

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد

(نمونه موردی: شهر اردبیل)^۱

فاطمه هاشمی^۲

شاهین حیدری

استادیار دانشکده معماری پردیس هنرهای زیبای دانشگاه تهران

کلیدواژه‌گان: ساختمان مسکونی، طراحی پلان، چرخه خورشیدی، بار گرمایشی، بار سرمایشی، نرم‌افزار اکوتکت.

چکیده

صرفه‌جویی در مصرف انرژی مبحث جدیدی در سطح جهانی نیست. اما در ایران به‌خصوص در بخش ساختمان اهمیت موضوع به تازگی روشن شده و اقداماتی اولیه در این راستا آغاز شده است. میانگین مصرف انرژی در ساختمان‌های ایران به ازای هر متر مربع حدود ۳۱۰ کیلووات ساعت در سال و ۲/۵ برابر مصرف کشورهای اروپایی (۱۲۰ کیلووات ساعت به ازای هر متر مربع) در شرایط مشابه است. از آنجا که ۷۰٪ از ساختمان‌ها کاربری‌شان مسکونی است، بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش به‌ویژه در مرحله طراحی ضروری است. در طراحی ساختمان - که بر عهده معمار است - کاهش مصرف انرژی با جانمایی فضاها در پلان بر اساس تطبیق الگوی اشغال فضا و چرخه خورشیدی، انتخاب پوسته مناسب با اقلیم، ابعاد و انواع بازشو، و در نهایت استفاده از شیوه‌های مناسب برای جایگزین کردن انرژی‌های تجدیدپذیر به جای انرژی‌های تجدیدناپذیر حاصل می‌شود. در پژوهش حاضر تأثیر بازنگری در طراحی معماری ساختمان‌های مسکونی شهر اردبیل بر اساس چرخه خورشیدی بر بار حرارتی

خانه محاسبه شده است. این محاسبات با شبیه‌سازی در نرم‌افزار محاسبات انرژی^۳ انجام پذیرفته است. خروجی شبیه‌سازی کامپیوتری، بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز خانه در طول یک سال است. به وسیله محاسبات انرژی به‌دست‌آمده می‌توان تأثیر جانمایی فضاها بر اساس چرخه خورشیدی، اصلاح پوسته ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی، و تغییر دمای ترموستات بر اساس نمودار آسایش حرارتی منطقه بر مصرف انرژی یک متر مربع از خانه را ارزیابی کرد و بر اساس نتایج آن تصمیمات لازم را در مرحله طراحی گرفت.

مقدمه

در دنیای امروز و عصر تکنولوژی با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان و افزایش سطح رفاه جوامع که در بسیاری از موارد به افزایش یا ایجاد مصارف جدید انرژی منجر می‌شود، بحران تأمین انرژی مورد نیاز به نحوی که با توسعه پایدار هماهنگ باشد، از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورهای است. در حال حاضر روش‌های تأمین، تولید و مصرف انرژی به گونه‌ای است که حتی در میان‌مدت، امکان ادامه

۱. این مقاله بر گرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد است که از سوی فاطمه هاشمی با راهنمایی دکتر شاهین حیدری در دانشکده معماری پردیس هنرهای زیبای دانشگاه تهران، بهمن ۱۳۸۹ ارائه و دفاع شده است.
۲. کارشناس ارشد انرژی - معماری، دانشگاه تهران؛
yasamin_hashemi@yahoo.com.
3. Ecotect

پرسش‌های تحقیق

۱. آیا جانمایی فضاها در داخلی یک واحد مسکونی بر اساس چرخه خورشیدی (تطبیق زمان استفاده از فضا با حرکت خورشید در آسمان) بر مصرف انرژی ساختمانی در اقلیم سرد تأثیرگذار خواهد بود؟ میزان این تأثیرگذاری چقدر ارزیابی می‌شود؟

۲. اصلاح پوسته یک تیپ متداول ساختمان مسکونی در اقلیم سرد کشور (نمونه موردی: شهر اردبیل)، بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، چه میزان از مصرف انرژی ساختمان می‌کاهد؟

۳. اصلاح حد بالا و پایین ترموستات بر اساس نمودار منطقه آسایش شهر اردبیل چه تأثیری بر مصرف انرژی ساختمان می‌گذارد؟

روند کنونی وجود ندارد. در باره کشور ما نگرانی بیشتری وجود دارد. از آن جا که بخش عظیمی از انرژی در ایران در بخش ساختمان مصرف می‌شود و ۷۰٪ ساختمان‌ها، دارای کاربری‌شان مسکونی است، بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش از اهمیت خاصی برخوردار است.

میانگین مصرف انرژی در ساختمان‌های ایران به ازای هر متر مربع در حدود ۳۱۰ کیلووات ساعت در سال است که این مقدار در وضعیت مشابه در کشورهای اروپایی حدود ۱۲۰ کیلووات ساعت به ازای هر متر مربع است. بنابراین این مصرف انرژی در ساختمان‌های ایران حدود ۲/۵ برابر کشورهای اروپایی است.^۴

در سطح جهانی صرفه‌جویی در مصرف انرژی بحث جدیدی نیست. اما در مورد ایران و به خصوص در بخش ساختمان اهمیت موضوع تازه روشن شده و اقدامات اولیه در این راستا آغاز شده است. در حال حاضر در کشور ما با توجه به آمار و ارقام مصرف سوخت، بهینه‌سازی و منطقی کردن مصرف انرژی به خصوص در بخش ساختمان‌سازی و به‌ویژه در مرحله طراحی امری حیاتی است.

در بخش طراحی ساختمان که بر عهده معمار است، صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق توجه به جانمایی فضاها در پلان بر اساس تطبیق الگوی اشغال فضا با چرخه خورشیدی، انتخاب پوسته مناسب با اقلیم و شرایط محیطی، ابعاد بازشو با توجه به تابش دریافتی و اتلاف حرارت حاصل از آن و همچنین انواع بازشو و شیشه (یک جداره، دوجداره و...) و در نهایت استفاده از شیوه‌های مناسب برای جایگزین کردن انرژی‌های تجدیدپذیر به جای انرژی‌های تجدیدناپذیر صورت می‌گیرد. هر یک از نکات یادشده تا میزانی در کاهش مصرف انرژی ساختمان مؤثر است.

در پژوهش حاضر، تأثیر بازنگری در طراحی معماری ساختمان‌های مسکونی شهر اردبیل بر اساس چرخه خورشیدی بر بار گرمایشی و سرمایشی خانه محاسبه شده است. این محاسبات به وسیله نرم‌افزار محاسبات انرژی اکوتکت انجام می‌شود. روش کار این نرم‌افزار شبیه‌سازی فعال ساعت به ساعت نمودار حرارتی ساختمان و تعیین انرژی مورد نیاز برای قرارگیری افراد در محدوده آسایش، در یک بازه زمانی یک‌ساله است. خروجی نهایی شبیه‌سازی کامپیوتری، میزان بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز خانه در

۴. شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، کارنامه شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، ص ۵۴.

توضیحات	پلان نمونه		پلان خورشیدی
<ul style="list-style-type: none"> ✓ نشیمن خانواده در جبهه جنوبی (اصلی) قرار دارد. ✓ پذیرایی و اتاق والدین که معمولاً بعداً نظرها استفاده می‌شود می‌تواند نور جنوب غرب بگیرد. ✓ فضاهای حائل مانند راه‌پله، انبار و ورودی بین فضای اصلی و جبهه نامطلوب جانمایی شوند. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن قرار دارد و از گرمای آن بهره‌مند می‌گردد. ✓ آشپزخانه در سمت شرق بنا قرار دارد تا از آفتاب صبحگاهی بهره‌مند باشد. 			پلان خورشیدی
<ul style="list-style-type: none"> × نشیمن خانواده در جبهه شمالی قرار دارد. ✓ راه‌پله ورودی در جبهه شمالی قرار دارد. × اتاق خواب‌ها تمامی جبهه جنوبی را به خود اختصاص داده‌اند. × آشپزخانه در جبهه شمالی واقع بوده و نورگیری آن از طریق راه‌پله صورت می‌گیرد. <p>از نظر پلان خورشیدی نیازمند اصلاح در جانمایی فضاهاست.</p>	جهت نورگیری: شمال و جنوب		نمونه شماره یک
<ul style="list-style-type: none"> ✓ نشیمن خانواده در جبهه جنوبی قرار دارد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن قرار دارد و از نور جنوب بهره‌مند می‌گردد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن قرار دارد تا از تبادل گرمای یکدیگر بهره‌مند گردند. × راه‌پله ورودی در جبهه جنوبی قرار دارد. ✓ خواب‌ها از نورگیر شمالی، نور می‌گیرند. <p>تقریباً بر پلان خورشیدی انطباق دارد.</p>	جهت نورگیری: جنوب و نورگیر شمال		نمونه شماره دو
<ul style="list-style-type: none"> ✓ نشیمن خانواده در جبهه جنوبی قرار دارد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن قرار دارد و از نور جنوب بهره‌مند می‌گردد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن قرار دارد تا از تبادل گرمای یکدیگر بهره‌مند گردند. ✓ راه‌پله ورودی در جبهه شمالی قرار دارد. ✓ خواب‌ها در جبهه شمالی ساختمان قرار دارند. <p>بر پلان خورشیدی انطباق دارد.</p>	جهت نورگیری: شمال و جنوب		نمونه شماره سه
<ul style="list-style-type: none"> × نشیمن خانواده در جبهه جنوبی قرار دارد ولی از نورگیر کوچکی در این جبهه نور می‌گیرد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن و پذیرایی قرار دارد. × راه‌پله ورودی در جبهه جنوبی قرار دارد. ✓ خواب اصلی در جبهه شمالی قرار دارد. × اتاق خواب کوچک از نورگیر با ابعاد کوچک نور می‌گیرد. × اتاق کار در جبهه جنوبی قرار دارد در حالی که در بیشتر ساعات روز بدون استفاده است. <p>جانمایی نامناسب فضاها در پلان به دلیل وجود حیاط همسایه در بخشی از جنوب و شرق ساختمان است. از نظر پلان خورشیدی نیازمند اصلاح در جانمایی فضاهاست.</p>	جهت نورگیری: شمال و نورگیر جنوبی		نمونه شماره چهار
<ul style="list-style-type: none"> ✓ نشیمن خانواده در جبهه جنوبی قرار دارد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن و پذیرایی قرار دارد و از گرمای آن بهره‌مند می‌گردد. ✓ راه‌پله ورودی در جبهه شمالی قرار دارد. ✓ یکی از خواب‌ها از جبهه شمالی نور می‌گیرد و دیگری از جبهه جنوبی. <p>تقریباً با پلان خورشیدی انطباق دارد.</p>	جهت نورگیری: شمال و جنوب		نمونه شماره پنج

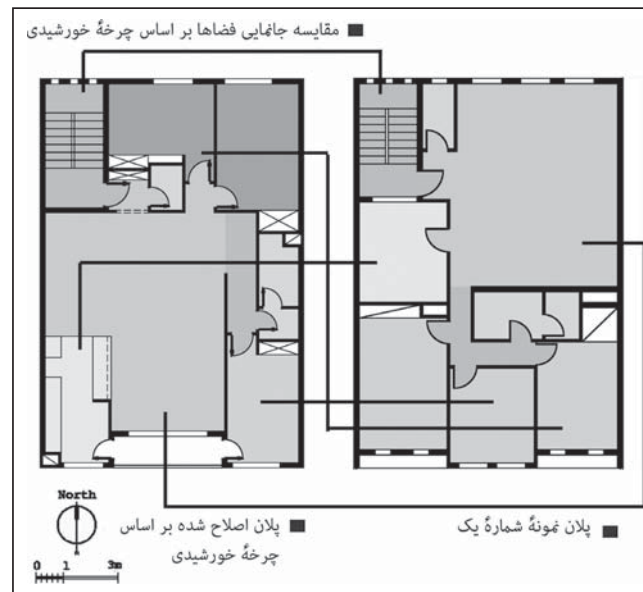
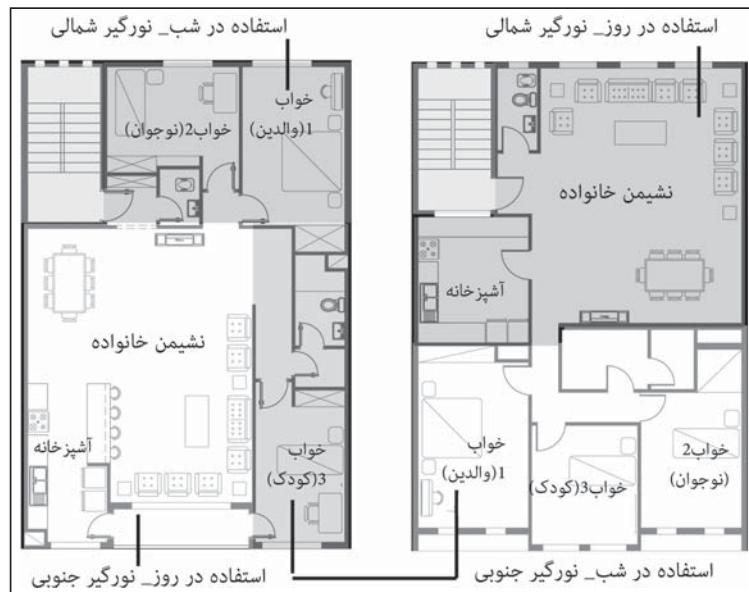
ت ۲. جدول مقایسه پلان نمونه‌های متداول مسکن در اردبیل با پلان شماتیک خورشیدی؛ مأخذ: نگارندگان.

پیش از مدل سازی نمونه در نرم افزار می باید پلان به حوزه های حرارتی مورد نیاز تقسیم شود. در این تقسیم بندی، فضاها بر اساس زمان استفاده و جهت نورگیری (استفاده در روز یا شب و نورگیری از شمال یا جنوب) در یک حوزه حرارتی قرار می گیرند. در «ت ۴» حوزه بندی پلان نمونه شماره یک و طرح اصلاح شده آن نشان داده شده است. برای محاسبه بار حرارتی نمونه در نرم افزار با وجود این که نیاز نیست مدل سازی با پیچیدگی همراه باشد، باید تمامی عوامل مؤثر بر میزان بار حرارتی ساختمان در نظر گرفته شود. بنا بر این باید عایق حرارتی و بار حرارتی جداره ساختمان و هندسه اجزای آن به دقت شبیه سازی شود. به علاوه لازم است فرضیه ها و تصمیمها بر اساس تعداد استفاده کنندگان فضا، فعالیت های انجام شده در آن، برنامه زمان بندی ساعات اشغال فضا، استراتژی های کنترل سیستم های تهویه، و در نهایت طراحی سیستم های روشنایی لحاظ شود.

ت ۳. (راست) مقایسه جانمایی فضاها بر اساس چرخه خورشیدی در نمونه شماره یک و نمونه اصلاحی آن؛ مأخذ: نگارندگان.
ت ۴. (چپ) تعیین حوزه های حرارتی در پلان خانه؛ مأخذ: نگارندگان.

دارند و دو تیپ پلان نیازمند تغییر در جانمایی فضاها هستند. به منظور بررسی میزان کاهش بار حرارتی خانه پس از اصلاح پلان، نمونه شماره یک و طرح اصلاح شده آن برای مدل سازی در نرم افزار اکوتکت انتخاب شدند. در تصویر ۳، پلان نمونه شماره یک و پلان اصلاحی آن نشان داده شده است. تغییرات اعمال شده در پلان نمونه شماره یک از دیدگاه صرفه جویی در انرژی به قرار زیر است:

- قرار دادن فضای نشیمن در نمای جنوبی برای بهره بردن از روشنایی و حرارت نور جنوب در فصول سرد سال؛
- تعبیه پنجره برای آشپزخانه در جبهه جنوبی و شرقی نما برای بهره بردن از روشنایی و حرارت نور جنوب؛
- جانمایی اتاق های خواب والدین و نوجوان در جبهه شمالی ساختمان. زیرا نسبت به نشیمن خانه، برای استفاده از نور و حرارت خورشید در درجه دوم اهمیت قرار دارد.



پارامترهای حرارتی مؤثر بر بار حرارتی ساختمان به قرار زیر است:

۱. دریافت تابش مستقیم: ^{۱۰} حرارتی که از طریق ورود مستقیم تابش از پنجره‌ها و سایر سطوح شفاف وارد اتاق می‌شود؛
۲. دریافت از طریق پوسته: ^{۱۱} حرارت حاصل (دریافت یا اتلاف) از جذب تابش توسط اجزای پوسته مانند دیوارها، پنجره‌ها، و سقف که به اتاق پس داده می‌شود. فاصله زمانی جذب تابش توسط پوسته و بازپس‌دادن آن به ویژگی تأخیر زمانی مصالح به کاررفته بستگی دارد؛
۳. دریافت از طریق تهویه و نشست هوا: ^{۱۲} حرارت حاصل (دریافت یا اتلاف) از تعویض هوای درون با هوای بیرون مانند نشست حاصل از شکاف‌ها و مکان‌هایی که خوب

10. Direct Solar Gains – Qg.
11. Fabric Gains – Qc+Qs.
12. Ventilatin and infiltration Gains – Qv.
13. Internal Gains – Qv.
14. InterZonal Gains – Qz.
15. Indirect Solar Gains – Qs.

۱۶. در محاسبات، طول و عرض جغرافیایی شهر اردبیل لحاظ شده است و از داده‌های اقلیمی نزدیک به داده‌های شهر اردبیل (معادل با شهر تورنتوی کانادا) استفاده شده است.

۱۷. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ممیزی انرژی ساختمان‌های شاخص و متداول، پیوست ۳: ممیزی، داده‌ها، محاسبات، نتایج، و راهکارها، ص ۱۳۷۸-۱۳۹۲.

۱۸. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مقررات ملی ساختمان ایران مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ص ۲۷.

ت ۵. (راست) جدول مشخصات کلی ساختمان مدل‌سازی شده برای تحلیل؛ ماخذ: نگارندگان.

ت ۶. (چپ) جدول ویژگی‌های حرارتی اجزای پوسته ساختمان؛ ماخذ: نگارندگان.

۴. دریافت داخلی: ^{۱۳} حرارت حاصل از تجهیزات روشنایی (لامپ، شمع و...) و سایر تجهیزات، تعداد افراد اشغال‌کننده فضا و نوع فعالیت‌های آن‌ها؛
۵. دریافت داخلی زون‌ها: ^{۱۴} حرارت جابه‌جا شده بین زون‌های مجاور ناشی از تفاوت دمایی بین آن‌ها از طریق دیوار، در، پنجره، و سقف و کف مشترک؛
۶. دریافت پراکنده تابش: ^{۱۵} حرارتی که از جداره غیر شفاف خارجی به سبب کاهش اختلاف دمای سطحی در اثر تابش پراکنده خورشید حاصل می‌شود (تابش بازتابی از یک جسم غیر شفاف).

ساختمان مسکونی یک طبقه‌ای برای تحلیل، مدل‌سازی شده است. جدول «ت ۵» لیستی از مشخصات ساختمان را شرح می‌دهد، جدول «ت ۶» ویژگی‌های حرارتی اجزای پوسته را تعیین می‌کند، و جدول «ت ۷» پارامترهای سیستم گرمایشی و سرمایشی ساختمان، فرضیه‌ها، و انتخاب‌های ابتدایی طراحی

پوسته موجود (نمونه شماره یک) ^{۱۷}		پوسته بر اساس ضریب انتقال حرارت ساختمان‌های گروه یک ^{۱۸}	
اجزای پوسته	U [W/m2. K]	اجزای پوسته	U [W/m2. K]
بام	۱/۴۲	بام	۰/۵
کف در تماس با خاک	۱/۷۵	کف در تماس با خاک	۱/۴۵
دیوار خارجی مجاور فضای خارجی	۲/۰۸	دیوار خارجی مجاور فضای خارجی	۰/۸
دیوار خارجی مجاور فضای کنترل نشده	۱/۸۸	دیوار خارجی مجاور فضای کنترل نشده	۰/۵
پنجره فولادی با شیشه ساده	۵/۸	پنجره آلومینیومی دو جداره	۲/۷
در چوبی	۲	در چوبی	۲

موقعیت ساختمان	اردبیل ^{۱۶}
ابعاد ساختمان	عرض جغرافیایی: ۳۸، طول جغرافیایی: ۴۸
	طول: ۱۵ متر
	عرض: ۱۰ متر
نوع ساختمان	ارتفاع: ۳ متر
	مساحت: ۱۵۰ متر مربع
	سطح بازشوی جبهه جنوبی: ۱۰ متر مربع (۳۳٪ نمای جنوبی)
	سطح بازشوی جبهه شمالی: ۶ متر مربع (۲۰٪ نمای جنوبی)
کاربری ساختمان	یک طبقه
	همسایگی غربی، و سه جهت دیگر آزاد
	نورگیری از شمال و جنوب
ویژگی‌های حرارتی ساختمان	سازه با وزن متوسط
	فاقد فضای زیرشیروانی
ویژگی‌های حرارتی ساختمان	مسکونی
	مطابق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ساختمان‌های گروه یک

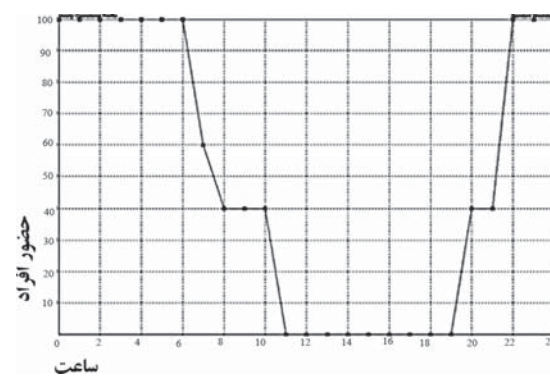
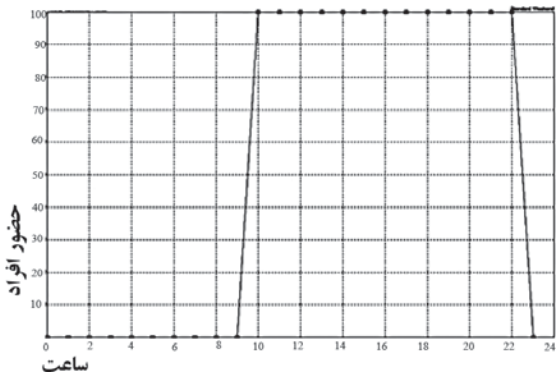
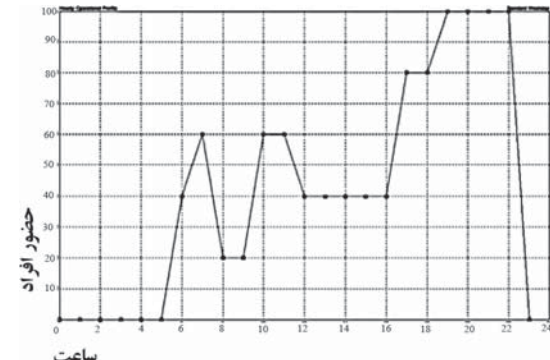
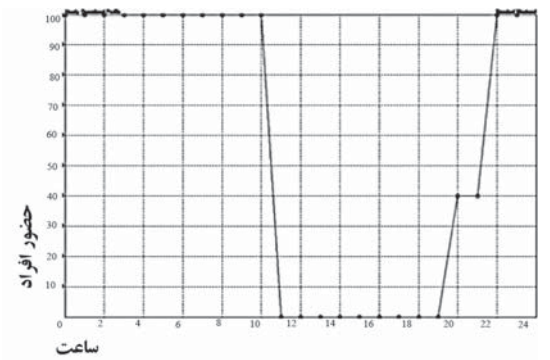
را نشان می‌دهد که برای تحلیل از آن‌ها استفاده شده است. سه بر اساس نمودار آسایش حرارتی منطقه مدل‌سازی شده برای انجام محاسبات بر اساس سه مرحله بررسی اصلاحات ذکر شده بر مصرف انرژی ساختمان (اصلاحات در جانمایی فضاها، پوسته ساختمان، و حد بالا و پایین ترموستات بر اساس نمودار آسایش حرارتی) چهار نمونه ساختمان مدل‌سازی شده است. نمونه شماره یک بر اساس وضع موجود نمونه انتخابی مدل‌سازی انتخاب شده است. نمونه شماره دو با اصلاح پلان بر اساس چرخه خورشیدی، نمونه شماره سه با اصلاح پوسته نمونه شماره دو بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، و نمونه شماره چهار با اصلاح دمای ترموستات در نمونه شماره

سه بر اساس نمودار آسایش حرارتی منطقه مدل‌سازی شده است. آسایش حرارتی انسان در ساختمان علاوه بر دما به مؤلفه‌های دیگری همچون پوشش فرد، درصد رطوبت هوا، سرعت حرکت هوا، تعداد دفعات تعویض هوای داخل، سطح روشنایی مورد نیاز، و حتی فعالیت فرد بستگی دارد. برای هر یک از این پارامترها در فضای مسکونی با توجه به ویژگی‌های اقلیمی مربوطه برای تأمین آسایش، مقدار مشخصی تعریف شده است. در مدل‌سازی انجام‌شده مقادیر این پارامترها از مراجع و استانداردهای پذیرفته‌شده نقل شده است.^{۱۹}

دمای تعیین‌شده برای ترموستات		حداقل ۱۶ درجه سانتی‌گراد	خالی
		حداقل ۱۸ درجه سانتی‌گراد	اشغال شده
		حداکثر ۲۶ درجه سانتی‌گراد	اشغال شده
برنامه زمان‌بندی استفاده از فضا	بخش روز	روزهای عادی	نمودار «ت ۸»
	بخش شب	روزهای تعطیل (پایان هفته و تعطیلات رسمی) ^{۲۰}	نمودار «ت ۹»
		روزهای عادی	نمودار «ت ۱۰»
		روزهای تعطیل (پایان هفته و تعطیلات رسمی)	نمودار «ت ۱۱»
تعداد ساکنان خانه	۵	حرارت ناشی از فعالیت یک فرد در بخش روز	۱۱۵ وات ^{۲۱}
		حرارت ناشی از فعالیت یک فرد در بخش شب	۷۰ وات ^{۲۲}
پارامترهای تعیین‌کننده در شرایط آسایش	ضریب لباس		1(clo)
	رطوبت		۶۰(%)
	سرعت حرکت هوا		5/0m/s
سطح روشنایی		lux 300	
سیستم HVAC	فضای اشغال شده		تأمین گرمایش و سرمایش
	فضای خالی		گرمایش
پارامترهای تعیین‌کننده میزان تعویض هوای زون	نرخ تعویض هوا		1(ach)
	میزان حساسیت جریان هوا		25/0(ach)

۱۹. منبع استانداردها: بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با تکیه بر استاندارد جدید آسایش حرارتی. ۲۰. بر اساس تقویم سال ۱۳۸۹. ۲۱. فعالیت‌های معمول خانه مانند راه رفتن و پخت‌وپز معمولی. ۲۲. فعالیت‌های صامت مانند خواب، استراحت، و مطالعه.

ت ۷. (بالا) جدول پارامترهای استفاده شده در محاسبات؛ مأخذ: نگارندگان.



از مقایسه بار گرمایشی و سرمایشی نمونه شماره ۱ و ۲ می‌توان نتیجه گرفت در تمامی ماه‌های سال بار گرمایشی نمونه شماره ۲ کمتر از نمونه شماره ۱ است. با اصلاح پلان نمونه شماره ۱ بر اساس چرخه خورشیدی، بار گرمایشی خانه در سال به ۸۵٪ (از ۴۴۸۲۵۰۶۱ وات‌ساعت در سال به ۳۸۱۱۹۵۸۶ وات‌ساعت در سال) و بار سرمایشی خانه در سال به ۸۶/۵٪ (از ۵۶۷۶۰۶ کاهش وات‌ساعت در سال به ۴۹۱۷۹۸ وات‌ساعت در سال) کاهش یافت. در مقایسه کلی در تبدیل نمونه شماره ۱ به شماره ۲، مقدار بار حرارتی خانه در سال به ۸۵٪ (از ۴۵۳۹۲۶۶۷ وات‌ساعت در سال به ۳۸۶۱۱۳۸۴ وات‌ساعت در سال) کاهش یافت.

نمودارهای «ت ۸» تا «ت ۱۱» محور افقی ۲۴ ساعت شبانه‌روز و محور عمودی درصد اشغال فضا را، نسبت به ظرفیت پنج نفر تعیین شده، نشان می‌دهد.

اطلاعات

همچنین بار گرمایشی و سرمایشی خانه به منظور تأمین آسایش حرارتی ساکنان برای دوره یک‌ساله توسط نرم‌افزار محاسبه شد. نتایج محاسبات مرحله اول (اصلاح جانمایی فضاها در پلان، پوسته وضع موجود) در جدول‌های «ت ۱۲» و «ت ۱۳» آورده شده است.

- ت ۸. (بالا، راست) برنامه اشغال بخش روز در روزهای عادی سال؛ مأخذ: نگارندگان.
- ت ۹. (بالا، چپ) برنامه اشغال بخش شب در روزهای تعطیل سال؛ مأخذ: نگارندگان.
- ت ۱۰. (پایین، راست) برنامه اشغال بخش شب در روزهای عادی سال؛ مأخذ: نگارندگان.
- ت ۱۱. (پایین، چپ) برنامه اشغال بخش روز در روزهای تعطیل سال؛ مأخذ: نگارندگان.



۲۳. فاطمه هاشمی، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد، ص ۱۷۴.
 ۲۴. جهت اطلاع از جزئیات بیشتر نک: شاهین حیدری. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با تکیه بر استاندارد جدید آسایش حرارتی، تهران: وزارت نیرو، ۱۳۸۴.

ت ۱۲. (راست) جدول نتایج آنالیز حرارتی نمونه شماره ۱.
 ت ۱۳. (چپ) جدول نتایج آنالیز حرارتی نمونه شماره ۲.

نیل به آن باید همه عوامل را در حد مطلوب نگه داشت. ایجاد شرایط آسایش در محیط‌های داخلی نیازمند ایجاد شرایط آسایش گرمایی است. از آن‌جا که هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تغییر محدوده آسایش حرارتی بر اساس نمودار آسایش حرارتی منطقه^{۲۳} بار حرارتی ساختمان است از بیان چگونگی حصول نمودار و محاسبات مربوطه^{۲۴} صرف نظر شده و فقط به استفاده از نتایج اکتفا می‌شود. با کاهش دمای حد پایین ترموستات بر اساس محدوده آسایش منطقه (از ۱۸ درجه سانتی‌گراد به ۱۶ درجه سانتی‌گراد در زمان اشغال فضا و از ۱۶ درجه سانتی‌گراد به ۱۵ درجه سانتی‌گراد در زمان خالی بودن) نمونه شماره ۴ مدل‌سازی شد. نتایج آنالیز حرارتی نمونه شماره ۴ در جدول «ت ۱۵» آورده شده است. از مقایسه بار گرمایی و سرمایشی نمونه شماره ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت در تمامی ماه‌های سال بار گرمایشی نمونه شماره ۴ کمتر از نمونه شماره ۳ است. با تغییر محدوده آسایش در ساعات اشغال فضا از ۱۸ تا ۲۶ درجه در مدل شماره ۳ به ۱۶ تا ۲۶ درجه (بر اساس نمودار محدوده آسایش منطقه) در مدل شماره ۴ و کاهش حد پایین ترموستات برای ساعات خالی بودن فضا از ۱۶ درجه به

در مرحله دوم پوسته ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (جدول ت ۴) اصلاح و نمونه شماره ۳ مدل‌سازی شد. نتایج آنالیز حرارتی نمونه شماره ۳ در جدول «ت ۱۴» آورده شده است. از مقایسه بار گرمایشی و سرمایشی نمونه شماره ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت در تمامی ماه‌های سال بار گرمایشی نمونه شماره ۳ کمتر از نمونه شماره ۲ است. با اصلاح پوسته ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم، میزان بار گرمایشی خانه در سال به ۶۹٪ (از ۳۸۱۱۹۵۸۶ وات‌ساعت در سال به ۲۶۶۳۰۹۷۶ وات‌ساعت در سال) و میزان بار سرمایشی خانه در سال به ۸۰٪ (از ۴۹۱۷۹۸ وات‌ساعت در سال به ۳۹۵۸۸۶ وات‌ساعت در سال) کاهش یافت. در مقایسه کلی در تبدیل نمونه شماره ۲ به شماره ۳، میزان بار حرارتی خانه در سال به ۷۰٪ (از ۳۸۶۱۱۳۸۴ وات ساعت در سال به ۲۷۰۲۶۸۶۱ وات ساعت در سال) کاهش یافت.

در مرحله سوم، کاهش بار حرارتی ساختمان از طریق تغییر در محدوده آسایش و کاهش حد پایین دمای ترموستات حاصل شد. رسیدن به شرایط آسایش، مبحث جامع و پیچیده‌ای است که برای

TOTAL (Wh)	COOLING (Wh)	HEATING(Wh)	MONTH
75849	0	75849	Jan
6662560	0	6662560	Feb
5447824	5574	5442250	Mar
2955344	13014	2942330	Apr
1587434	74605	1512829	May
425815	116548	309267	Jun
241715	125821	115894	Jul
253429	85572	167857	Aug
762011	42421	719590	Sep
2070394	27451	2042943	Oct
4099394	792	4098602	Nov
6597055	0	6597055	Dec
38611384	491798	38119586	TOTAL
284955	3630	281325	PER M2

TOTAL (Wh)	COOLING (Wh)	HEATING(Wh)	MONTH
8735054	0	8735054	Jan
7744550	0	7744550	Feb
6340614	3789	6336735	Mar
3468876	6508	3462368	Apr
1911433	89939	1821494	May
581718	150925	430793	Jun
325909	164407	161502	Jul
343656	105156	238500	Aug
952474	38299	914175	Sep
2482153	8446	2473707	Oct
4813991	47	4813944	Nov
7692239	0	7692239	Dec
45392667	567606	44825061	TOTAL
332502	4158	328345	PER M2

به مدل شماره ۳، ۴۰٪، و با کاهش دمای حد پایین ترموستات در مدل شماره ۳ از مدل شماره ۱ به مدل شماره ۴، ۴۸٪ کاهش داشته است. پس سهم تغییر پوسته بر اساس مبحث نوزدهم در کاهش بار گرمایشی بیشترین مقدار (۲۵٪) است و سپس جانمایی فضاها بر اساس چرخه خورشیدی با ۱۵٪ و در نهایت تغییر محدوده آسایش با ۸٪ در جایگاه دوم و سوم اند.

در نمودار «ت ۱۷» نتایج آنالیز بار حرارتی (مجموع بار گرمایشی و سرمایشی) چهار نمونه مدل سازی شده در تمامی ماه‌های سال نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار مشخص است، مدل شماره ۱ در تمامی ماه‌های سال بیشترین بار حرارتی و مدل شماره ۴ کمترین بار حرارتی را دارد. میزان بار حرارتی مورد نیاز در سال برای هر متر مربع خانه از مدل شماره ۱ به مدل شماره ۲، ۱۴/۵٪ کاهش (۳۳۲/۵ کیلووات ساعت در سال به ۲۸۵ کیلووات ساعت در سال)، از مدل شماره ۱ به مدل شماره ۳، ۴۰٪ کاهش (۳۳۲/۵ کیلووات ساعت در سال به ۱۹۹/۵ کیلووات ساعت در سال)، از مدل شماره ۱ به مدل شماره ۴، ۴۸٪ کاهش (۳۳۲/۵ کیلووات در سال به ۱۷۳/۲ کیلووات در سال) داشته است. لذا

۱۵ درجه، میزان بار گرمایشی خانه در سال به ۸۶٪ (از ۲۶۶۳۰۹۷۶ وات ساعت در سال به ۲۳۰۲۱۹۵۴ وات ساعت در سال) کاهش یافت و میزان بار سرمایشی خانه در سال به ۱۱۲٪ (از ۳۹۵۸۸۶ وات ساعت در سال به ۴۴۲۵۶۹ وات ساعت در سال) افزایش یافت.

بحث

در نمودار «ت ۱۶» نتایج آنالیز بار گرمایشی چهار نمونه مدل سازی شده در تمامی ماه‌های سال نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌شود، بار گرمایشی نمونه شماره ۱ در تمامی ماه‌های سال بیشترین میزان و سپس به ترتیب بار گرمایشی نمونه شماره ۲ و نمونه شماره ۳ بیشترین میزان است. این نمودار بیانگر آن است که فرایند مدل سازی نمونه‌ها از شماره ۱ تا ۴ با کاهش بار گرمایشی خانه همراه بوده است. میزان بار گرمایشی مورد نیاز در سال برای هر متر مربع خانه با اصلاح جانمایی فضاها در پلان از مدل شماره ۱ به مدل شماره ۲، ۱۴/۵٪، با اصلاح پوسته ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان در مدل شماره ۲ از مدل شماره ۱

ت ۱۴. (راست) جدول نتایج آنالیز حرارتی نمونه شماره ۳.
ت ۱۵. (چپ) جدول نتایج آنالیز حرارتی نمونه شماره ۴.
ت ۱۶. (صفحه روبه‌رو، بالا) نمودار بار گرمایشی دریافتی در ماه توسط چهار مدل ارائه شده؛ مأخذ: نگارندگان.
ت ۱۷. (صفحه روبه‌رو، پایین) نمودار بار حرارتی (مجموع گرمایشی و سرمایشی) دریافتی در ماه توسط ۴ مدل ارائه شده؛ مأخذ: نگارندگان.

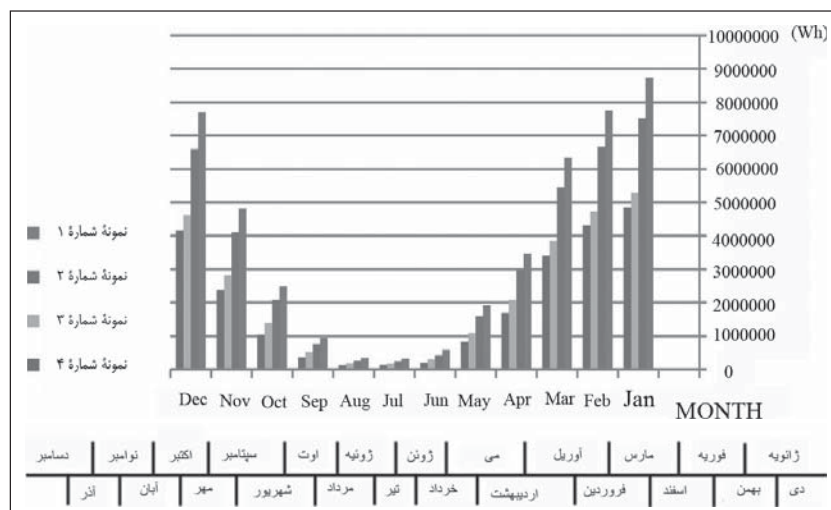
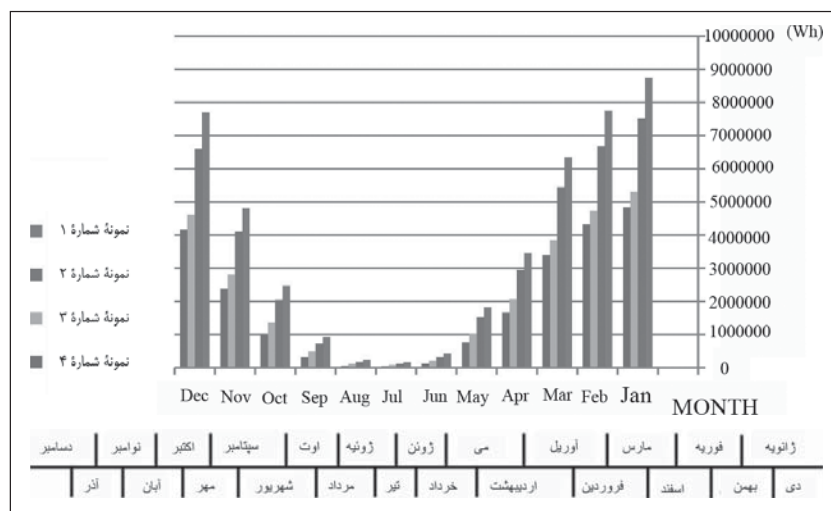
TOTAL (Wh)	COOLING (Wh)	HEATING(Wh)	MONTH
4839326	0	4839326	Jan
4312203	0	4312203	Feb
3405238	9202	3396036	Mar
1690838	29335	1661503	Apr
817824	65487	752337	May
199513	81384	118129	Jun
134868	91798	43070	Jul
121818	65121	56697	Aug
359477	49191	310286	Sep
1038839	46761	992078	Oct
2384894	4290	2380604	Nov
4159685	0	4159685	Dec
23464523	442569	23021954	TOTAL
173170	3266	169904	PER M2

TOTAL (Wh)	COOLING (Wh)	HEATING(Wh)	MONTH
5293011	0	5293011	Jan
4726707	0	4726707	Feb
3855481	6201	3849280	Mar
2070081	14114	2055967	Apr
1090383	57040	1033343	May
297854	89216	208638	Jun
178120	94667	83453	Jul
178382	63915	114467	Aug
516699	41236	475463	Sep
1388799	27960	1360839	Oct
2814546	1536	2813010	Nov
4616798	0	4616798	Dec
27026862	395886	26630976	TOTAL
199460	2922	196538	PER M2

وسیع بدون صرف هزینه‌ی مازاد، می‌توان به میزان زیادی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

– مقایسه‌ی بار حرارتی نمونه‌ی ساختمان مسکونی متداول شهر اردبیل با پلانی مغایر چرخه‌ی خورشیدی با نمونه‌ی اصلاح شده‌ی آن نشان می‌دهد که میزان بار حرارتی مورد نیاز در

۲۵. فاطمه هاشمی، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد، ص ۱۷۴.



سهم تغییر پوسته بر اساس مبحث نوزدهم در کاهش بار حرارتی بیشترین مقدار (۲۵/۵٪) است و سپس جانمایی فضاها بر اساس چرخه‌ی خورشیدی با ۱۴/۵٪ و در نهایت تغییر محدوده‌ی آسایش با ۸٪ در مقام بعدی قرار دارند. تغییرات جزئی ایجادشده در نسبت کاهش بار حرارتی مدل‌ها در قیاس با بار گرمایشی آن‌ها، به سبب اعمال بار سرمایشی سالانه در محاسبات بار حرارتی کل است. از آن‌جا که بار سرمایشی شهر اردبیل بسیار ناچیز است و روزدرجه‌ی سرمایشی ماه‌های آن در مقابل روزدرجه‌ی گرمایشی تقریباً صفر است، تفاوت ناچیزی بین نسبت کاهش بار حرارتی مدل‌ها در قیاس با نسبت کاهش بار گرمایشی آن‌هاست.^{۲۵}

نتیجه‌گیری

از آنچه در مراحل پیشین حاصل شده است می‌توان نتایج مختلفی برداشت کرد. این نتایج به ساختمان‌های مشابه بررسی شده محدود می‌شود. یعنی ساختمان مسکونی، فاقد نورگیر شرقی و غربی، بدون سایبان متحرک یا سایر تجهیزات کنترل‌کننده‌ی پنجره، و آب‌وهوای مشابه با وضعیت اردبیل. نتایج پژوهش بدین قرار اند:

۱. در طراحی ساختمان‌های مسکونی به منظور کاهش بار حرارتی منازل، می‌باید به نکات لازم جهت بهره‌مندی از تابش خورشید توجه کرد. علاوه بر جهت‌گیری حجمی ساختمان، نحوه‌ی جانمایی فضاها در مرحله‌ی طراحی داخلی در میزان بار حرارتی ساختمان بسیار موثر است. در صورت انطباق طراحی داخلی با الگوی اشغال فضا توسط ساکنان از دیدگاه چرخه‌ی خورشیدی، می‌توان به میزان قابل توجهی بار حرارتی ساختمان و در نتیجه مصرف انرژی خانه‌ها را کاهش داد. توجه به این نکته در طراحی ساختمان‌های مسکونی شهرهای سردسیری مانند اردبیل، که نیاز مصرف انرژی بالایی در بخش گرمایش دارند، حائز اهمیت است و با ارائه‌ی الگوی مناسب جانمایی فضاها در پلان و دستور کار قرار دادن آن در مقیاس

منابع و مأخذ

- حیدری، شاهین. *بهبینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با تکیه بر استانداردهای جدید آسایش حرارتی*. تهران: وزارت نیرو، ۱۳۸۴.
- حیدری‌نژاد، قاسم. *آسایش حرارتی*. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸.
- رازجویان، محمود. *آسایش بوسیله معماری همسو با اقلیم*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۶۷.
- قبادیان، وحید، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، تهران: دانشگاه تهران، ۱۳۸۲.
- کارنامه شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، تهران: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، ۱۳۸۸.
- کسمائی، مرتضی. *پهنه‌بندی اقلیمی ایران مسکن و محیط مسکونی*. تهران: مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان، ۱۳۷۲.
- _____ . *اقلیم و معماری*. تهران: نشر خاک، ۱۳۸۳.
- لنکر، نربرت. *گرمایش، سرمایش، روشنایی*. ترجمه محمدعلی کی‌نژاد. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۸۵.
- مازریا، ادوارد. *راهنمای کاربرد غیرفعال انرژی خورشیدی در ساختمان*. ترجمه علی مهدوی، تهران: کتیبه، ۱۳۶۵.
- مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان. تهران: توسعه ایران (به سفارش وزارت مسکن و شهرسازی)، ۱۳۸۱.
- مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی. تهران: توسعه ایران (به سفارش دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان)، ۱۳۸۴.
- ممیزی انرژی ساختمان‌های شاخص و متداول، پیوست ۳: ممیزی، داده‌ها، محاسبات، نتایج و راهکارها، شهر اردبیل. تهران: مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن، ۱۳۸۳.
- هاشمی، فاطمه. *بهبینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد انرژی - معماری. استاد راهنما: شاهین حیدری. تهران: دانشگاه تهران، دانشکده معماری پردیس هنرهای زیبای بهمن ۱۳۸۹.

- سال برای هر متر مربع خانه، با اصلاح جانمایی فضاها در پلان از مدل شماره ۱ به مدل شماره ۲ با ۱۴/۵٪ (۳۳۲/۵ کیلووات‌ساعت در سال به ۲۸۵ کیلووات‌ساعت در سال) کاهش همراه است.
۲. در اقلیم سرد به علت زیاد بودن اختلاف دمای داخل و خارج، اتلاف انرژی بالایی از طریق پوسته اتفاق می‌افتد. برای جلوگیری از این امر، مصالح تشکیل‌دهنده پوسته ساختمان می‌باید ضریب هدایت حرارتی مورد نیاز را با توجه به مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (ساختمان‌هایی که لازم است به میزان زیادی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند) تأمین کند.
- با اصلاح پوسته مدل شماره ۲ بر اساس مبحث نوزدهم و تبدیل آن به مدل شماره ۳، بار حرارتی ساختمان به میزان ۲۵/۵٪ (از ۲۸۵ کیلووات‌ساعت در سال به ۱۹۹/۵ کیلووات‌ساعت در سال) کاهش یافت.
۳. آسایش حرارتی انسان در ساختمان علاوه بر دما به مؤلفه‌های دیگری مانند پوشش فرد، درصد رطوبت هوا، سرعت حرکت هوا، تعداد دفعات تعویض هوای داخل، و حتی فعالیت فرد بستگی دارد. نوع و روش رسیدن به شرایط آسایش با توجه به آب‌وهوای منطقه متفاوت است. در صورت ترسیم نمودار آسایش حرارتی برای شهرهای مختلف با اقلیم متفاوت به نمودارهای متفاوتی خواهیم رسید. با اعمال نتایج بر دمای حد پایین و بالای ترموستات می‌توان بار حرارتی ساختمان را کاهش داد.
- با کاهش دمای حد پایین ترموستات بر اساس محدوده آسایش منطقه (از ۱۸ درجه سانتی‌گراد به ۱۶ درجه سانتی‌گراد در زمان اشغال فضا و از ۱۶ درجه سانتی‌گراد به ۱۵ درجه سانتی‌گراد در زمان خالی بودن) در مدل شماره ۳ بار حرارتی ساختمان به میزان ۸٪ (از ۱۹۹/۵ کیلووات‌ساعت در سال به ۱۷۳/۲ کیلووات‌ساعت در سال) کاهش یافت.