تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۱/۱۷
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۶/۳۰

محمدجواد مهدوی نژاد،[۱] محمد هادیان‌پور[۲]

مقایسه تحلیلی عملکرد نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مبحث نوزده مقررات ملی[۳]

چکیده

تلاش جامعه مهندسان برای کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان در ایران به تدوین مقررات ملی مبحث نوزده و همچنین تدوین نرم‌افزارهایی چون «مبنا» و "BCS 19" بر مبنای آن مقررات منجر شده است. دقت و حساسیت این نرم‌افزارها، عامل مهمی در انتخاب راهکارهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها به‌شمار می‌رود. بالا بودن ضریب خطای نرم‌افزارها، برنامه‌ریزی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان را با مشکل مواجه خواهد کرد. هدف از این مقاله بازبینی و اعتبارسنجی صحت نتایج محاسبه‌شده توسط نرم‌افزارهای مبنا و BCS 19 است. به این منظور با استفاده از روش جعبه سیاه و تکنیک ALAC به اعتبارسنجی و با استفاده از روش تحلیل ایستا به بازبینی دو نرم‌افزار فوق پرداخته‌ایم. در این مطالعه ایرادات این دو نرم‌افزار از جنبه‌های مختلف بررسی شد. نتایج محاسبات حاکی از آن بود که تفاوت توان حرارتی محاسبه شده توسط نرم‌افزار مبنا با حالت مرجع بیش از ۲.۵ برابر محاسبات دستی است. از آنجا که این اشکالات می‌تواند طراح را به ارائه راهکارهایی نامناسب با هزینه‌های بیشتر برای بهینه‌سازی ساختمان سوق دهد، لذا در بخش نهایی، راهکارهایی برای تصحیح و استفاده درست از این نرم‌افزارها به‌منظور کاهش مصرف انرژی در ابنیه ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: مبحث نوزده، نرم‌افزار ساختمان، مقررات ملی، بازبینی، اعتبارسنجی، صرفه‌جویی انرژی.

[۱] دانشیار گروه معماری، گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail: mahdavinejad@modares.ac.ir

[۲] پژوهشگر دوره دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، استان تهران، شهر تهران
E-mail: m.hadiyanpour@modares.ac.ir

[۳] این مقاله برگرفته از رسالهٔ دوره دکتری معماری آقای محمد هادیان‌پور با عنوان «اصلاح متوسط آرای پیش‌بینی‌شده برای محیط خارجی با تأکید بر جهت وزش باد» است که به راهنمایی دکتر محمدجواد مهدوی‌نژاد در دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس در دست انجام است.

مقدمه

بحران انرژی به‌عنوان مهمترین مسئله قرن اخیر تلاش بسیاری از متخصصان را برای کاهش مصرف و استفاده از انرژی‌های پاک برانگیخته است. انرژی به‌عنوان نیروی محرکه صنعت، نقش اساسی در توسعه ملی دارد و از مهم‌ترین عوامل توسعه اجتماعی، صنعتی و رفاه جامعه به‌شمار می‌رود. اکثر کشورهای جهان خصوصاً کشورهای پیشرفته در آغاز قرن جدید برنامه کوتاه‌مدت و بلندمدت خود را به‌منظور بهبود وضعیت انرژی با دیدگاه محیط زیست مشخص کرده‌اند و در حال پیاده‌سازی آن هستند (مهدوی‌نژاد، ۱۳۹۲، ۳۶). از جمله تدابیری که برای کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان و همچنین ترویج بهینه‌سازی انرژی ابنیه در اجتماع در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به‌کار برده شده، رتبه‌بندی و برچسب انرژی ساختمان است (مهدوی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۱، ۴۲). این برنامه‌ها اصولاً بر اساس مقرارت ملی انرژی در ساختمان در هر کشور تدوین شده‌اند. در ایران بخش ساختمان با اختصاص بیش از ۴۰% کل مصرف انرژی کشور، بالاتر از بخش‌های حمل‌ونقل، صنعت، و کشاورزی قرار گرفته و بنابراین برنامه‌ریزی و اقدامات ملی را برای کاهش این سهم ضروری می‌کند (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۱۳۸۹). مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان شامل راهکارها و تمهیداتی است که اجرای صحیح آنها سبب کاهش مصرف انرژی و همچنین سبب افزایش سطح آسایش افراد در ساختمان می‌شود. این قانون در سال ۱۳۷۰ به تصویب هیئت وزیران رسید که اقدامی بنیادی در رسیدن به این هدف بود. برای بهینه‌سازی انرژی ساختمان‌ها می‌توان عملکرد حرارتی ساختمان یا جدارهای آن را بر مبنای شاخص‌های تعیین‌شده در مبحث ۱۹ ارزیابی و بر آن اساس اقدام به پیشنهاد راهکارهای بهینه‌سازی کرد. هرچند روند ارزیابی عملکرد حرارتی ساختمان کار پیچیده‌ای نیست اما برای تشویق هرچه بیشتر مهندسان ساخت و ساز ابنیه به استفاده از مبحث ۱۹، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی این مبحث که محیطی ساده‌تر و جذاب‌تر دارند نیز تدوین شده‌اند (Mahdavinejad et al., 2012, 12). دقت و حساسیت این نرم‌افزارها عامل مهمی در میزان تأثیر راهکارهای ارائه شده برای کاهش مصرف انرژی محسوب می‌شود. در صورت زیاد بودن ضریب خطای نرم‌افزارها، اعمال راهکارهای پیشنهادی نیز به کاهش مصرف انرژی به میزان پیش‌بینی‌شده منتج نمی‌شود و این امر به نافرجامی برنامه‌ریزی‌های ملی برای کاهش مصرف انرژی منجر خواهد شد. در این مطالعه دو نرم‌افزار تهیه شده بر مبنای مبحث ۱۹ بررسی‌شده‌اند تا مشخص شود در چه محدوده‌ای می‌توان برای بهینه‌سازی ابنیه از آنها استفاده کرد.

معرفی نرم‌افزارهای به‌کار رفته در تحقیق

– نرم‌افزار BCS 19

نرم‌افزار BCS 19 در سال ۱۳۸۴ توسط شرکت چکاد تحت عنوان شبیه‌ساز مبحث ۱۹ و به‌منظور کاربری آسان برای بررسی مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان در زمینه صرفه‌جویی مصرف انرژی تولید شد. این نرم‌افزار براساس محاسبه ضرایب انتقال حرارت و توان حرارتی جدارها، عملکرد حرارتی ساختمان را بررسی قرار می‌کند. هدف این نرم‌افزار آن است که کاربر بتواند از طریق وارد کردن ویژگی‌های عناصر ساختمان از قبیل دیوارها، سقف‌ها، و غیره تحت کاربری‌های انتخاب شده، میزان برازش ساختمان بر مقرارت ملی را بسنجد. با این‌حال محاسبات این نرم‌افزار از محدوده مبحث ۱۹ فراتر می‌رود و می‌تواند بار روشنایی، بار ناشی از تجهیزات، بار ناشی از حضور افراد، بار تعویض هوا، بار هدایتی پنجره، بار هدایتی و تشعشعی درب، سقف و دیوار، بار هدایتی کف، و تابش دریافتی از خورشید را برای هر طبقه به‌صورت جداگانه محاسبه و اعلام کند. در مرحله بعد کاربر می‌تواند از طریق بخش بهینه‌سازی و با توجه به پیشنهادهای نرم‌افزار که به دو قسمت توصیه‌های

کلی این مبحث و پیشنهادهای مربوط به عناصر که در بخش «محاسبات» در قسمت بهینه‌سازی قرار دارد، تغییرات لازم (در عایق یا مصالح) را برای بهینه‌سازی در محیط شبیه‌سازی‌شده نرم‌افزار اعمال و نتایج محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار را مشاهده کند. همچنین این نرم‌افزار محاسبات مربوط به هزینه‌های بهینه‌سازی و مدت زمان برگشت سرمایه و همچنین محاسبه بارهای گرمایشی و سرمایشی سالیانه و بار گرمایشی و سرمایشی مربوط به هر ساعت از ماه را نیز ارائه می‌دهد. همچنین امکان ورود اطلاعات جدید (شامل تعریف مصالح جدید، اضافه کردن شهر، تعریف کاربری جدید) در این نرم‌افزار درنظر گرفته شده است. البته در این پژوهش فقط قابلیت‌های این نرم‌افزار در محدوده مبحث ۱۹ مطالعه شده و سایر قابلیت‌های این نرم‌افزار بررسی نشده است.

- نرم‌افزار مبنا ۱۹:

ویرایش اولیه نرم‌افزار مبنا ۱۹ ابتدا در سال ۱۳۸٦ توسط شرکت آمال پویان و سپس با اعمال تغییراتی در سال ۱۳۸۷ توسط شرکت مشاوران بهسازی، نوسازی انرژی (مبنا) برای انجام محاسبات مبحث ۱۹ ارائه شد. در این نرم‌افزار نیز کاربر با وارد کردن ویژگی‌های پروژه شامل موقعیت پروژه، اقلیم، ویژگی‌های فیزیکی و جداره‌های ساختمان، کاربری بنا و بر اساس محاسبات ضرایب انتقال حرارت و توان حرارتی جداره‌ها، میزان برازش ساختمان بر اساس محاسبات مطلوب در مبحث ۱۹ مقرارت ملی را می‌سنجد. در این نرم‌افزار امکان تعریف اطلاعات جدید از قبیل مصالح و... جهت محاسبه عملکرد حرارتی ساختمان وجود دارد. در ویرایش ۱.٤ این نرم‌افزار، مواردی از قبیل امکان ذخیره یک یا چند پروژه در یک فایل، امکان وارد کردن فایل‌های پروژه به نرم‌افزار، امکان افزودن شهرهای جدید، کنترل نوع، محدوده و تناسب داده‌های ورودی، امکان مشاهده ضرایب هدایت حرارتی و توان حرارتی مرجع و طرح و مشخصات جدارها، بانک تصویری مصالح، جدارهای پیش‌فرض برای انواع مختلف عناصر ساختمانی، قابلیت تعیین اینرسی حرارتی ساختمان و جرم سطحی مفید آن به نرم‌افزار اضافه شده است.

روش تحقیق

معمولاً هنگامی‌که قصد بررسی عملکرد یک نرم‌افزار را داشته باشیم، از دو روش بازبینی[1] و اعتبارسنجی[2] (V & V) برای آزمایش نرم‌افزار استفاده می‌کنیم. بازبینی به مجموعه فعالیت‌هایی اشاره دارد که اطمینان می‌دهند نرم‌افزار یک تابع خاص را به‌درستی پیاده‌سازی می‌کند. ولی اعتبارسنجی به مجموعه‌ای متفاوت از فعالیت‌ها اشاره دارد که اطمینان می‌دهند نرم‌افزار ایجاد شده منطبق با نیازهای مشتری است. در واقع در بازبینی سعی داریم به این نکته پاسخ دهیم که «آیا محصول را درست ایجاد می‌کنیم؟» و در اعتبارسنجی این سؤال پیش روی ما است که «آیا محصول درستی را ایجاد می‌کنیم؟» (مقدسی، ۱۳۸۹). در این پژوهش هر دو روش بازبینی و اعتبارسنجی برای آزمایش نرم‌افزارها مدنظر قرار گرفته است. در اعتبارسنجی نرم‌افزارها از روش جعبه سیاه و تکنیک ALAC بهره گرفته‌ایم. بازبینی نرم‌افزارها نیز با استفاده از روش تحلیل ایستای مجرد انجام شده است که جزئیات تحلیل و نتایج آن در پی می‌آید.

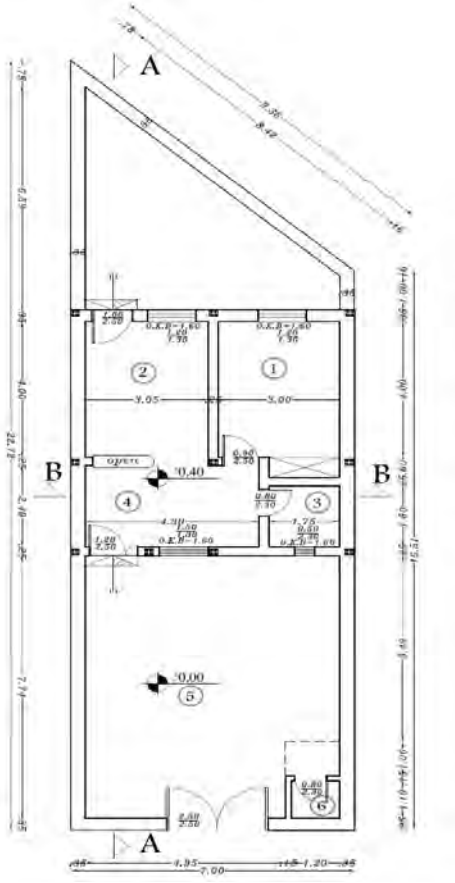
اعتبارسنجی نرم‌افزارها

اعتبارسنجی نرم‌افزارها معمولاً به دو روش جعبه سفید یا جعبه سیاه انجام می‌شود. روش جعبه سفید (یا جعبه شیشه‌ای) با تحلیل کدنویسی‌های نرم‌افزار سعی در یافتن ایرادات ماژول‌ها یا الگوریتم داده‌ها دارد. این روش بیشتر توسط مهندس نرم‌افزار و در مرحله برنامه‌نویسی انجام می‌شود. در مقابل، روش جعبه سیاه (یا عملگرا) زمانی انجام می‌شود که نرم‌افزار به محیط تجاری عرضه شده

است. در این مرحله معمولاً امکان دسترسی به منبع کدنویسی نرم‌افزار وجود ندارد و مبنای کار فقط فایل اجرایی نرم‌افزار است. در روش جعبه سیاه سعی در یافتن خطاهایی در دسته‌بندی زیر داریم: ۱) توابع غلط یا حذف‌شده، ۲) خطاهای رابطه، ۳) خطا در ساختمان داده‌ها یا دسترسی به بانک اطلاعات خارجی، ٤) خطاهای رفتاری یا کارایی و ٥) خطاهای آماده‌سازی و اختتامیه (مقدسی، ۱۳۸۹). باتوجه به اینکه نرم‌افزارهای مبنا و BCS 19 مدت زمان زیادی است که به بازار عرضه شده‌اند، برای اعتبارسنجی آنها از روش جعبه سیاه استفاده شد. همچنین تکنیک عمل به مثابه مشتری یا ALAC[۲] برای آزمایش نرم‌افزارها انتخاب شد. در این تکنیک پژوهشگران خود را به‌عنوان مشتریان فرضی نرم‌افزار قلمداد می‌کنند و با طی کردن مسیری مشابه سایر کاربران سعی در یافتن ایرادات موجود در نرم‌افزار را دارند (Rakitin, 2001, 141). در این پژوهش یک نمونه کوچک ساختمان مسکونی در اقلیم سرد و خشک انتخاب شد و عملکرد حرارتی آن ابتدا به‌وسیله هر یک از نرم‌افزارها و سپس با محاسبات دستی بررسی گردیدند. سپس تمامی نتایج با یکدیگر مقایسه شدند و دلایل وجود اختلاف بین آنها تحلیل شد.

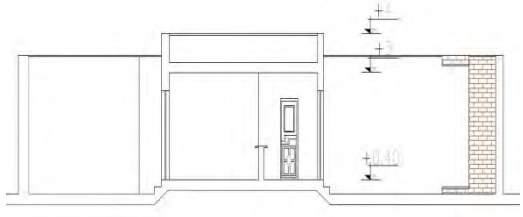
– معرفی نمونه مورد مطالعه

نمونه مورد مطالعه در این مقاله، ساختمانی واقع در شهر بروجرد (اقلیم سرد و نیمه‌خشک) است. در ادامه نقشه‌های این ساختمان شامل پلان، نما و برش‌ها در شکل‌های ۱، ۲ و۳ ارائه شده‌اند. همچنین جدول اطلاعات جزئیات جدارها و اطلاعات کلی ساختمان (مساحت کل، مساحت مفید و حجم مفید) در جداول شماره ۱ و۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. پلان

منبع: نگارندگان



شکل ۲. برش A-A

منبع: نگارندگان

شکل ۳. نمای جنوبی

منبع: نگارندگان

جدول ۱. مشخصات مصالح جدارهای ساختمان

عنصر ساختمانی	مشخصات جدار
سقف شماره ۱ (بام نهایی)	آسفالت خالص با ضخامت ۵ سانتی‌متر، مقوارهای نمدی و پوشش‌های نرم آغشته با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر، بتن معمولی با ضخامت ٤ سانتی‌متر، تیرچه بلوک با ضخامت ۳۵ سانتی‌متر، گچ و خاک با ضخامت ۲ سانتی‌متر، گچ اندود داخلی با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر
کف شماره ۱ (کف روی خاک)	موزاییک با ضخامت ۳ سانتی‌متر، بتن با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر روی زمین
دیوار شماره ۱ و ۲ (دیوار جنوبی مجاور نشیمن و دیوار شمالی مجاور خواب)	گچ اندود داخلی با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر، گچ و خاک با ضخامت ۲ سانتی‌متر، سفال با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر، ملات ماسه سیمان با ضخامت ۲ سانتی‌متر، سنگهای سرد (مرمر) با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر در جهت شمالی
دیوار شماره ۳ و ٤ (دیوار شرقی مجاور نشیمن و غربی مجاور خواب)	گچ اندود داخلی با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر، گچ و خاک با ضخامت ۲ سانتی‌متر، سفال با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر، ملات ماسه سیمان با ضخامت ۲ سانتی‌متر در جهت شرقی
دیوار شماره ۵ (دیوار بین دو اتاق)	گچ اندود داخلی با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر، گچ و خاک با ضخامت ۲ سانتی‌متر، سفال با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر، گچ و خاک با ضخامت ۲ سانتی‌متر -گچ اندود داخلی با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر در جهت داخلی
دیوار شماره ٦ (دیوارهای مجاور حمام)	گچ اندود داخلی با ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر -گچ و خاک با ضخامت ۲ سانتی‌متر -سفال با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر، مقوارهای نمدی و پوشش‌های نرم آغشته با ضخامت ۰٫۵ سانتی‌متر، ملات ماسه سیمان با ضخامت ۲ سانتی‌متر، کاشی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در جهت داخلی
در شماره ۱ و ۲ (ورودی شمالی و جنوبی)	در فلزی با شیشه خور ۳۰ تا ٦۰ درصد با ضخامت ٤ سانتی‌متر در جهت جنوب
در شماره ۳ (درب حمام)	آلومینیم با ضخامت ٤ سانتی‌متر در جهت داخلی
در شماره ٤ (داخلی)	در چوبی با شیشه خور ۳۰ تا ٦۰ درصد با ضخامت ٤ سانتی‌متر در جهت داخلی
پنجره شماره ۱ و ۲	ساده، دارای قاب آهنی با پرده داخلی در جهت شمالی

منبع: نگارندگان

جدول ۲. اطلاعات کلی ساختمان

مساحت کل ساختمان(M^2)	مساحت مفید ساختمان(M^2)	حجم مفید ساختمان(M^3)
٤١,٩٥	٣٧,٦٩	١١٣,٠٧

منبع: نگارندگان

- محاسبات دستی براساس مقررات مبحث ۱۹

در ابتدا محاسبات مربوط به انتقال حرارتی در تمامی جدارها و توان حرارتی بنا به‌صورت دستی انجام شد. روند و مرجع تمامی اعداد به‌کار برده شده برای محاسبه، روش کارکردی ویرایش سوم مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بوده است (شورای تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹). در گام‌های بعدی داده‌هایی در فرآیند محاسبه تأثیرگذار هستند را دسته‌بندی و آنها را با یکدیگر مقایسه کرده‌ایم تا مشخص شود خطا در فرآیند محاسبه توسط نرم‌افزارها در کدام قسمت روی می‌دهد.

مقایسه داده‌های مربوط به مساحت‌ها

در فرآیند انجام محاسبات مساحت خالص هر جدار محاسبه گردید و سپس اعداد به‌دست آمده جهت انجام محاسبه عیناً به نرم‌افزارها نیز منتقل شد. به‌صورت کلی مساحت‌هایی که مبنای محاسبه در هر سه روش قرار گرفته است مشابه هستند به استثنای کف شماره ۱، طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان در انجام محاسبات در مورد کف مجاور خاک، محیط آن مبنای انجام محاسبات قرار می‌گیرد (شورای تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹)؛ اما در نرم‌افزار مبنا گزینه‌ای جهت وارد کردن محیط کف مجاور خاک وجود ندارد و نرم‌افزار مساحت کف مجاور خاک را مبنای محاسبه قرار می‌دهد به این ترتیب عددی که مبنای محاسبه ضریب انتقال حرارت کف در نرم‌افزار مبنا قرار گرفت ۳۷,٦۹ بود، این درحالی است که همین عدد در نرم‌افزار (BCS19) و محاسبات دستی ۲۷,۱۲ است. این تفاوت همان‌طور که در شکل ٥ نشان داده شده، باعث ایجاد اختلاف در محاسبه ضرایب انتقال حرارتی در کف می‌شود و این امر باعث خطا در محاسبه توان حرارتی کل ساختمان می‌گردد.

مقایسه داده‌های مربوط به ضرایب کاهش به‌کار رفته برای جدارها

ضریب کاهش مبین اختلاف دمای فضای کنترل شده و کنترل نشده نسبت به اختلاف دمای فضای کنترل شده و هوای آزاد است. این اختلاف دما سبب می‌شود تا انتقال حرارت از جدارهای مجاور فضای کنترل نشده کمتر از مقدار انتقال حرارت از جدارهای مجاور خارج باشد. در نتیجه، لازم است این کاهش اختلاف دما با استفاده از یک ضریب کاهش در محاسبات لحاظ شود. به‌همین علت در خصوص جدارهای در تماس با فضاهای کنترل نشده باید بحث ضریب کاهش و تأثیر آن در محاسبه توان حرارتی در نظر گرفته شود (محمد کاری و همکاران، ۱۳۸٥). همان‌طور که از جدول ۳ پیدا است طبق محاسبات دستی و شرایط موجود، کف شماره ۱، دیوارهای شماره ۳ و ٤ و ٦، در شماره ۳ شامل این ضریب کاهش می‌شوند. نرم‌افزار BCS19 این ضرایب کاهش را به استثنای دیوار شماره ۳ اعمال کرده است. در این نرم‌افزار به‌صورت کلی درها و پنجره‌هایی که مجاور فضای کنترل نشده قرار می‌گیرند با اینکه طبق فرآیند محاسبه توسط نرم‌افزار تعیین می‌شود که کدام‌یک از درها یا پنجره‌ها مجاور فضای کنترل نشده است، اما این ضریب کاهش در محاسبه توان حرارتی این عناصر در نظر گرفته نمی‌شود؛ لذا محاسبه ضریب انتقال حرارتی

جدار به‌طور دقیق محاسبه نخواهد شد. در نرم‌افزار مبنا همان‌گونه که از جدول ۳ پیدا است علی‌رغم معین کردن عناصر مجاور فضای کنترل نشده هیچ‌گونه ضریب کاهشی برای محاسبه توان حرارتی این عناصر در نظر گرفته نشده است که این مسئله باعث ایجاد خطا در محاسبه توان حرارتی جدارهایی می‌گردد که شامل این ضریب کاهش هستند و در نهایت این امر به‌خصوص در محاسبات با مقیاس بزرگتر موجب ایجاد خطا در محاسبه توان حرارتی کل می‌شود.

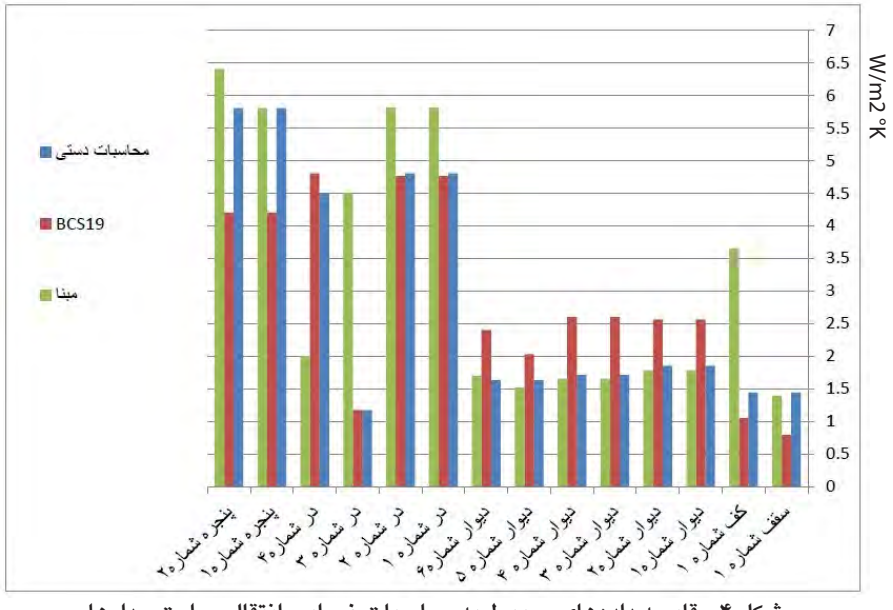
جدول ۳. مقایسه ضرایب کاهش اعمال شده برای محاسبه ضرایب انتقال حرارت

	کف شماره ۱	دیوار شماره ۳	دیوار شماره ٤	دیوار شماره ٦	در شماره ۳
محاسبات دستی	۰,٤۸	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,۵۹	۰,۵۹
محاسبات مبنا	۱	۱	۱	۱	۱
محاسباتBCS19	۰,٤۸	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,٤۲	1

منبع: نگارندگان

مقایسه داده‌های مربوط به محاسبات ضرایب انتقال حرارت جدارها

همان‌گونه که از محاسبات حاصل از هر سه روش بر روی شکل ٤ مشاهده می‌شود، داده‌های حاصل مشابه نیستند. این اختلاف در مقدار داده‌های به‌دست آمده بیشتر ریشه در عدم مطابقت داده‌های مربوط به ضرایب انتقال حرارت عناصر تعریف شده در پایگاه داده‌های نرم‌افزارها با داده‌های مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان دارد که این عدم تطبیق در نرم‌افزار BCS19 بیشتر دیده می‌شود. البته در هر دو نرم‌افزار امکان تعریف مصالح جدید و وارد کردن ضرایب انتقال حرارت آنها به‌صورت دستی وجود دارد که می‌تواند به حل این مشکل کمک کند. اما به هر حال عدم تطبیق داده‌های موجود در پایگاه داده‌های این نرم‌افزارها با داده‌های مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان خود ضعف بزرگی است که نتیجه آن دورکردن نتایج محاسبات از واقعیت است که این امر خود به اتخاذ تصمیمات نادرست منجر می‌شود.

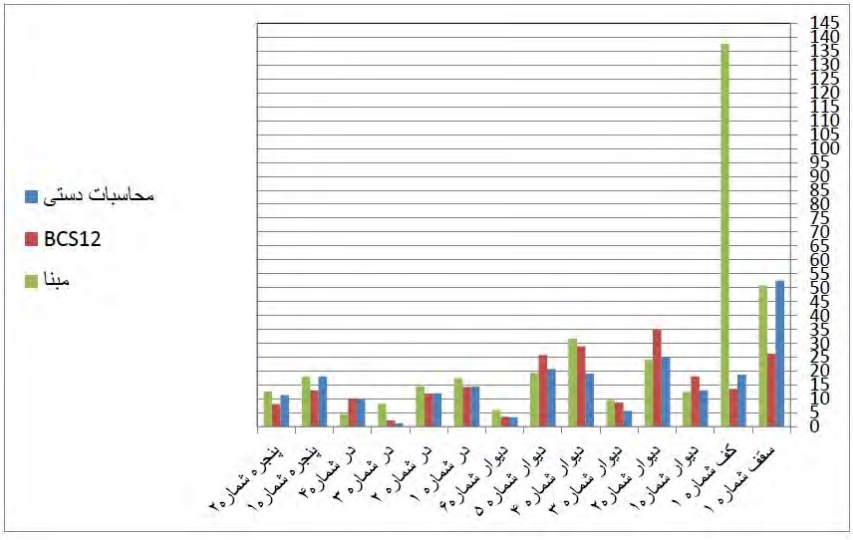


شکل ۴. مقایسه داده‌های مربوط به محاسبات ضرایب انتقال حرارت جدارها

منبع: نگارندگان

مقایسه داده‌های مربوط به محاسبه توان انتقال حرارتی عناصر

در این قسمت و بر روی شکل ۵ به مقایسه توان حرارتی محاسبه شده توسط سه روش می‌پردازیم. عواملی که در فرآیند محاسبه توان حرارتی یک جدار تأثیر دارد شامل مساحت جدار، ضریب کاهش در نظر گرفته برای جدار، ضریب انتقال حرارت سطحی یا خطی جدار است. همان‌طور که در شکل‌های قبل دیده شد، تفاوت‌هایی در داده‌های این عوامل وجود داشت و در این قسمت امری بدیهی و اجتناب‌ناپذیر است که داده‌های به‌دست آمده برای توان حرارتی جدارها توسط سه روش تفاوت‌هایی با یکدیگر داشته باشند. البته در این بین تفاوت داده‌های محاسبه شده توسط نرم‌افزار مبنا با داده‌هایی که به‌صورت دستی به‌دست آمده بیشتر است و این نشان از خطای بیشتر این نرم‌افزار دارد.



شکل ۵. مقایسه داده‌های مربوط به محاسبه توان انتقال حرارتی عناصر

منبع: نگارندگان

همچنین در محاسبات نرم‌افزار BCS19 نتیجه محاسبه در بعضی از نقاط جدول نمایش داده نمی‌شوند و اعدادی که در جدول نمایش داده نمی‌شوند در محاسبه توان حرارتی کل تأثیر داده نمی‌شوند که این امر خطای زیادی را موجب می‌شود. به‌طور مثال همان‌طور که در شکل ٦ نشان داده شده است، در مورد دیوار شماره ۳ ضریب انتقال حرارتی و توان حرارتی مرجع آن در جدول دیده نمی‌شود و مورد محاسبه قرار نگرفته است و این خود بر روی عدد نهایی توان حرارتی کل مرجع تأثیر می‌گذارد. همچنین این خطا در مورد دیوار شماره ٤ و ٦ نیز وجود دارد.

موقعیت	مشخصات جدار (عنصر)	توضیحات	عایق حرارتی (پیشنهادی)				مساحت	کد وضعیت	ضریب کاهش		ضریب انتقال حرارتی (سطحی یا خطی)			توان حرارتی		
			نوع عایق حرارتی	ضخامت	ضریب هدایت حرارتی	قیمت مصالح - اجرا			قبل از بهینه سازی	بعد از بهینه سازی	قبل از بهینه سازی	بعد از بهینه سازی	مرجع	قبل از بهینه سازی	بعد از بهینه سازی	مرجع
				(mm)	(W/m.K)	(Rials/m²)	(m²)	همجواری			(W/m²K)			(W/K)		
شرقی	دیوار شماره ۳	ساختمان ویلایی					5.8	be	0.58	0.58	2.597	2.597		8.7	8.7	

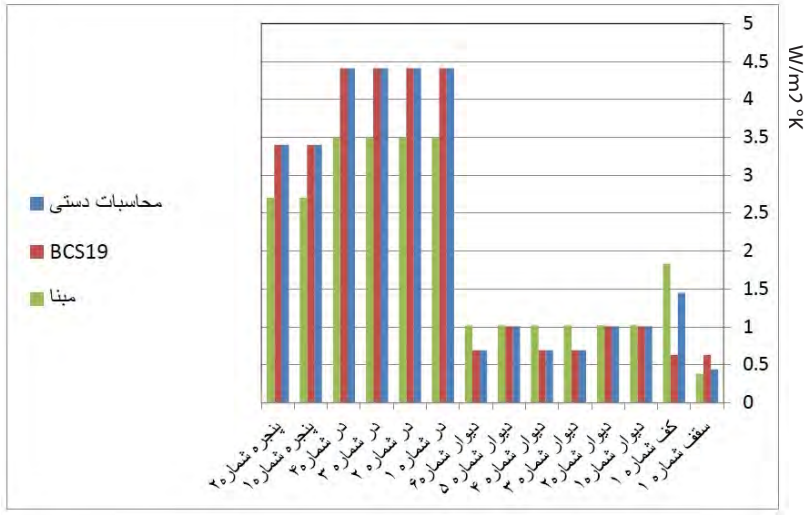
شکل ۶. عدم محاسبه و نمایش بعضی از داده‌ها در جدول نتایج محاسبات نرم‌افزار BCS19

منبع: نگارندگان

قسمت دیگری از عوامل خطای محاسبه در این نرم‌افزارها به گردکردن و تقریبی حساب کردن اعداد برمی‌گردد که این موضوع بیشتر در نرم‌افزار مبنا نمود دارد. این موضوع مخصوصاً برای محاسبات با مقیاس وسیع‌تر خطاهای به‌مراتب بیشتری را در محاسبات به‌وجود می‌آورد که در عدد نهایی تأثیر می‌گذارد و تصمیمات ما را برای طراحی صحیح جدارها و بهینه‌سازی تحت‌الشعاع قرار می‌دهد.

مقایسه داده‌های مربوط به ضرایب انتقال حرارت مرجع

در شکل ۷ به مقایسه ضرایب انتقال حرارتی مرجع به‌کار برده شده توسط هر سه روش می‌پردازیم. این ضرایب توسط مبحث ۱۹ مقرارت ملی ساختمان تعیین شده (شورای تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹) است؛ ولی با این حال شاهد تفاوت‌هایی در این بخش نیز هستیم که نشانگر اشکال پایگاه داده این نرم‌افزارها است. البته این خطا در نرم‌افزار BCS19 کمتر دیده می‌شود. این اختلاف عددی در بین داده‌های مربوط به ضرایب انتقال حرارت مرجع موجب ایجاد خطا در محاسبه توان حرارتی مرجع جدارها می‌شود و باعث می‌شود نتوانیم مقایسه صحیح و واقع‌بینانه‌ای بین توان حرارتی کل طرح و توان حرارتی کل مرجع داشته باشیم. همچنین از آنجا که مانند ضرایب انتقال حرارت مصالح نمی‌توان ضریب انتقال حرارت مرجع برای عناصر مختلف را در این نرم‌افزارها تعیین کرد این امر مشکلی جدی برای این نرم‌افزارها به‌حساب می‌آید، چراکه محاسبات را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد.



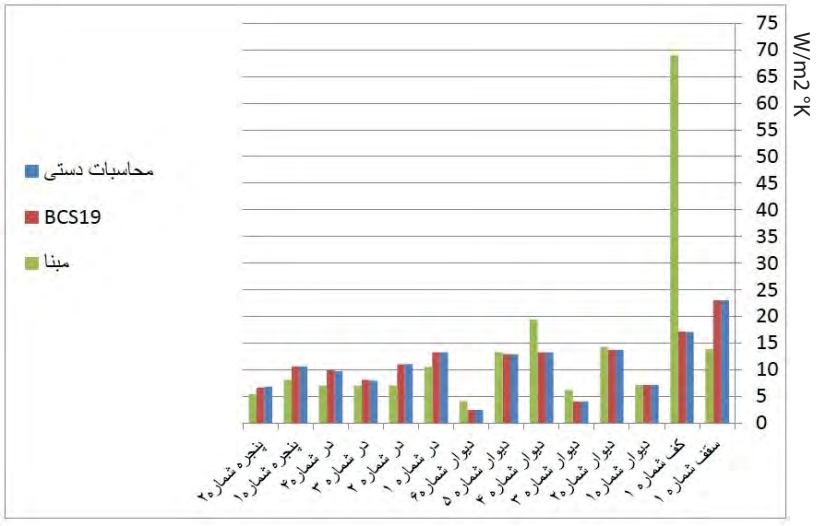
شکل ۷. مقایسه داده‌های مربوط به ضرایب انتقال حرارت مرجع

منبع: نگارندگان

مقایسه داده‌های مربوط به توان حرارتی مرجع جدارها

شکل ۸ داده‌های حاصل از محاسبه توان حرارتی مرجع برای جدارهای مختلف را نشان می‌دهد. در محاسبه توان حرارتی مرجع دو عامل مساحت سطح و ضریب انتقال حرارتی سطحی یا خطی مرجع سطح مورد نظر تأثیر دارند. همان‌گونه که در بخش مقایسه مساحت‌ها بررسی شد، مساحت‌های به‌کار گرفته شده در هر سه روش به‌جز کف شماره ۱ مشابه بودند؛ بنابراین تفاوتی که در شکل بین داده‌های به‌دست آمده برای توان حرارتی مرجع ایجاد شده، بیشتر به تفاوت در

ضرایب انتقال حرارت مرجع به‌کار گرفته شده توسط هر روش برمی‌گردد. همان‌طور که در شکل پیدا است از آنجا که ضرایب انتقال حرارتی مرجع به‌کار گرفته شده توسط نرم‌افزار BCS 19 مشابه ضرایب انتقال حرات مرجع به‌کار گرفته شده در روش محاسبه دستی است، تفاوت چندانی در عدد نهایی مربوط توان حرارتی مرجع برای هر عنصر وجود نداد.



شکل ۸. مقایسه داده‌های مربوط به توان حرارتی مرجع جدارها

منبع: نگارندگان

همان‌طور که در جدول ٤ دیده می‌شود خطاهای موجود در مراحل مختلف محاسبه موجب شده تا عدد نهایی محاسبه شده توسط نرم‌افزارها با عدد نهایی محاسبات دستی فاصله داشته باشد. به‌نحوی که برای توان حرارتی کل محاسبه شده در نرم‌افزار مبنا w/k ۱٤۱ و در نرم‌افزار BCS 19، w/k ۹.۳ خطا وجود دارد. این تفاوت در مورد محاسبات انجام شده توسط نرم‌افزار مبنا معنادارتر است. از آنجا که این میزان خطا در ساختمانی با مساحت مفید فقط ۳۸ متر اتفاق افتاده، می‌توان نتیجه گرفت که در محاسبات کلان‌تر و برای ساختمان‌های دارای زیربنای بیشتر، این خطا به‌صورت تصاعدی افزایش خواهد یافت تا حدی که اصل معنا و مفهوم انجام این محاسبات را کاملاً تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و موجب ارائه راهکارهای اشتباه در این زمینه می‌شود.

جدول ۴. نتایج محاسبات نهایی

توان حرارتی کل (w/k)			توان حرارتی کل مرجع (w/k)		
محاسبه دستی	BCS19	مبنا	محاسبه دستی	BCS19	مبنا
225.3	216	366.3	152.6	136	180.3

منبع: نگارندگان

بازبینی نرم‌افزارها با استفاده از روش تحلیلی

در بازبینی نرم‌افزارها از تحلیل ایستای مجرد[٤] استفاده شده است. این تحلیل، مجموعه تکنیک‌هایی را برای تعیین رفتار یک نرم‌افزار بدون اجرای آن شامل می‌شود و موارد زیر را دربرمی‌گیرد: ۱) طرح کلی و شناخت واژگان فنی، ۲) تحلیل انتزاعی، ۳) دامنه عددی مطلق، ٤) تحلیل شکلیریال ابزارهای تحلیل ایستا و ٥) نقاط قوت و ضعف آن (D'Silva, etc.; 2008). نتایج بررسی تحلیلی دو نرم‌افزار مبنا و BCS 19 را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد:

- نداشتن رابط گرافیکی با کاربر

در هر دو نرم‌افزار بررسی‌شده، اعداد و ارقام مربوط به مساحت اجزای ساختمانی اعم از دیوارها، سقف‌ها، پنجره‌ها و... باید به‌صورت دستی محاسبه و در نرم‌افزار وارد شوند. این شیوه ورود اطلاعات علاوه بر زمان‌بر بودن، احتمال ایجاد خطاهای فردی در محاسبات را افزایش می‌دهد. باتوجه به پیشرفت نرم‌افزارهای سه‌بعدی‌سازی و گسترش استفاده از آنها در جامعه معماری، استفاده از مدل سه‌بعدی ساختمان برای ورود اطلاعات می‌تواند به ترغیب بیشتر جامعه معماری به استفاده از این نرم‌افزارها، افزایش سرعت محاسبات و کاهش خطاهای محاسباتی کمک شایان توجهی کند.

- ضعف در لایه‌بندی نقاط اتصالات جدار (لحاظ نکردن تأثیر پل‌های حرارتی)

هر دو نرم‌افزار بررسی شده، مصالح به‌کار رفته از ابتدا تا انتهای جدار را دارای ضخامتی یکسان فرض کرده‌اند؛ درحالی‌که در محیط واقعی اجرا معمولاً این اتفاق رخ نمی‌دهد و به‌خصوص در محل اتصالات (اعم از اتصال دیوارهای خارجی به بام نهایی، سقف طبقات و کف روی خاک؛ اتصال اجزای سازه‌ای تیرها و ستون‌ها به جدارها؛ اتصال دیوارهای داخلی به دیوارهای خارجی؛ درزهای انبساط و انقطاع؛ و محل نورگیرها و بازشوهای موجود در جدار) احتمال بروز انقطاع یا تغییر ضخامت موضعی در مصالح (به‌خصوص عایق‌کاری حرارتی) وجود دارد. لذا برای اطمینان از عدم وجود پل‌های حرارتی، باید امکان مدل‌سازی دقیق‌تر و جزئی‌تر در این بخش‌های جدار فراهم باشد. ضمن این‌که در هیچ‌یک از نرم‌افزارهای بررسی‌شده امکان ورود اطلاعات مربوط به طول پل‌های حرارتی وجود ندارد، درحالی‌که لزوم بررسی این موضوع و روش‌های محاسبه آن به‌صراحت در پیوست‌های مبحث ۱۹ و سایر مراجع معتبر (ریاضی، ۱۳۸۵) ذکر شده است.

- به‌روز نبودن داده‌های حرارتی مصالح

با بررسی داده‌های مربوط به ضرایب هدایت حرارت مصالح موجود در هر دو نرم‌افزار و مقایسه مقادیر آنها با اعداد موجود در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، موارد متعددی از عدم هماهنگی مشاهده شد. اگرچه امکان ورود داده‌های صحیح در هر دو نرم‌افزار وجود دارد ولی عدم هماهنگی بانک اطلاعاتی اولیه نرم‌افزارها با مقادیر استاندارد می‌تواند به اختلاف در نتایج منجر شود.

- درنظر نگرفتن ضریب تصحیح انتقال حرارت مرجع (ضریب ۷)

با توجه به اینکه مبحث ۱۹ برای ساختمان‌هایی با شرایط خاص دریافت و ذخیره تابش خورشیدی، تخفیف‌هایی را برای میزان ضریب انتقال حرارت مرجع قائل شده است، نرم‌افزار باید مواردی نظیر زاویه متوسط رؤیت موانع اطراف ساختمان و ضریب انتقال حرارت شیشه پنجره‌ها را نیز در کنار مساحت و موقعیت سطوح نورگذر، حجم فضای کنترل‌شده، وزن مخصوص خشک مصالح و جرم سطحی مؤثر جدارهای داخلی در اختیار داشته باشد تا بتواند با درنظر گرفتن شاخص خورشیدی و گروه اینرسی ساختمان، ضریب ۷ را نیز در محاسبات حرارتی ساختمان لحاظ کند (شورای تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹). البته لازم به ذکر است که این ایراد در ویرایش ۱.٤ نرم‌افزار مبنا برطرف شده ولی در نرم‌افزار BCS 19 همچنان باقی است.

ضمناً نرم‌افزار BCS 19 به این نکته اهمیتی نمی‌دهد که عایق در کدام قسمت از جدار (سمت داخلی یا سمت بیرونی آن) قرار می‌گیرد. محل قرارگیری عایق اگرچه بر روی میزان انتقال حرارت

جدار بی‌تأثیر است، اما بر موارد دیگری از جمله محل بروز میعان در جدار ساختمانی، تعیین گروه اینرسی حرارتی ساختمان و از همه مهم‌تر مشخص شدن نقاط انقطاع در عایق‌کاری حرارتی اثرگذار خواهد بود. در واقع صرف دانستن این‌که چه مصالحی و با چه ضخامت‌هایی در جدار وجود دارد برای بررسی عملکرد حرارتی آن کفایت نمی‌کند.

- عدم پیشنهاد ابعاد مناسب برای سایبان

در پیوست ۱۰ مبحث ۱۹، فهرست نسبتاً جامعی از سایبان‌های مناسب برای شهرهای مختلف کشور پیشنهاد شده است (شورای تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹). اگرچه این مبحث وجود سایبان را به عنوان یک الزام مطرح نکرده، ولی بهتر است نرم‌افزار هم بتواند با توجه به عرض و ارتفاع پنجره، ابعاد مناسب سایبان‌های عمودی و افقی را برای آن پیشنهاد دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از انجام محاسبات تعیین توان حرارتی ساختمان مورد مطالعه توسط دو نرم‌افزار مبنا و BCS 19 و همچنین محاسبات دستی، نشانگر وجود اختلاف بین اعداد نهایی به‌دست آمده برای توان حرارتی کل طرح و توان حرارتی مرجع بین محاسبات دستی و محاسبات نرم‌افزاری است. میزان این اختلاف در نرم‌افزار مبنا بیشتر بود. از طرف دیگر باید توجه کرد که اختلاف بین توان حرارتی کل طرح و توان حرارتی مرجع است که تعیین می‌کند ساختمان مورد مطالعه ما جهت بهینه‌سازی به چه مقدار کاهش توان حرارتی نیاز دارد تا برآن اساس راهکارهایی به‌منظور این کاهش ارائه شود. هر چه این اختلاف بیشتر باشد راهکارهای به‌کار گرفته شده سخت‌گیرانه‌تر و با هزینه مالی و انسانی بیشتری همراه خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود اختلاف بین توان حرارتی کل طرح و توان حرارتی مرجع در انجام محاسبات دستی و محاسبات نرم‌افزار BCS19 نزدیک به‌هم هستند و در نتیجه راهکارهای منتج از محاسبات توسط هر دو روش به‌منظور بهینه‌سازی نیز تا حدودی شبیه به هم خواهند بود. اما در نرم‌افزار مبنا این اختلاف نزدیک به ۲.۵ برابر محاسبات دستی است، به‌گونه‌ای که موجب اتخاذ راهکارهایی کاملاً متفاوت جهت بهینه‌سازی نسبت به راهکارهای ارائه شده توسط نرم‌افزار BCS19 و محاسبات دستی می‌شود. این امر در بهترین حالت موجب صرف هزینه‌های مالی تهیه مصالح مازاد بر نیاز ساختمان و هزینه‌های انسانی نصب آنها می‌شود. از طرف دیگر ممکن است بر اساس این محاسبات اشتباه، راهکارهایی ارائه شود که در بهینه‌سازی حرارتی ساختمان نتیجه عکس داشته باشد و باعث افزایش بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان شود.

جدول ۵. اختلاف توان حرارتی کل و توان حرارتی کل مرجع ساختمان

روش محاسبه	اختلاف توان حرارتی کل و توان حرارتی کل مرجع ساختمان
محاسبات دستی	72.7
BCS19	80
مبنا	186

منبع: نگارندگان

از این‌رو نظارت دقیق‌تر و حساسیت بیشتر در مورد طراحی و ارائه نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان به‌عنوان تنها مرجع رسمی محاسبات انتقال حرارت در ساختمان امری ضروری است که در صورت توجه نکردن به آن موجب ارائه راهکارهایی نامناسب و افزایش هزینه‌های بهینه‌سازی ساختمان خواهد شد. همچنین در ادامه راهکارهایی برای تصحیح و استفاده درست از این نرم‌افزارها به‌منظور کاهش مصرف انرژی در ابنیه ارائه می‌شود:

۱. بازبینی سیستم محاسباتی نرم‌افزارها به‌منظور کاهش خطا در محاسبه
۲. در نظرگرفتن قسمتی در نرم‌افزار مبنا تا بتوان محیط کف مجاور خاک را به‌جای مساحت آن به‌عنوان مبنای محاسبه برای توان حرارتی کف مجاور خاک وارد کرد.
۳. در نرم‌افزار مبنا برای جدارهای مجاور فضای کنترل نشده ضریب کاهشی در نظر گرفته نمی‌شود که باید نسبت به رفع این مشکل اقدام شود.
٤. بازبینی پایگاه داده‌های هر دو نرم‌افزار جهت مطابقت ضرایب انتقال حرارت عناصر مختلف در آنها با ضرایب انتقال حرارت همین عناصر در مبحث ۱۹ مقرارت ملی ساختمان
٥. بازبینی پایگاه داده‌های هر دو نرم‌افزار به‌خصوص نرم‌افزار مبنا جهت اصلاح و مطابقت داده‌های مربوط به ضرایب انتقال حرارت مرجع با ضرایب انتقال حرارت مرجع موجود در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان
٦. طبق شکل ٤ در نرم‌افزار BCS19 محاسبات انتقال حرارت مرجع برای برخی جدارها انجام نمی‌شود و جدول مقابل آنها خالی است لذا با بازبینی این نرم‌افزار باید نسبت به حل این مشکل اقدام شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Verification
2. Validation
3. Act-like-a-customer
4. Abstract Static Analysis

فهرست منابع

- دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۸۹) *ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹*، وزارت نیرو.
- ریاضی، جمشید (۱۳۸۵) *اصول محاسبه انتقال حرارت در اجزای ساختمانی*، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت راه وشهرسازی، تهران، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- شرکت آمال پویان (۱۳۹۲) *راهنمای نرم‌افزار مبنا*، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.
- شرکت چکاد (۱۳۹۲) *راهنمای نرم‌افزار BCS19*. شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.
- شورای تدوین مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۹) مبحث *نوزدهم صرفه‌جویی مصرف انرژی*، ویرایش سوم، وزارت مسکن و شهرسازی، چ. اول، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.
- محمدکاری، بهروز؛ بختیاری، سعید؛ رضایی حریری، محمدتقی؛ خدابنده، ناهید؛ طهماسبی، فرهنگ؛ فیاض، ریما؛ ویسه، سهراب و هدایتی، جعفر (۱۳۸۵) *اصول و روش‌های عایق‌کاری حرارتی براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان صرفه‌جویی در مصرف انرژی*، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت راه و شهرسازی، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد (۱۳۹۲) «الگوی انرژی دوستی در ساختمان بر اساس رفتار حرارتی بام»، *نقش جهان*، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، ۳ (۲)، صص ۳۵-۴۲.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد؛ بمانیان، محمدرضا و مطور، سها (۱۳۹۱) «الگوی انرژی دوستی در ساختمان بر اساس رفتار حرارتی بام»، *هنرهای زیبا معماری و شهرسازی*، تابستان ۱۳۹۱، ۱۷ (٤)، صص ٤١-٤٨.
- مقدسی، علی‌رضا (۱۳۸۹) «تکنیک‌های تست نرم‌افزار»، *ماهنامه عصر فناوری اطلاعات*، شماره ٥٦، صص: ۷۲-۷۹.

- D'Silva, Vijay; Kroening, Daniel & Weissenbacher, Georg (2008) "A Survey of Automated Techniques for Formal Software Verification," *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol. 27, No. 7, pp. 1165-1178.
- Rakitin, Steven R. (2001) *Software Verification and Validation for Practitioners and Managers*, 2nd Edition, Artech House Inc. Norwood, MA.
- Mahdavinejad, Mohammadjavad; Matoor, Soha & Fayaz, Rima (2012) "Vertical Illuminance Measurement for Clear Skies in Tehran," *Armanshahr Architecture and Urban Development*, 4 (8), pp. 11-19.