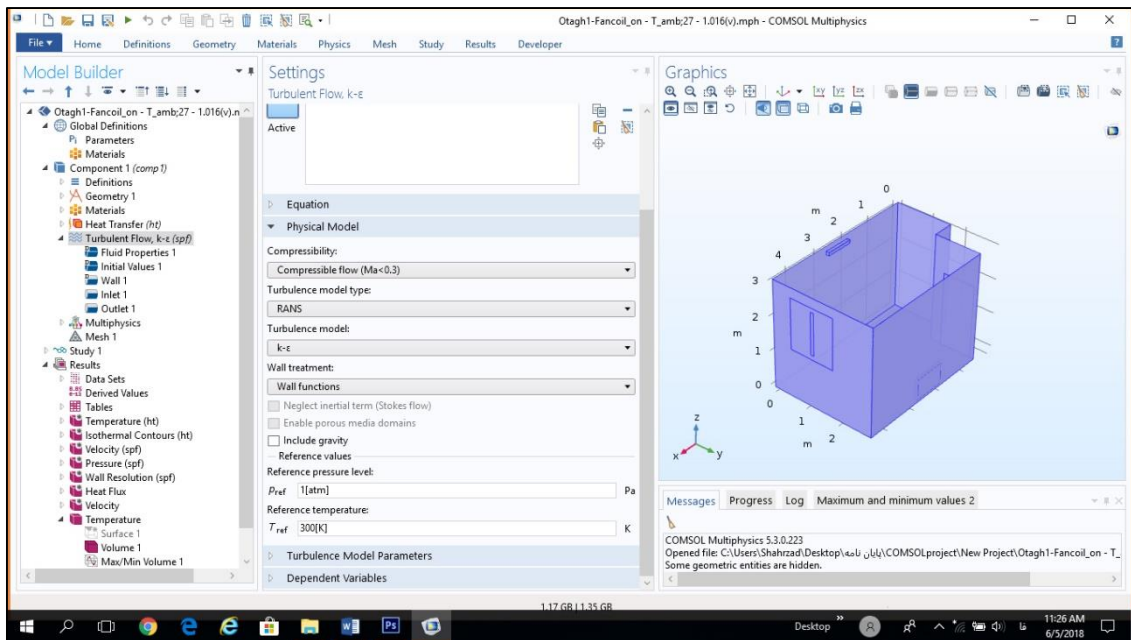
برای BEM در تابستان و زمستان از ماژول کوپل شده انتقال حرارت استفاده شد. دمای محیط با بیشترین درجات دمای هوا در تابستان و کمترین درجات دمای هوا در زمستان که در فصل ۵ قسمت ۱.۲.۳.۵ به آن اشاره شد، تعریف می‌شود. در تابستان ماژول کوپل شده انتقال حرارت با جریان آشفته تعریف می‌شود. در ماژول کوپل شده، انتقال حرارت در سیالات و انتقال حرارت در جامدات با هم کوپل گردیده‌اند. کلیه تعاریف برای خصوصیات توزیع حرارت مانند BTM است. در این ماژول شیار نفوذپذیری هوا بر روی پنجره به عنوان خروجی انتخاب گردید.



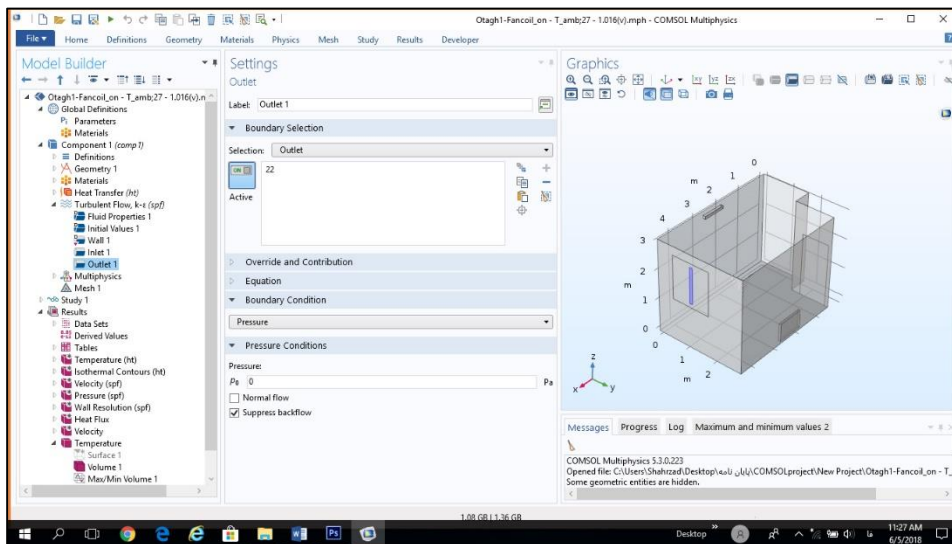
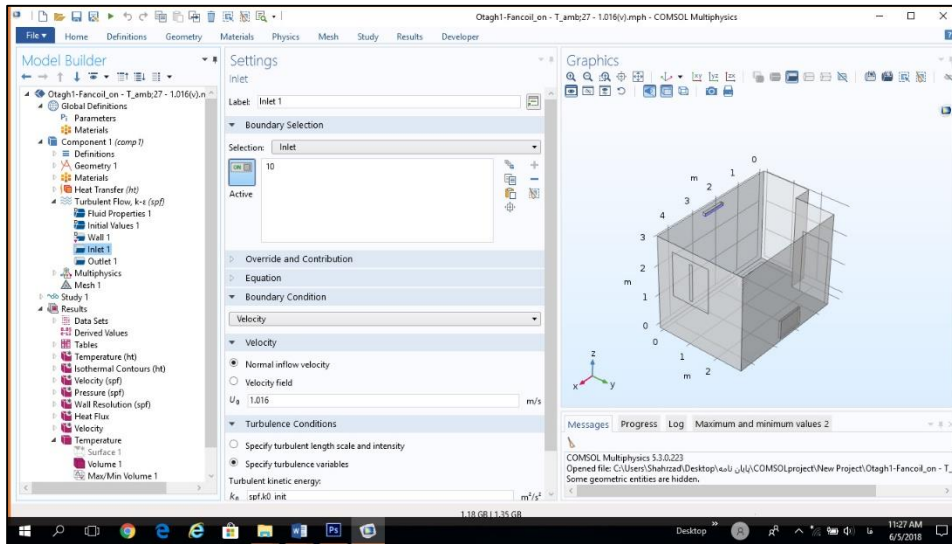
دمای باد فن کوئل 23°C وارد شد.



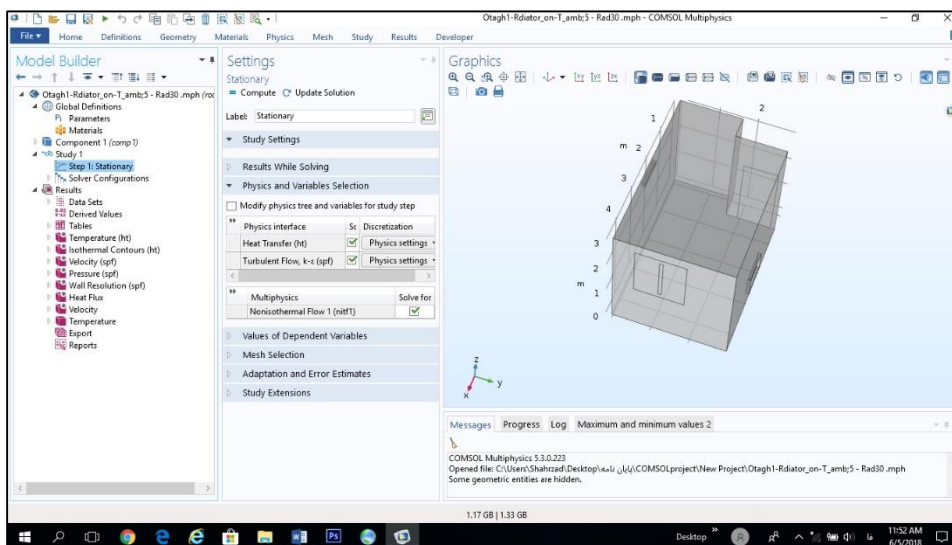
در جریان آشفته، جریان هوا تراکم‌پذیر فرض گردید و همانطور که در فصل ۳ قسمت ۳.۲.۳ اشاره شد از معادله آشفته استاندارد $k - \epsilon$ برای محاسبات استفاده شد.



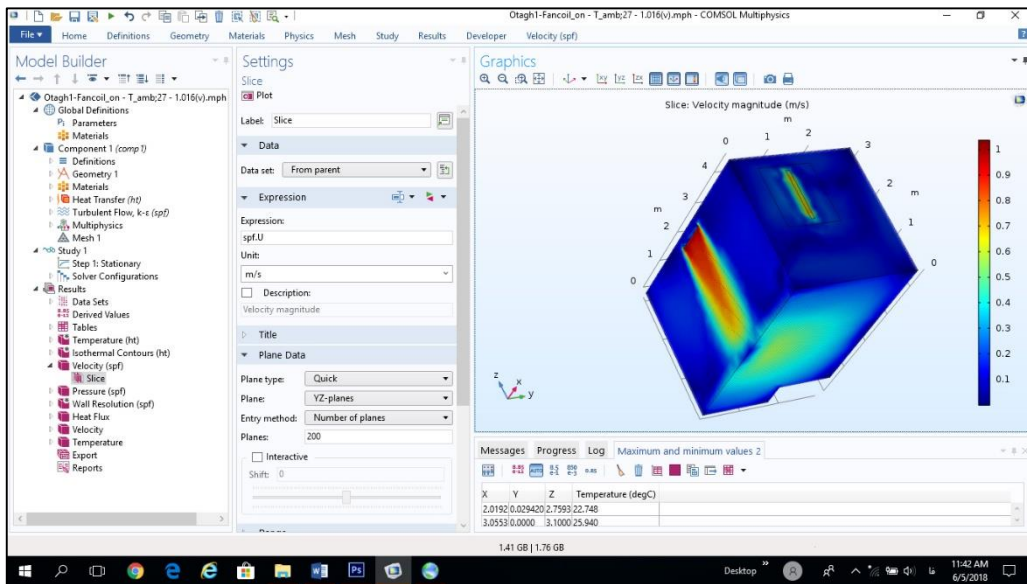
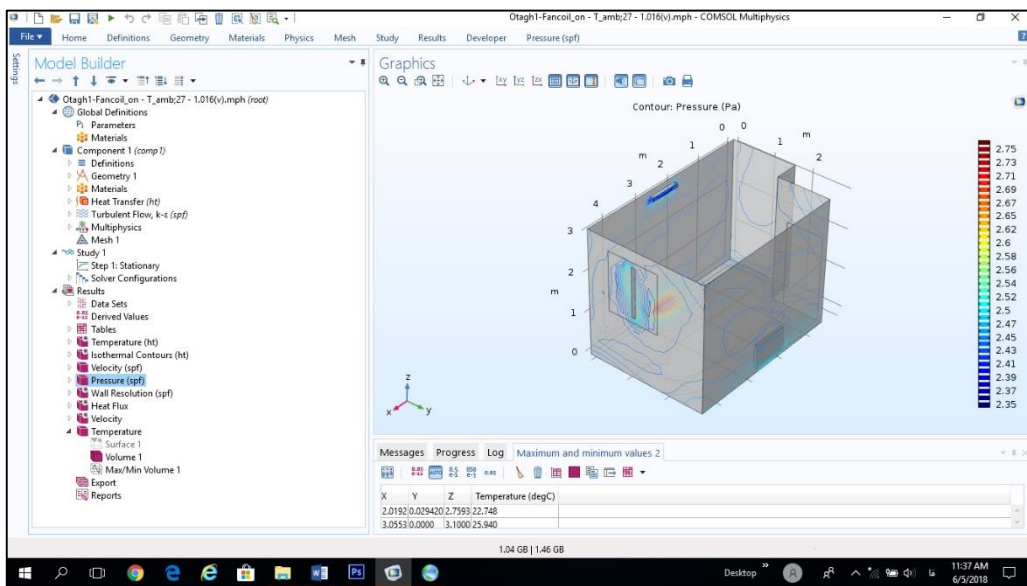
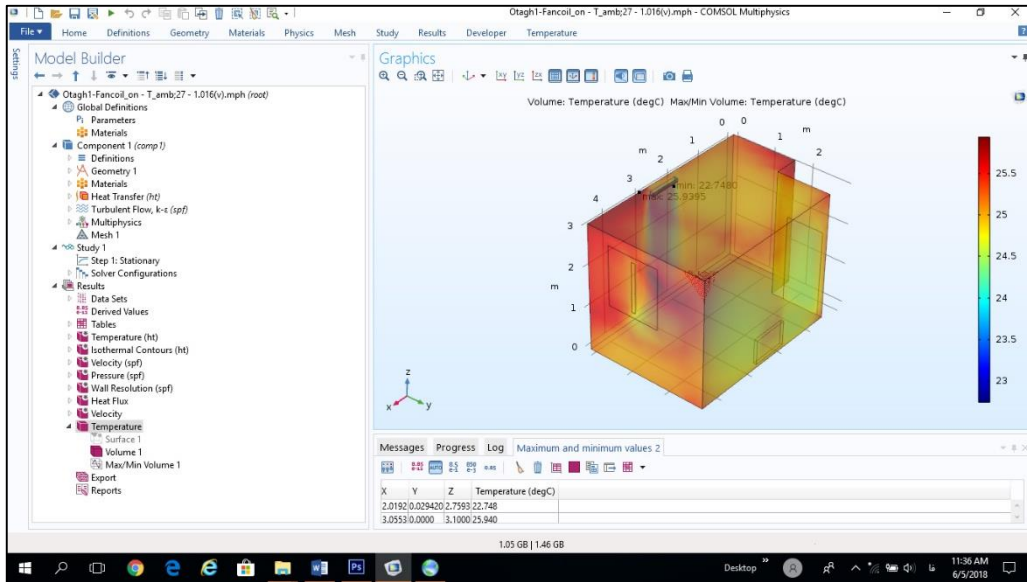
ورودی جریان آشفته درجه فن کوئل و خروجی جریان آشفته شیار نفوذپذیری هوا در نظر گرفته شد.



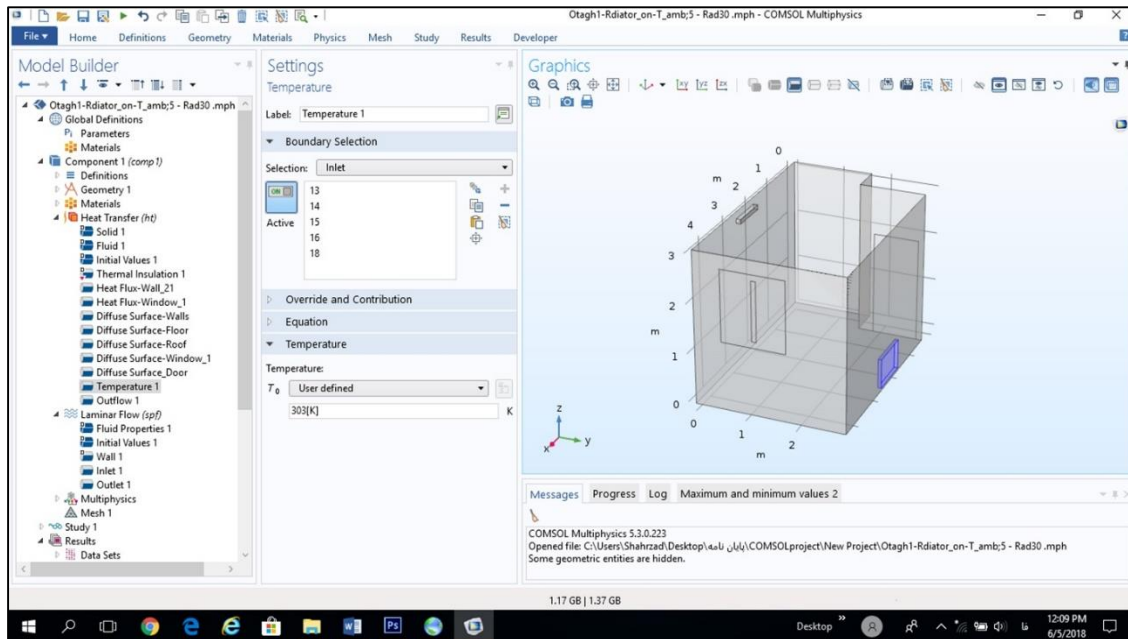
مش بندی همانند قبل است و مطالعه به صورت ماندگار انجام گرفت.



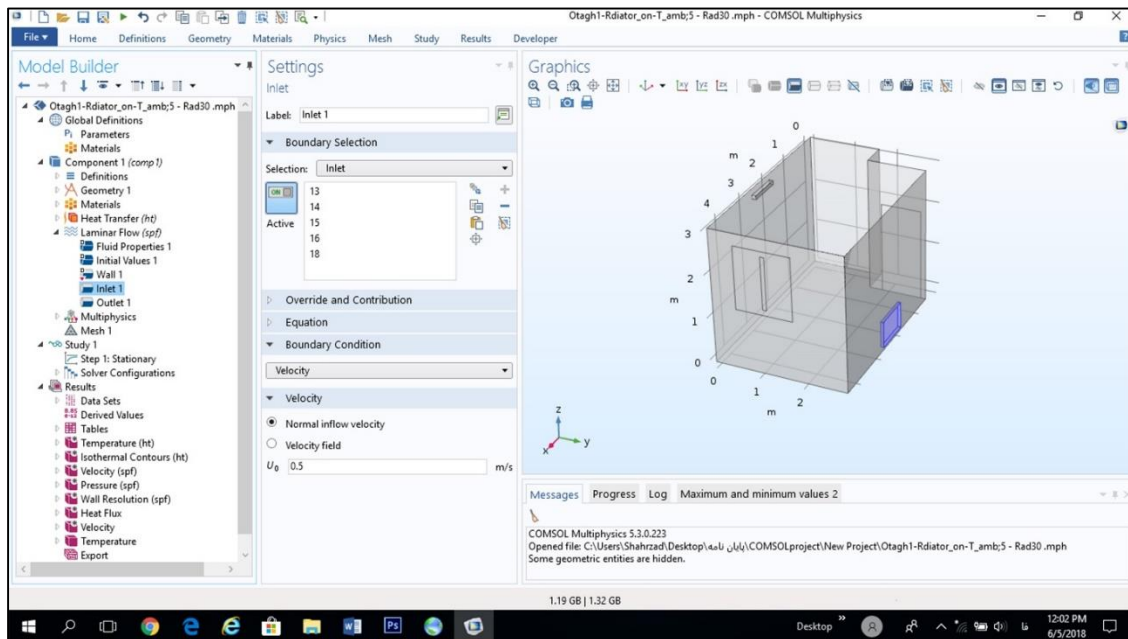
در انتها نتایج پس از انجام محاسبات در نرم افزار به دست آمدند.



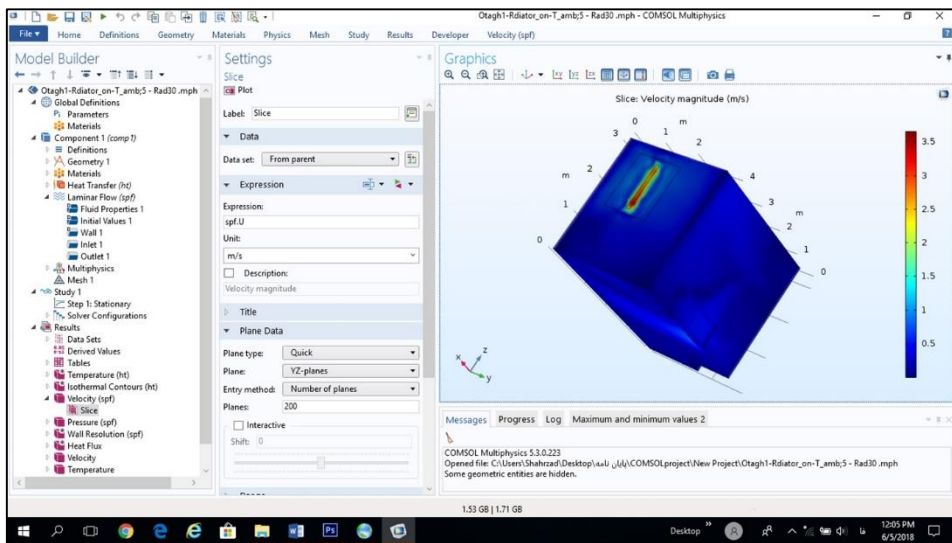
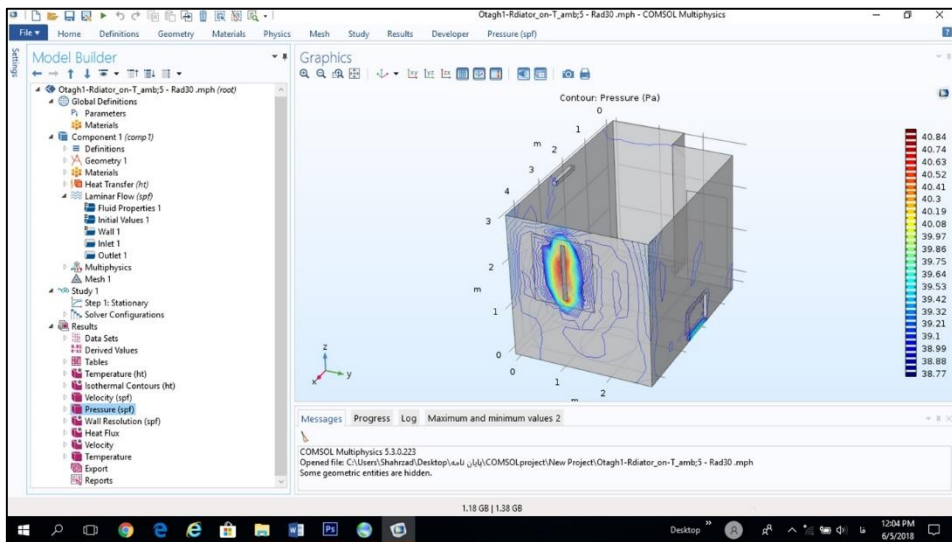
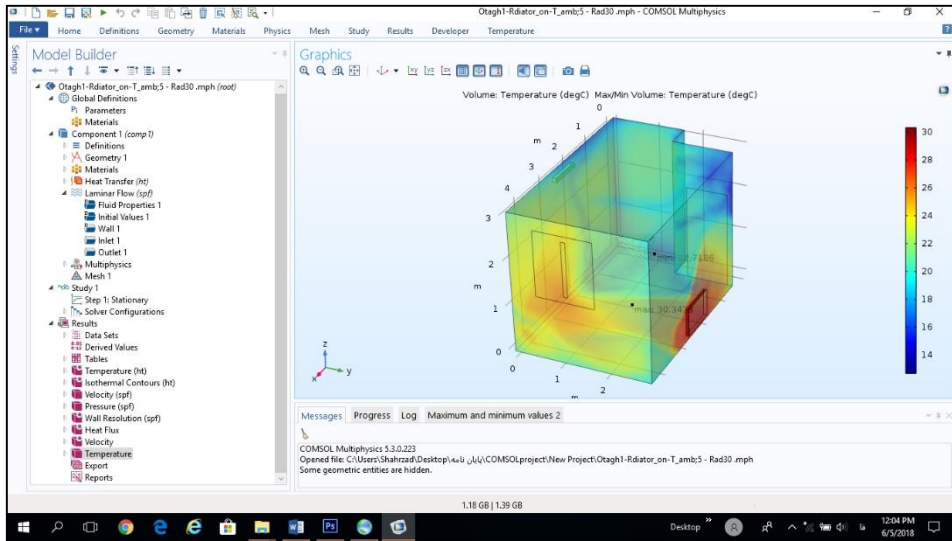
در تابستان ماژول کوپل‌شده انتقال حرارت با جریان لایه‌ای و تراکم‌ناپذیر تعریف گردید. در اینجا نیز کلیه تعاریف برای خصوصیات توزیع حرارت به مانند BTD است. در این ماژول نیز شیار نفوذپذیری هوا بر روی پنجره به عنوان خروجی انتخاب گردید. سپس دمای رادیاتور وارد شد.



در جریان لایه‌ای نیز ورودی جریان آشفته در پیچه فن کوئل و خروجی جریان آشفته شیار نفوذپذیری هوا در نظر گرفته شد و سرعت جریان هوای گرم رادیاتور (0.5 m/s) در نرم‌افزار وارد گردید.



مش‌بندی همانند قبل است و مطالعه نیز مانند جریان آشفته به صورت ماندگار انتخاب شد. سپس نتایج پس از انجام محاسبات در نرم‌افزار به دست آمدند.

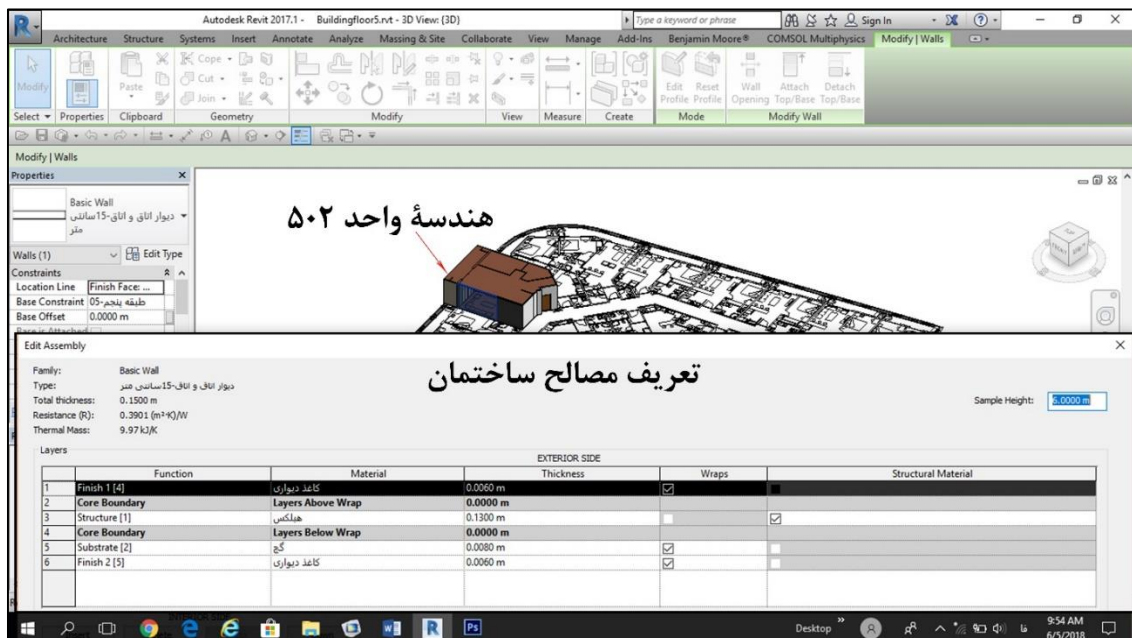
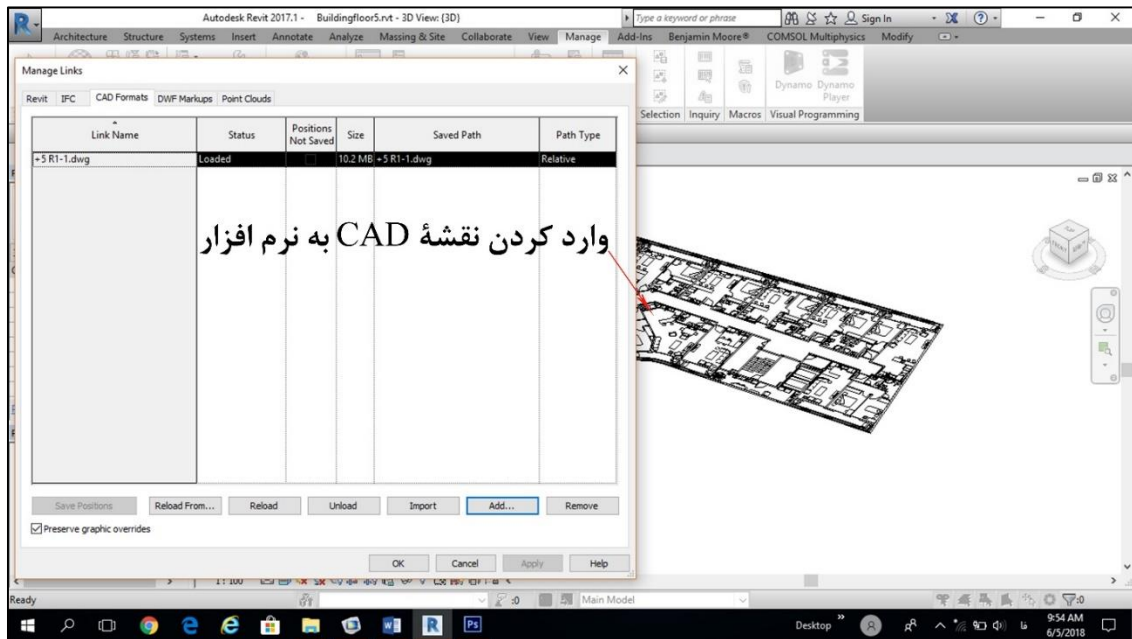


پیوست ۲ انتخاب OA های تاگوجی بر اساس DOF.

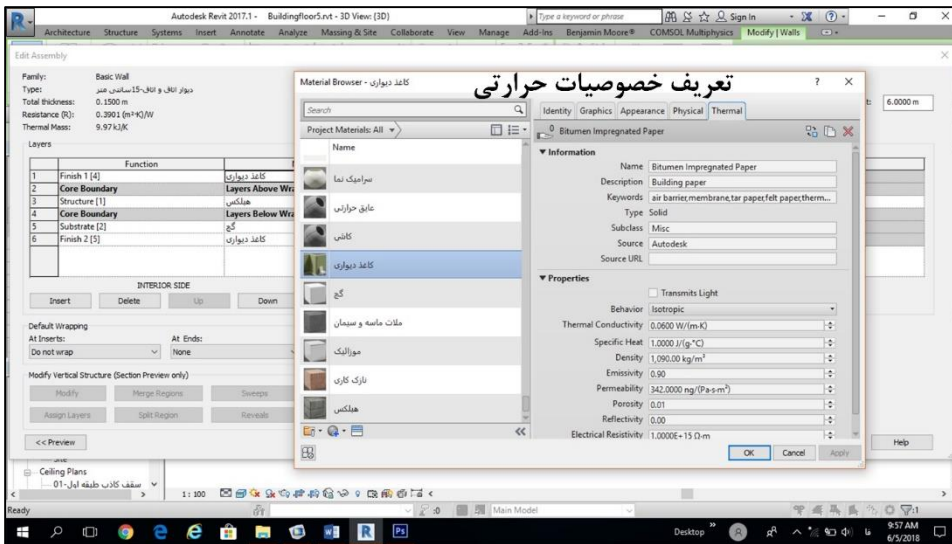
حداکثر ستونهای این سطوح				تعداد پارامترها	تعداد اجراها	OA
۵ سطحی	۴ سطحی	۳ سطحی	۲ سطحی			
			۳	۳	۴	L4
			۷	۷	۸	L8
		۴		۴	۹	L9
			۱۱	۱۱	۱۲	L12
			۱۵	۱۵	۱۶	L16
	۵			۵	۱۶	L'16
		۷	۱	۸	۱۸	L18
۶				۶	۲۵	L25
		۱۳		۱۳	۲۷	L27
			۳۱	۳۱	۳۲	L32
	۹		۱	۱۰	۳۲	L'32
		۱۲	۱۱	۲۳	۳۶	L36
		۱۳	۳	۱۶	۳۶	L'36
۱۱			۱	۱۲	۵۰	L50
		۲۵	۱	۲۶	۵۴	L54
			۶۳	۶۳	۶۴	L64
	۲۱			۲۱	۶۴	L'64
		۴۰		۴۰	۸۱	L81

پیوست ۳ شرح کار با نرم افزار Autodesk REVIT

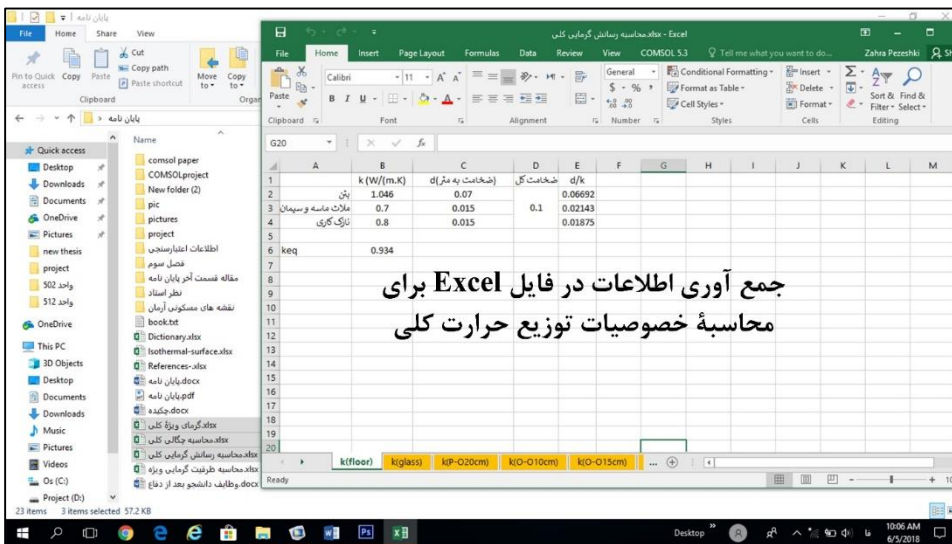
ابتدا نقشه CAD طبقه پنجم از منوی Manage و با دستور Manage Link وارد نرم افزار گردید. سپس با استفاده از تعریف طبقات و مصالح، هندسه واحد ۵۰۲ در آن ترسیم شد.



پس از تعریف مصالح، خواص فیزیکی و حرارتی مصالح (خصوصیات توزیع حرارت) برای تک تک اجزاء تعریف گردیدند.



سپس تمام اطلاعات در نرم افزار Excel برای محاسبه خصوصیات کلی توزیع حرارت گردآوری شدند.



پیوست ۴ فهرست مصالح ساختمانی

مصالح ساختمان										
شماره	دیوارهای خارجی	دیوارهای داخلی	پوشش کف	پوشش سقف	در	پنجره	سازه	زیرلایه	لایه	لایه
									غشاء	عایق
۱	سرامیک نما	کاشی	سرامیک کف	گچ	چوب کاج	شیشه دوجداره	هبلکس	گچ	هوا	
۲		کاغذ دیواری					بتن	ملات ماسه و سیمان ^۱		

پیوست ۵ مصالح ساختمانی استفاده شده در پوششهای نهایی دیوارهای داخلی و خارجی

نوع	نام	ضخامت کل (m)	شماره	پوشش نهایی ۲	پوشش نهایی ۱
دیوار	اتاق-اتاق	۱۵	۱، ۲ و ۱۱	کاغذ دیواری	کاغذ دیواری
	اتاق-اتاق	۱۰	۳، ۴ و ۵	کاغذ دیواری	کاغذ دیواری
	دستشویی و حمام-اتاق	۱۵	۱۲ و ۱۳	کاشی	کاغذ دیواری
	دستشویی و حمام-اتاق	۱۰	۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰	کاغذ دیواری	کاشی
	اتاق-لابی	۱۵	۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷	کاغذ دیواری	گچ
	آشپزخانه-لابی	۱۵	۱۸	کاشی	گچ
	آشپزخانه-دستشویی و حمام	۱۵	۱۹	کاشی	کاغذ دیواری
	آشپزخانه-اتاق	۱۰	۲۰	کاغذ دیواری	کاشی
	پیرامونی-اتاق	۲۰	۲۱، ۲۲ و ۲۳	کاغذ دیواری	سرامیک نما
	پنجره	پنجره	۱	۱ و ۲	شیشه
در	در اتاق ۱	۱۰	-	-	-
	در اتاق ۲	۱۵	-	-	-
	در دستشویی و حمام	۱۰	-	-	-
	کف	کف	۱۰	سرامیک کف	-
سقف	سقف	۱۰	سرامیک کف	گچ	-

^۱ Mortar

پیوست ۶ خصوصیات توزیع حرارت مصالح ساختمانی

نما				
$C_p (\frac{J}{kg \cdot K})$	$\rho (\frac{kg}{m^3})$	ε	$k (\frac{W}{m \cdot K})$	دیوارهای خارجی
۷۹۵	۳۴۰۰	۰/۸۹	۱۸/۸۳	سرامیک نما
C_p	ρ	ε	k	دیوارهای داخلی
۱۰۰۰	۱۰۹۰	۰/۹	۰/۰۶	کاشی
۸۴۰	۱۷۰۰	۰/۵	۰/۸۱	کاغذ دیواری
C_p	ρ	ε	k	پوشش کف
۸۵۰	۱۷۰۰	۰/۹	۰/۸	سرامیک کف
C_p	ρ	ε	k	در (از کتابخانه نرم افزار COMSOL)
۲۷۰۰	۵۳۲	از کتابخانه نرم افزار می خواند		چوب کاج
C_{peq}	ρ_{eq}	ε	k_{eq}	پنجره (در اینجا پارامترهای معادل برای شیشه دوجداره وارد شده اند)
۸۳۹/۸۰۶	۱۳۰۶/۰۵۴	۰/۹۵	۰/۰۳۲	پنجره ۱
۸۳۹/۷۹۰	۱۲۵۶/۵۲۱	۰/۹۵	۰/۰۳۲	پنجره ۲
سازه				
C_p	ρ	ε	k	
۸۴۰	۷۸۰	۰/۹۵	۰/۷۶	هبلکس
۶۵۷	۲۳۰۰	۰/۹۵	۱/۰۴۶	بتن
زیرلایه				
C_p	ρ	ε	k	
۹۴۰	۱۲۰۰	۰/۹	۰/۴۲	گچ
۸۵۰	۱۷۰۰	۰/۹	۰/۷	ملات ماسه و سیمان
لایه عایق				
C_p	ρ	ε	k	
۱۰۰۳/۵	۱/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۲۵	هوا

پیوست ۷ حجم لایه‌های مصالح ساختمانی

V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	$V(m^3)$	
پوشش نهایی ۱	زیر لایه	لایه عایق	سازه	لایه عایق	زیر لایه	پوشش نهایی ۲	نام و شماره	
۰/۰۹۲	-	-	۱/۹۸۹	-	۰/۱۲۲	۰/۰۹۲	۱	دیوار
۰/۰۹۵	-	-	۲/۰۶۴	-	۰/۱۲۷	۰/۰۹۵	۲	
۰/۰۰۷	-	-	۰/۲۱۲	-	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۳	
۰/۰۰۵	-	-	۰/۱۷	-	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۴	
۰/۰۳۹	-	-	۱/۱۵۵	-	۰/۰۵۲	۰/۰۳۹	۵	
۰/۰۱۷	-	-	۰/۴۷۷	-	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۶	
۰/۰۰۷	-	-	۰/۲۲۸	-	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۷	
۰/۰۰۸	-	-	۰/۲۲۹	-	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۸	
۰/۰۱	-	-	۰/۲۳۸	-	۰/۰۱۳	۰/۰۱	۹	
۰/۰۲۷	-	-	۰/۸۲۵	-	۰/۰۳۶	۰/۰۲۷	۱۰	
۰/۰۲۷	-	-	۰/۵۸۲	-	۰/۰۳۶	۰/۰۲۷	۱۱	
۰/۰۴۸	۰/۰۶۷	-	۰/۵۰۵	۰/۰۵۷	-	۰/۰۶۷	۱۲	
۰/۰۸۲	۰/۱۱۴	-	۰/۸	۰/۰۹۸	-	۰/۱۱۴	۱۳	
۰/۰۵۲	-	-	۰/۴۸	-	۰/۰۶۵	۰/۰۵۷	۱۴	
۰/۰۱۷	-	-	۰/۱۵۸	-	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹	۱۵	
۰/۰۱۷	-	-	۰/۱۷	-	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸	۱۶	
۰/۰۲۹	-	-	۰/۲۳۷	-	۰/۰۳۷	۰/۰۳۲	۱۷	
۰/۰۹۵	-	-	۰/۸۶۹	-	۰/۱۱۹	۰/۱۰۳	۱۸	
۰/۱۲۳	-	-	۰/۱۲۵	-	۰/۱۵۳	۰/۱۳۳	۱۹	
۰/۰۱۴	-	-	۰/۴۳۲	-	۰/۰۱۹	۰/۰۱۴	۲۰	
۰/۲	-	۰/۱۶	۰/۸۸	-	۰/۱۶	۰/۲	۲۱	
۰/۰۶۳	-	۰/۰۵	۰/۲۷۷	-	۰/۰۵	۰/۰۶۳	۲۲	
۰/۰۶۴	-	۰/۰۵۱	۰/۲۸۳	-	۰/۰۵۱	۰/۰۶۴	۲۳	
۰/۰۰۵	-	-	۰/۰۰۹	-	-	۰/۰۰۵	۱	پنجره
۰/۰۲	-	-	۰/۰۳۹	-	-	۰/۰۲	۲	
-	-	-	۵/۱۷۲	-	۱/۱۰۸	۱/۱۰۸	-	کف
-	-	-	۵/۱۷۲	-	۱/۱۰۸	۱/۱۰۸	-	سقف

پیوست ۸ خصوصیات کلی توزیع حرارت













نوع	شماره	k_{eq}	ρ_{eq}	C_{peq}
دیوار	۱	۰/۳۸۵	۸۲۷/۱۸۱	۸۶۴/۶۱۶
	۲		۸۲۷/۱۴۰	۸۶۴/۵۶۴
	۱۱		۸۲۷/۴۱۱	۸۶۴/۷۰۷
	۳	۰/۴۳۹	۸۱۶/۱۸۶	۸۵۸/۹۰۶
	۴		۸۱۰/۲۱۵	۸۵۶/۳۵۰
	۵		۸۱۵/۸۱۳	۸۵۸/۹۲۹
	۶	۰/۵۵۱	۸۳۶/۵۶۷	۸۵۲/۵۷۰
	۷		۸۲۹/۳۶۳	۸۵۱/۰۵۳
	۸		۸۳۵/۰۵۹	۸۵۲/۱۸۷
	۹		۸۴۵/۵۳۵	۸۵۴/۴۱۹
	۱۰		۸۳۲/۸۲۰	۸۵۱/۸۴۸
	۱۲	۰/۱۸۱	۸۶۱/۰۰۶	۷۹۹/۸۵۳
	۱۳		۸۶۴/۳۱۹	۷۹۷/۸۰۱
	۱۴	۰/۳۵۲	۸۸۲/۱۵۶	۸۸۱/۵۶۶
	۱۵		۸۸۳/۱۰۲	۸۸۱/۹۰۶
	۱۶		۸۷۵/۳۱۰	۸۷۸/۹۲۰
	۱۷		۸۹۲/۳۵۸	۸۸۵/۱۶۲
	۱۸	۰/۶۶۶	۹۳۵/۶۸۳	۸۶۳/۱۴۱
	۱۹	۰/۷۱۰	۹۷۵/۴۲۴	۸۵۲/۲۷۰
	۲۰	۰/۵۵۱	۸۳۲/۶۱۰	۸۵۱/۸۳۹
	۲۱	۰/۴۱۹	۱۱۱۰/۳۷۰	۸۵۳/۲۳۴
	۲۲		۱۱۱۱/۳۱۲	۸۵۳/۱۶۳
	۲۳		۱۱۰۹/۸۶۶	۸۵۳/۱۷۲
پنجره	۱	۰/۰۳۲	۱۳۰۶/۰۵۴	۸۳۹/۸۰۶
	۲		۱۲۵۶/۵۲۱	۸۳۹/۷۹۰
کف	-	۰/۹۳۴	۲۱۰۵/۰۳۵	۷۰۱/۲۳۶
سقف	-	۰/۹۳۴	۲۱۰۵/۰۳۵	۷۰۱/۲۳۶

پیوست ۹ مقادیر انتقال حرارت کلی محاسبه شده مربوط به خصوصیات کلی توزیع حرارت

نوع	شماره	$R(\frac{m^2 \cdot K}{W})$	$A(m^2)$	$h(\frac{W}{m^2 \cdot K})$
دیوار	۱۴	۰/۴۲۵۷	۴/۳۶۵	۰/۵۳۸
	۱۵		۱/۴۴	۱/۶۳۱
	۱۶		۱/۸۶۹	۱/۲۵۷
	۱۷		۲/۲۹	۱/۰۲۶
	۱۸	۰/۲۲۵۱	۷/۹۰۴	۰/۵۶۲
	۲۱	۱/۴۱۰۴	۷/۹۹۸	۰/۰۸۹
	۲۲		۲/۵۱۹	۰/۲۸۱
	۲۳		۲/۵۶۹	۰/۲۷۶
پنجره	۱	۰/۰۰۴۵	۱/۸۴۲	۱۲۰/۶۴۲
	۲		۷/۸۰۸	۲۸/۴۶۱













پیوست ۱۰ نتایج حاصل از BTD

الف- بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ بدون فعال بودن وسیله سرمایشی

۱۱ شهریورماه ۱۳۹۶، فن کوئل غیر فعال است			
نمایش	کمترین دما به °C	بیشترین دما به °C	ساعت
	۱۷/۰۹۲۷	۲۵/۹۲۸۷	۶
	۲۰/۸۷۴۸	۲۸/۷۱۹۸	۷
	۲۰/۹۳۹۹	۲۸/۷۱۲۷	۸
	۲۱/۰۸۴۳	۲۸/۷۷۴۱	۹
	۲۱/۲۶۴۵	۲۸/۸۱۷۸	۱۰
	۲۱/۴۶۸۵	۲۸/۸۴۵۰	۱۱
	۲۱/۶۸۳۶	۲۹/۱۷۵۳	۱۲
	۲۱/۹۰۳۰	۲۸/۸۸۴۴	۱۳
	۲۲/۱۱۵۳	۲۸/۸۴۱۹	۱۴
	۲۲/۲۹۹۹	۲۸/۸۲۲۳	۱۵
	۲۲/۴۵۸۹	۲۸/۸۰۴۱	۱۶
	۲۲/۵۹۹۲	۲۸/۷۹۶۹	۱۷

اتاق ۱

ب- بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ بدون فعال بودن وسیله گرمایشی

۱۶ بهمن ماه ۱۳۹۵، رادیاتور غیر فعال است			
نمایش	کمترین دما به °C	بیشترین دما به °C	ساعت
	۴/۲۲۸۹۲	۱۲/۷۶۵۸	۶
	۴/۸۶۹۹۲	۱۲/۷۴۶۴	۷
	۴/۹۲۴۹۱	۱۲/۷۳۸۳	۸
	۵/۰۶۷۷۶	۱۲/۷۸۷۶	۹
	۵/۲۴۳۳۰	۱۲/۸۲۳۷	۱۰
	۵/۴۳۶۰۰	۱۲/۸۴۶۲	۱۱
	۵/۶۳۸۵۸	۱۳/۱۶۸۳	۱۲
	۵/۸۴۴۲۷	۱۲/۸۴۸۱	۱۳
	۶/۰۳۸۲۴	۱۲/۸۳۶۴	۱۴
	۶/۲۰۸۶۳	۱۲/۸۲۲۰	۱۵
	۶/۳۵۷۳۴	۱۲/۸۱۱۴	۱۶
	۶/۴۹۰۷۲	۱۲/۸۰۸۳	۱۷

اتاق ۱

پیوست ۱۱ نتایج حاصل از BEM

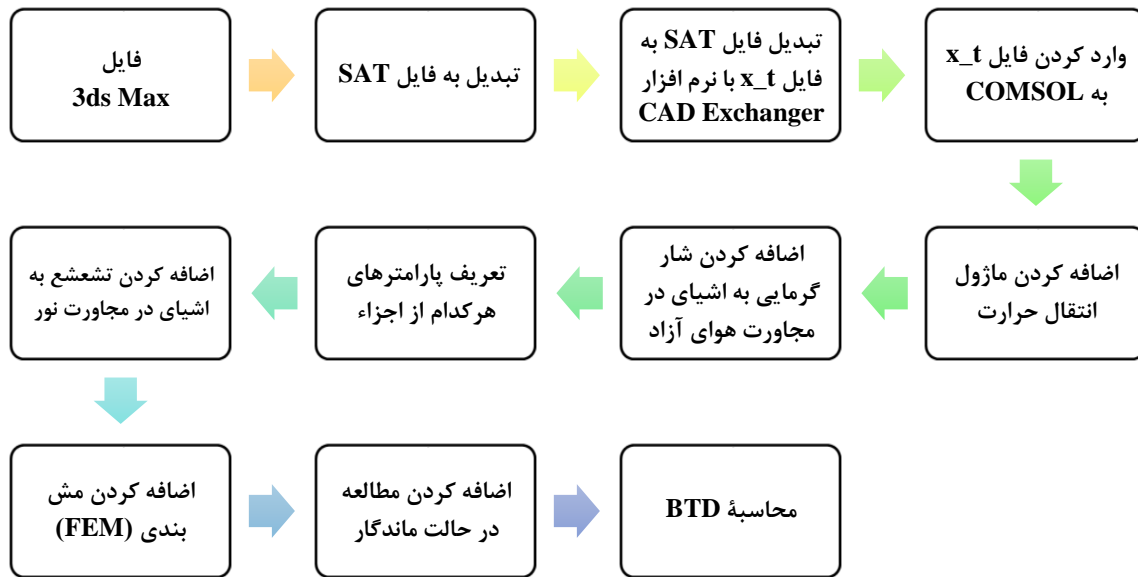
الف- بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ با فعال بودن وسیله سرمایشی

شماره اتاق	دمای محیط (°C)	T_{out} (°C)	سرعت باد فن کوئل (m/s)	دمای باد فن کوئل (°C)	بیشترین دمای اتاق (°C)	کمترین دمای اتاق (°C)
۱	۲۷	۲۹	۱/۰۱۶	۲۳	۲۵/۹۳۹۵	۲۲/۷۴۸
			۳/۰۴۸		۲۵/۲۳۱	۲۲/۷۸۰۸
			۵/۰۸		۲۴/۸۳۴۲	۲۲/۷۹۲۵
	۲۸		۱/۰۱۶		۲۶/۶۶۰۸	۲۲/۷۲۳
			۳/۰۴۸		۲۵/۷۹۵۳	۲۲/۷۶۳۶
			۵/۰۸		۲۵/۳۰۷۶	۲۲/۷۷۸۳
	۲۹		۱/۰۱۶		۲۷/۴۲۹۲	۲۲/۶۹۷۹
			۳/۰۴۸		۲۶/۳۶۷۴	۲۲/۷۴۶۱
			۵/۰۸		۲۵/۷۸۴۳	۲۲/۷۶۳۹

ب- بیشترین و کمترین دمای اتاق ۱ با فعال بودن وسیله گرمایشی

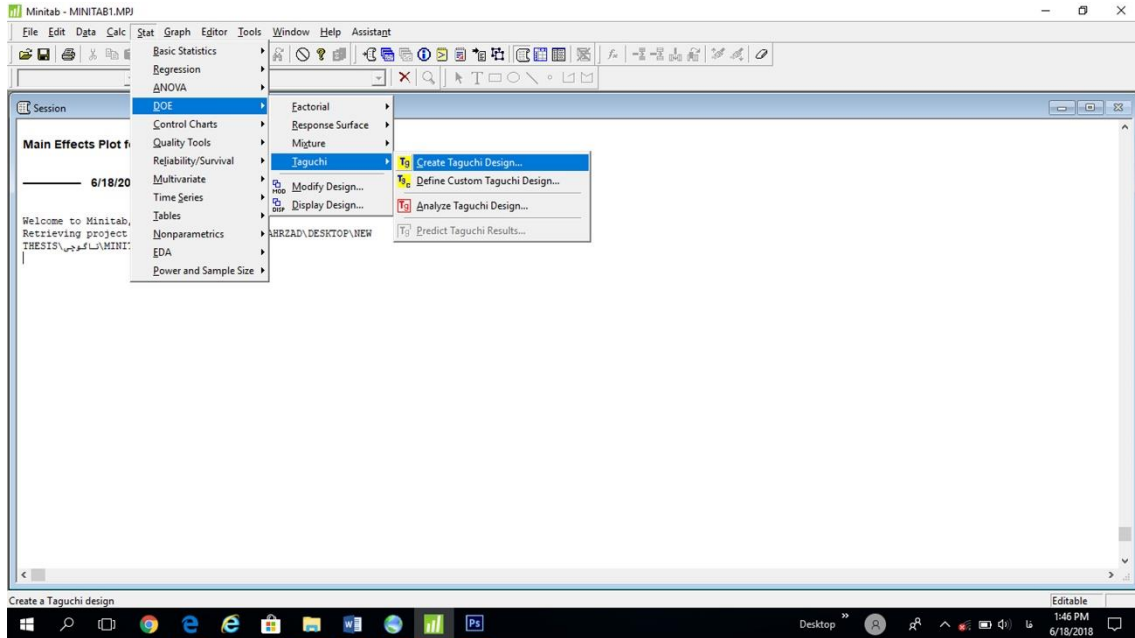
شماره اتاق	دمای محیط (°C)	T_{out} (°C)	سرعت جریان باد گرم رادیاتور (m/s)	دمای رادیاتور (°C)	بیشترین دمای اتاق (°C)	کمترین دمای اتاق (°C)
۱	۵	۱۳	۰/۵	۳۰	۳۰/۳۴۳۸	۱۲/۷۱۸۶
				۳۵	۳۵/۴۴۶۵	۱۴/۲۵۲۲
				۳۰	۳۰/۳۱۰۱	۱۴/۰۰۰۷
	۷			۳۵	۳۵/۴۱۳۴	۱۵/۵۲۱۵
				۳۰	۳۰/۲۴۰۷	۱۶/۶۰۲۵
				۳۵	۳۵/۳۴۵۲	۱۸/۰۹۸۳
	۱۱			۳۰	۳۰/۲۰۵۱	۱۷/۹۲۱۸
				۳۵	۳۵/۳۱۰۳	۱۹/۴۰۵۳
				۳۵		

پیوست ۱۲ روش انجام BTĐ برای گل بخش مسکونی



پیوست ۱۳ شرح کار روش تاگوچی با نرم افزار Minitab

ابتدا مانند شکل زیر قسمت مربوط به طراحی آزمایشات به روش تاگوچی انتخاب می شود.



سپس همانطوریکه که در فصل ۶ توضیح داده شد، با توجه به پارامترهای طراحی، سطوح آنها، حداقل تعداد آزمایشات و آرایه به دست آمده از جدول OA تاگوچی، تنظیمات زیر در نرم افزار انجام می گیرند:

Taguchi Design تعیین پارامترها

Type of Design

2-Level Design (2 to 31 factors)

3-Level Design (2 to 13 factors)

4-Level Design (2 to 5 factors)

5-Level Design (2 to 6 factors)

Mixed Level Design (2 to 26 factors)

Number of factors: 3

Display Available Designs...

Designs... Factors... Options...

Help OK Cancel

Taguchi Design - Available Designs مشاهده آزمایشات قابل قبول

Available Taguchi Designs (with Number of Factors)

Designs	Single-level designs			
	2 level	3 level	4 level	5 level
L4	2-3			
L8	2-7			
L9		2-4		
L12	2-11			
L16	2-15			
L16			2-5	
L25				2-6
L27		2-13		
L32	2-31			

Single-level Mixed 2-3 level Mixed 2-4 level Mixed 2-8 level

Help OK

Taguchi Design - Design انتخاب آزمایش مورد نظر

Runs 5 ** Columns

L25 5 ** 3

Add a signal factor for dynamic characteristics

Help OK Cancel

Taguchi Design - Factors ویرایش عنوان و سطوح پارامترها

Assign Factors

To columns of the array as specified below

To allow estimation of selected interactions Interactions...

Fact	Name	Level Values	Column	Leve
A	X	1.5 2 2.5 3 3.5	1	5
B	Y	0 2.9754671 0 2.9754671 0	2	5
C	Z	1.75 2 2.25 2.5 2.75	3	5

Help OK Cancel

۲۵ آزمایش تاگوچی مطابق جدول زیر است که هر کدام از این ۲۵ آزمایش همانطوریکه در فصل ۶ شرح داده شد باید در نرم‌افزار EM شبیه‌سازی شوند تا نقاط T_{Min} و T_{Max} به دست آیند.

Minitab - MINITAB1.MPJ - [Worksheet 1 ***]

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	X	Y	Z																	
1	1.5	0.00000	1.75																	
2	1.5	2.97547	2.00																	
3	1.5	0.00000	2.25																	
4	1.5	2.97547	2.50																	
5	1.5	0.00000	2.75																	
6	2.0	0.00000	2.00																	
7	2.0	2.97547	2.25																	
8	2.0	0.00000	2.50																	
9	2.0	2.97547	2.75																	
10	2.0	0.00000	1.75																	
11	2.5	0.00000	2.25																	
12	2.5	2.97547	2.50																	
13	2.5	0.00000	2.75																	
14	2.5	2.97547	1.75																	
15	2.5	0.00000	2.00																	
16	3.0	0.00000	2.50																	
17	3.0	2.97547	2.75																	
18	3.0	0.00000	1.75																	
19	3.0	2.97547	2.00																	
20	3.0	0.00000	2.25																	
21	3.5	0.00000	2.75																	
22	3.5	2.97547	1.75																	
23	3.5	0.00000	2.00																	
24	3.5	2.97547	2.25																	
25	3.5	0.00000	2.50																	
26																				

Current Worksheet: Worksheet 1

1:55 PM 6/18/2018

سپس پاسخهای تابع برازندگی برای هر آزمایش به ترتیب در ستون C4 و جلوی هر آزمایش وارد می‌شود.

	C1	C2	C3	C4
	X	Y	Z	
1	1.5	0.00000	1.75	4.6537
2	1.5	2.97547	2.00	4.7870
3	1.5	0.00000	2.25	4.7038
4	1.5	2.97547	2.50	4.6908
5	1.5	0.00000	2.75	4.7836
6	2.0	0.00000	2.00	4.5631
7	2.0	2.97547	2.25	4.7115
8	2.0	0.00000	2.50	4.5448
9	2.0	2.97547	2.75	4.6651
10	2.0	0.00000	1.75	4.5727
11	2.5	0.00000	2.25	4.7604
12	2.5	2.97547	2.50	4.6632
13	2.5	0.00000	2.75	4.7563
14	2.5	2.97547	1.75	5.1906
15	2.5	0.00000	2.00	4.7013
16	3.0	0.00000	2.50	4.6235
17	3.0	2.97547	2.75	4.5735
18	3.0	0.00000	1.75	4.9268
19	3.0	2.97547	2.00	4.6912
20	3.0	0.00000	2.25	4.8338
21	3.5	0.00000	2.75	4.8849
22	3.5	2.97547	1.75	4.7089
23	3.5	0.00000	2.00	4.8808
24	3.5	2.97547	2.25	4.6639
25	3.5	0.00000	2.50	4.9342

در ادامه تحلیل SNR برای به دست آوردن نقطه بهینه به صورت زیر انجام می‌گیرد. ابتدا تحلیل SNR تاگوچی انتخاب می‌شود.

تنظیمات SNR به صورت زیر انجام می‌گیرند و تحلیل اجرا می‌شود تا پاسخها همانند فصل ۶ (شکل ۶.۶) به دست آیند.

تحلیل ANOVA نیز به صورت زیر انجام می‌گیرد.

Minitab - MINITAB1.MPJ

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

Stat > ANOVA > Main Effects Plot...

Session

Main Effects Plot for Y

6/18/2018

Welcome to Minitab,
Retrieving project
THESIS\مؤسسة\MINI...

Worksheet1 ***

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	X	Y	Z																	
1	1.5	0.00000	1.75	4.6537																
2	1.5	2.97547	2.00	4.7870																
3	1.5	0.00000	2.25	4.7038																
4	1.5	2.97547	2.50	4.6908																
5	1.5	0.00000	2.75	4.7836																
6	2.0	0.00000	2.00	4.5631																
7	2.0	2.97547	2.25	4.7115																
8	2.0	0.00000	2.50	4.5448																
9	2.0	2.97547	2.75	4.6651																

Plot main effects

2:47 PM
6/18/2018

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی-انگلیسی به فارسی

واژه‌نامه ۱. از راست به چپ فارسی به انگلیسی و از چپ به راست انگلیسی به فارسی

a trial-and-error approach	روشِ سعی و خطا
ABEMAT	ابزار مدل‌سازی و ارزیابی خودکار BEM
absolute zero	صفر مطلق
ambient temperature	دمای محیط
ANN	شبکهٔ عصبی مصنوعی
ANOVA	تحلیل واریانس
API	واسط برنامه‌نویسی کاربردی
archetypes	اشکال اولیه
Autotune	تنظیم خودکار
AutoZone	منطقه‌بندی خودکار
BAS	سیستم اتوماسیون ساختمان
Bayes Factors	ضرایب بیز
Baysian computation	محاسبهٔ بیزی
BEAM	مدل تحلیل انرژی ساختمان
BEM	مدلسازی انرژی ساختمان
BEMR	BEM توصیه شده
BEPS	شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان
BES	سیستم انرژی ساختمان
bias	بایاس
BIM	مدلسازی اطلاعات ساخت
Brute-Force	بروت فورس
BTD	توزیع حرارت ساختمان
CAD	طراحی به کمک کامپیوتر
calibrated	واسنجی شده
calibration	واسنجی
CAV	حجم هوای ثابت
CFD	دینامیک سیالات محاسباتی
CIM	مدل رابطِ سایبان
CityBES	ذخیره‌کنندهٔ انرژی ساختمان شهری
CityBEUM	مدل مصرف انرژی ساختمان شهری
colored	رنگی
Comma selection	انتخاب فاصلهٔ جزئی
Compressible and Incompressible flows	جریانهای تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر

conduction	هدایت
Conjugate Heat Transfer	کوپل‌شده انتقال حرارت و ...
convection	همرفت
core	هسته
crossover	آمیزش
Cubic	درجه ۳
CV-RMSE	ضریب تغییر خطای میانگین مربعات ریشه
density	چگالی
Developed and Developing flows	جریانهای توسعه‌یافته و در حال توسعه
dissipation rate	نرخ پراکندگی
DNA	اسید نوکلئیک دئوکسی ریبوز
DOF	درجه آزادی
double glazing glass	شیشه دوجداره
dry-bulb	حباب خشک
EAM	مدل تحلیلی انرژی
ECM	اقدامات حفاظت از انرژی
Eddy flows	جریانهای اِدی
Elitist	نخبگان
EM	مدلسازی انرژی
emissivity	تابش سطح
enthalpy	آنتالپی
ETL	استخراج، تبدیل و بارگذاری
ETTV	مقدار انتقال حرارت پوسته خارجی
External	خارجی
extrapolation	برونیبایی
extrude	اکستروژن، بیرون کشیدن
façade	نما
FDM	روش تفاضل محدود
FEM	روش اجزای محدود
FEPRM	مدل رگرسیون عملکرد انرژی شکل
Finish	پوشش نهایی
Finite Element	اجزای محدود
finite horizon optimal control problem	مسئله کنترل بهینه افقی محدود
fitness function	تابع برازندگی
floor covering	پوشش کف
FME	موتور دستکاری ویژگی
forced convection	همرفت اجباری

free convection	همرفت آزاد
GA	الگوریتم ژنتیک
Galerkin method	روش گالرکین
genotype	ژنوتیپ
geo-statistical	جغرافیایی-آماری
GIS	سیستم اطلاعات جغرافیایی
glass	شیشه
glazing ratio	نسبت شیشه کاری
GOF	برازندگی خوب
GP	فرایند گوسی
granularity	گرانولیته
HAD	تراکم دارایی میراث
heat conduction	انتقال حرارت رسانشی
heat emitter	منتشرکننده گرما
heat flux	شار گرمایی
heat rate	نرخ گرما
Heat transfer in Fluid	انتقال حرارت در سیالات
Heat transfer in Solid	انتقال حرارت در جامدات
hot spot	کانون بحرانی
HVAC	گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع
hygrothermal	هیروترمال
ICT	فناوری اطلاعات و ارتباطات
Ideal and Real flows	جریانهای ایده آل و حقیقی
Initial Value	مقدار اولیه
Internal	داخلی
Internal and External flows	جریانهای داخلی و خارجی
interpolation function for stress analysis	تابع درونیابی تحلیل تنش
IoT	اینترنت وسایل
isolation	عایق
kinematic viscosity	ویسکوزیته سینماتیکی
Kriging method	روش کریجینگ
Laminar and Turbulent flows	جریانهای لایه ای و آشفته
LCEM	مدیریت انرژی طول عمر
LF	تابع تلفات
local minimum	حداقل محلی
LOD	سطح جزئیات
LR	رگرسیون خطی

Ma	عددِ ماخ
Mastech Infrared Thermometer	دماسنج مادون قرمز مستیک
MBE	خطای بایاس میانگین
MBPC	کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل
membrane layer	لایه‌های غشاء
MEP	مکانیک، برق و لوله‌کشی
meta-learning	فرا یادگیری
ML	یادگیری ماشین
model-cluster-reduce	کاهش خوشه‌مدل
Monte Carlo	مونتِه کارلو
mutation	جهش
mutation rate	نرخ جهش
NMBE	خطای بایاس میانگین نرمال
non-derivability	مشتق‌ناپذیری
OA	آرایه‌های متعامد
offspring	نسل
One-dimensional and Two-dimensional and Three-dimensional flows	جریانهای یک‌بعدی و دوبعدی و سه‌بعدی
optimization	بهینه‌سازی
overall heat transfer	انتقال حرارت کلی
PCA	تجزیه و تحلیل اجزای اصلی
PDE	معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی
phenotype	فنوتیپ
PICS	راه‌حل مؤسسه اقلیم اقیانوس آرام
PID	مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر تناسبی
Plus selection	انتخاب اضافی
posterior	پسین
Quadratic	درجه ۲
radiation	تشعشع
ratio of specific heat	نرخ گرمای ویژه
RDF	چارچوب توصیف منابع
reachability	دستاورد
reflective	صیقلی
Reynolds number	عدد رینولدز
Reynolds-Averaged Navier-Stokes	میانگین‌گیری رینولدز ناویه-استوکس
roof covering	پوشش سقف
Rotational and Non-rotational flows	جریانهای چرخشی و غیر چرخشی

Roulette wheel	چرخِ رولت
scalability	مقیاس‌پذیری
SI-HKS	علامت‌کرنل گرمایش مقیاس نامتغییر
Single phase and Multi phase flows	جریانهای تکفاز و چندفاز
smart-meter	هوشمندسنج
SNR	نسبت سیگنال به نویز
soft/diffuse	نرم و منتشرکننده
specific heat at constant pressure	گرمای ویژه در فشار ثابت
Steady and Unsteady flows	جریانهای پایا و گذرا
step size	اندازه گام
structure layer	سازه
substrate	زیرلایه
Taguchi method	روش تاگوچی
temperature gradient	گرادیان گرمایی
termination	پایان
testing	آزمون
thermal comfort	آسایش حرارتی
thermal conductivity	رسانش حرارتی
thermal distribution	توزیع حرارت
thermal resistance	مقاومت گرمایی
thermal zone	ناحیه حرارتی
thermal/air layer	لایه هوا و یا حرارتی
3ds Max	نرم‌افزار استودیوی مدلسازی، متحرک‌سازی و رندرگیری سه‌بعدی
TLF	فایل کتابخانه قالب
tournament selection	انتخاب مسابقه‌ای
training	آموزش
turbulence kinetic energy	انرژی جنبشی آشفته
UBEM	EM ساختمان شهری
UMI	EM شهری
unbiasedness	بی قید و شرط بودن
unconstrained	بدون محدودیت
Uniform and Non-uniform flows	جریانهای یکنواخت و غیر یکنواخت
upper limit	حدّ نهایی
U-value	ارزش U
VAV	حجم هوای متغییر
wet-bulb	حُبَاب تر

WOL	زبان هستی‌شناسی وب
WSN	شبکه حسگر بیسیم
zoning	منطقه‌بندی

Abstract

In today's life, it's necessary to pay attention to saving energy. There are a lot of research and studies in this area to minimize the potential for energy losses. Building Information Modeling (BIM) has been considered as a coordinated model for nearly two decades. BIM is a utility software program that integrates the building information required in the building including a three-dimensional architecture, a map of the electrical installations, etc., and, with the intelligence it is predicted, can provide the necessary offers, time and order of execution to the building engineer, and if, for some reason, a part of the map is changed in any case, report the bugs that arise in the next steps. One of the issues that can be solved by BIM as a powerful database is energy issues. The first step for maintaining energy is to find a way to reduce consumption and save money. In fact, saving energy means less cost, less fuel and less pollution. Hence, we need to look for the necessary infrastructure to reduce the use and distribute optimal energy. This thesis aims to develop the methodology of one of the articles (Gerrish et al. method) by proposing a new and innovative design using thermal energy optimization and temperature estimates obtained from the EM software, and predict the best location for heating and cooling appliances. In this study, all the information about one of the units of the Toos Arman Star Apartment Hotel project located on Navvab Safavi Avenue in Mashhad, near Imam Reza Shrine (PBUH), was obtained from this project, and was modeled on BIM software. Then, the key parameters of the building were investigated and all of them were extracted from the BIM software. In the following, EM was investigated using the energy simulation software. Validation was also done by comparing the simulation results and the actual results. For optimization, two optimization methods of genetic algorithm (GA) and Taguchi method was used to determine the optimal location of cooling devices. In GA, we tried to maximize the satisfaction of building residents by defining the fitness function as approaching the thermal comfort point of 25°C. The results of GA and Taguchi optimizations were introduced into the energy simulation software, and again, EM was performed using determined critical points. Since the proposed topic of this thesis is new and so far no action has been taken to determine the best location for the installation of heating and cooling appliances, the EM optimization result of GA was compared with the EM result of two Signal-to-Noise Ratio analysis (SNR) and Analysis of Variance (ANOVA) of the Taguchi method and EM result of the unit studied. In this comparison, the EM results obtained from GA optimization showed the better results than the Taguchi and EM of the unit studied. In GA optimization method, there were two sensitive points that one point showed a better response than the other point.

Keywords:

BIM, Thermal Transport, BTM, BEM, Building Energy Consumption Optimization



Shahrood University of Technology

Faculty of electrical and robotics engineering

MSc Thesis in Electrical Engineering: Electronic Integrated Circuits

**Energy modeling for estimation of indoor temperature of the building
on the BIM platform**

By: Zahra Pezeshki

Supervisor:

Dr. Syed Ali Soleimani Ivani

Advisor:

Dr. Ahmad Darabi

September 2018

طرح عطف جلد:

مدلسازی انرژی به منظور تخمین دمای داخل ساختمان در چارچوب مدلسازی اطلاعات ساخت، نگارنده: زهرا پزشکی ۱۳۹۷