بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد

(نمونهٔ موردی: شهر اردبیل)[1]

فاطمه هاشمی[2]

شاهین حیدری

استادیار دانشکدهٔ معماری پردیس هنرهای زیبای دانشگاه تهران

کلیدواژگان: ساختمان مسکونی، طراحی پلان، چرخهٔ 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 مرحلهٔ طراحی ضروری است.

در طراحی ساختمان ـ که بر عهدهٔ معمار است ـ کاهش مصرف انرژی با جانمایی فضاها در پلان بر اساس تطبیق الگوی اشغال فضا و چرخهٔ خورشیدی، انتخاب پوستهٔ 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 چرخهٔ خورشیدی بر بار حرارتی خانه محاسبه شده است. این محاسبات با شبیه‌سازی در نرم‌افزار محاسبات انرژی[3] 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 چرخهٔ خورشیدی، اصلاح پوستهٔ 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 مرحلهٔ 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 توسعهٔ پایدار هماهنگ باشد، از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورها است. در حال حاضر روش‌های تأمین، تولید و مصرف انرژی به گونه‌ای است که حتی در میان‌مدت، امکان ادامهٔ

۱. این مقاله بر گرفته از بخشی از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد با عنوان *بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد* است که از سوی فاطمه هاشمی با راهنمایی دکتر شاهین حیدری در دانشکدهٔ معماری پردیس هنرهای زیبای دانشگاه تهران، بهمن ۱۳۸۹ ارائه و دفاع شده است.

۲. کارشناس ارشد انرژی ـ معماری، دانشگاه تهران؛
yasamin_hashemi@yahoo.com.

3. Ecotect

پرسش‌های تحقیق

۱. آیا جانمایی فضاهای داخلی یک واحد مسکونی بر اساس چرخهٔ 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 پوستهٔ یک تیپ متداول ساختمان مسکونی در اقلیم سرد کشور (نمونهٔ 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 منطقهٔ آسایش شهر اردبیل چه تأثیری بر مصرف انرژی ساختمان می‌گذارد؟

روند کنونی وجود ندارد. در بارهٔ کشور ما نگرانی بیشتری وجود دارد. از آن‌جا 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. بنابر 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 به‌خصوص 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 به‌خصوص در بخش ساختمان‌سازی و به‌ویژه در مرحلهٔ 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 چرخهٔ خورشیدی، انتخاب پوستهٔ 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 چرخهٔ خورشیدی بر بار گرمایشی و سرمایشی خانه محاسبه شده است. این محاسبات به وسیله نرم‌افزار محاسبات انرژی اکوتکت انجام می‌شود. روش کار این نرم‌افزار شبیه‌سازیِ فعال ساعت به ساعت نمودار حرارتی ساختمان و تعیین انرژی مورد نیاز برای قرارگیری افراد در محدودهٔ آسایش، در یک بازهٔ 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.

طول یک سال است. به وسیله محاسبات انرژی به‌دست‌آمده می‌توان تأثیر جانمایی فضاها بر اساس چرخهٔ خورشیدی، اصلاح پوستهٔ ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی، و تغییر دمای ترموستات بر اساس نمودار آسایش حرارتی منطقه بر انرژی مورد نیاز برای یک متر مربع از خانه را ارزیابی کرد و بر اساس نتایج حاصله تصمیمات لازم را در مرحلهٔ طراحی اتخاذ کرد. در این فرایند، تأثیر اصلاحات ذکرشده بر بار حرارتی ساختمان در سه مرحله بررسی می‌شود:

۱. اصلاح جانمایی فضاها در پلان بر اساس الگوی اشغال آن با تکیه بر چرخهٔ خورشیدی؛

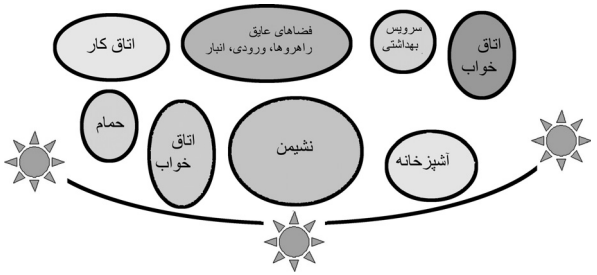
۲. اصلاح پوسته ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی)؛

۳. اصلاح حد بالا و پایین ترموستات بر اساس نمودار منطقهٔ آسایش شهر اردبیل.

روش پژوهش

پژوهش حاضر با تکیه بر مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای در زمینهٔ ساختمان و مصرف انرژی برای تأمین نیازهای خانه[۵] (گرمایش، سرمایش، روشنایی، و سایر نیازهای الکتریکی) در حوزهٔ محاسبهٔ بار حرارتی ساختمان با تمرکز بر بهره‌مندی از تابش خورشید در شهر اردبیل با نرم‌افزار اکوتکت انجام گرفت. با توجه به قرارگیری شهر اردبیل در اقلیم سرد کشور[۶] و بر اساس جدول گونه‌بندی جغرافیایی نیاز انرژی گرمایی ـ سرمایی سالانه[۷]، مصرف انرژی ساختمان‌های اردبیل در بخش گرمایش بالاست. بنا بر این کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در اردبیل منوط بر کاهش بار گرمایشی فضاهاست.

میزان بهره‌مندی از تابش خورشید، ارتباط مستقیم با جهت جغرافیایی بازشو و پوسته ساختمان نسبت به جنوب دارد. در مرحلهٔ طراحی معمولاً فقط به جهت‌گیری حجمی ساختمان در مواجهه با باد و تابش توجه می‌شود و نحوهٔ ترکیب فضاها بر اساس چرخهٔ خورشیدی در حاشیه قرار می‌گیرد. در طراحی بر اساس چرخهٔ خورشیدی، الگوی اشغال فضا توسط ساکنان در طی شبانه‌روز، مهم‌ترین عامل در جانمایی فضاهاست. بر این



ت ۱. جانمایی فضاها بر اساس چرخهٔ خورشیدی؛ مأخذ: مازریا، ۱۳۶۵، ص ۹۰.

اساس فضاهای گرم و مورد استفادهٔ روزانه در جبههٔ جنوبی، فضاهای مورد استفاده در صبح در جبههٔ شرقی، فضاهای خنک و مورد استفاده در شب در جبههٔ شمالی، و فضاهای داغ در جبههٔ غربی ساختمان مستقر می‌گردند.[۸] در «ت ۱» دیاگرام جانمایی فضاها در پلان، بر اساس حرکت خورشید نشان داده شده است.

با توجه به اینکه در اقلیم سرد برای جلوگیری از اتلاف حرارت و محافظت در مقابل باد سرد زمستانی، ساختمان‌ها به صورت متراکم و پیوسته در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، همسایگی‌های شرقی و غربی دارند و نورگیری‌شان از جبههٔ شمالی و جنوبی صورت می‌گیرد.

در تصویر ۲، پلان نمونه‌های متداول مسکن در اردبیل،[۹] با پلان شماتیک یک خانه بر اساس ملاحظات برنامه‌ریزی خورشیدی/ حرارتی مقایسه شده و نقاط اشتراک و اختلاف هر یک با پلان خورشیدی تعیین شده است.

از بررسی جدول «ت ۲» چنین نتیجه‌گیری می‌شود:

به علت وجود همسایه، یا امکان وجود همسایه در آینده، کشیدگی نمونهٔ پلان‌های متداول در شهر اردبیل شمالی ـ جنوبی است و هیچ بازشو یا نورگیری در جهات شرق و غرب وجود ندارد. سه تیپ پلان از پنج پلان متداول با پلان خورشیدی انطباق خوبی

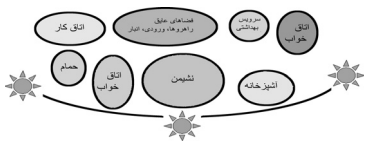
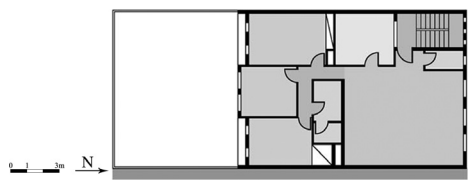
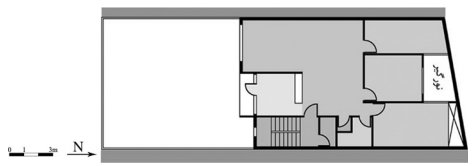
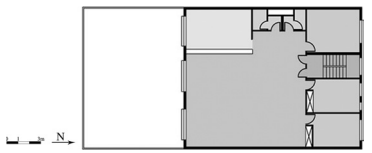
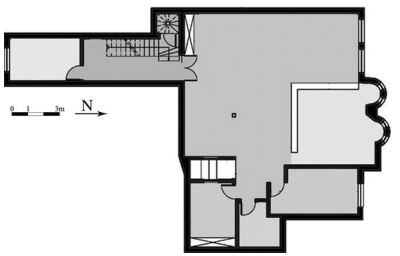
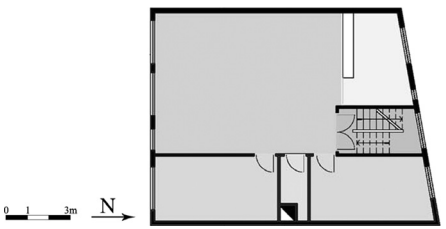
۵. در زمینهٔ ساختمان و مصرف انرژی برای تأمین نیازهای خانه، از این منابع استفاده شده است: وحید قبادیان، *بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران*؛ مرتضی کسمائی، *پهنه‌بندی اقلیمی ایران مسکن و محیط مسکونی*؛ مرتضی کسمائی، *اقلیم و معماری*؛ شاهین حیدری، *بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با تکیه بر استاندارد جدید آسایش حرارتی*؛ ادوارد مازریا، *راهنمای کاربرد غیرفعال انرژی خورشیدی در ساختمان*؛ محمود رازجویان، *آسایش بوسیله معماری همسو با اقلیم*.

۶. مرتضی کسمائی، *اقلیم و معماری*، ص ۹۸.

۷. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، *مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی*، ص ۶۵.

۸. نوربرت لکنر، *گرمایش، سرمایش، روشنایی*، ص ۴۶۲.

۹. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، *ممیزی انرژی ساختمان‌های شاخص و متداول*، پیوست ۳ : ممیزی، داده‌ها محاسبات، نتایج، و راهکارها، شهر اردبیل، ص ۱۳۷۸ـ ۱۵۱۸.

	پلان نمونه		توضیحات
پلان خورشیدی			✓ نشیمن خانواده در جبهۀ جنوبی (اصلی) قرار دارد. ✓ پذیرایی و اتاق والدین که معمولاً بعدازظهرها استفاده می‌شود می‌تواند نور جنوب غرب بگیرد. ✓ فضاهای حائل مانند راه‌پله، انبار و ورودی بین فضای اصلی و جبهۀ 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.
نمونۀ شمارۀ یک		جهت نورگیری: شمال و جنوب	× نشیمن خانواده در جبهۀ شمالی قرار دارد. ✓ راه‌پلۀ ورودی در جبهۀ شمالی قرار دارد. × اتاق خواب‌ها تمامی جبهۀ جنوبی را به خود اختصاص داده‌اند. × آشپزخانه در جبهۀ شمالی واقع بوده و نورگیری آن از طریق راه‌پله صورت می‌گیرد. از نظر پلان خورشیدی نیازمند اصلاح در جانمایی فضاهاست.
نمونۀ شمارۀ دو		جهت نورگیری: جنوب و نورگیر شمال	✓ نشیمن خانواده در جبهۀ 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. × راه‌پلۀ ورودی در جبهۀ جنوبی قرار دارد. ✓ خواب‌ها از نورگیر شمالی، نور می‌گیرند. تقریباً بر پلان خورشیدی انطباق دارد.
نمونۀ شمارۀ سه		جهت نورگیری: شمال و جنوب	✓ نشیمن خانواده در جبهۀ 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. ✓ راه‌پلۀ ورودی در جبهۀ شمالی قرار دارد. ✓ خواب‌ها در جبهۀ شمالی ساختمان قرار دارند. بر پلان خورشیدی انطباق دارد.
نمونۀ شمارۀ چهار		جهت نورگیری: شمال و نورگیر جنوبی	× نشیمن خانواده در جبهۀ جنوبی قرار دارد ولی از نورگیر کوچکی در این جبهه نور می‌گیرد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن و پذیرایی قرار دارد. × راه‌پلۀ ورودی در جبهۀ جنوبی قرار دارد. ✓ خواب اصلی در جبهۀ شمالی قرار دارد. × اتاق خواب کوچک از نورگیر با ابعاد کوچک نور می‌گیرد. × اتاق کار در جبهۀ جنوبی قرار دارد در حالی که در بیشتر ساعات روز بدون استفاده است. 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.
نمونۀ شمارۀ پنج		جهت نورگیری: شمال و جنوب	✓ نشیمن خانواده در جبهۀ جنوبی قرار دارد. ✓ آشپزخانه در جوار نشیمن و پذیرایی قرار دارد و از گرمای آن بهره‌مند می‌گردد. ✓ راه‌پله ورودی در جبهۀ شمالی قرار دارد. ✓ یکی از خواب‌ها از جبهۀ شمالی نور می‌گیرد و دیگری از جبهۀ جنوبی. تقریباً با پلان خورشیدی انطباق دارد.

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

دارنـد و دو تیپ پلان نیازمند تغییر در جانمایی فضاها هسـتند. به منظور بررسـی میزان کاهش بار حرارتی خانه پس از اصلاح پلان، نمونهٔ شـمارهٔ یک و طرح اصلاح‌شده آن برای مدل‌سازی در نرم‌افـزار اکوتکت انتخاب شـدند. در تصویـر ۳، پلان نمونهٔ شـمارهٔ یک و پلان اصلاحی آن نشان داده شده است. تغییرات اعمال‌شـده در پلان نمونهٔ شمارهٔ یک از دیدگاه صرفه‌جویی در انرژی به قرار زیر است:

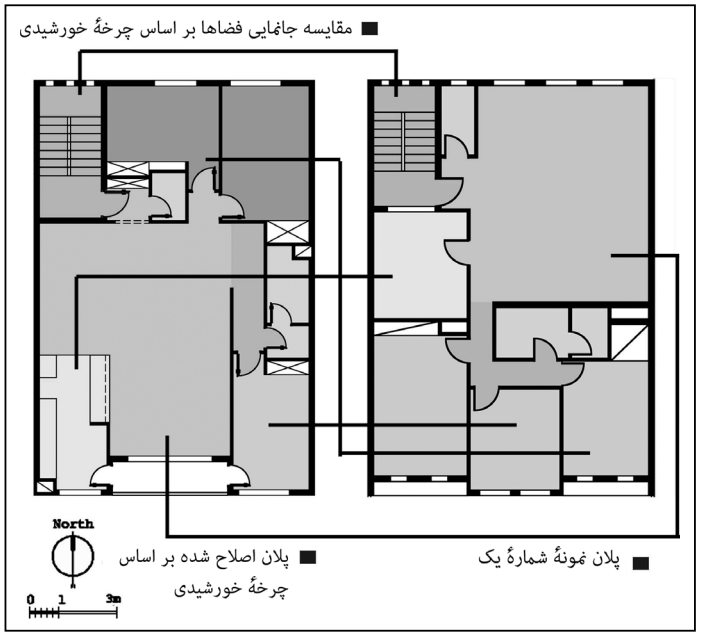
ـ قرار دادن فضای نشیمن در نمای جنوبی برای بهره بردن از روشنایی و حرارت نور جنوب در فصول سرد سال؛

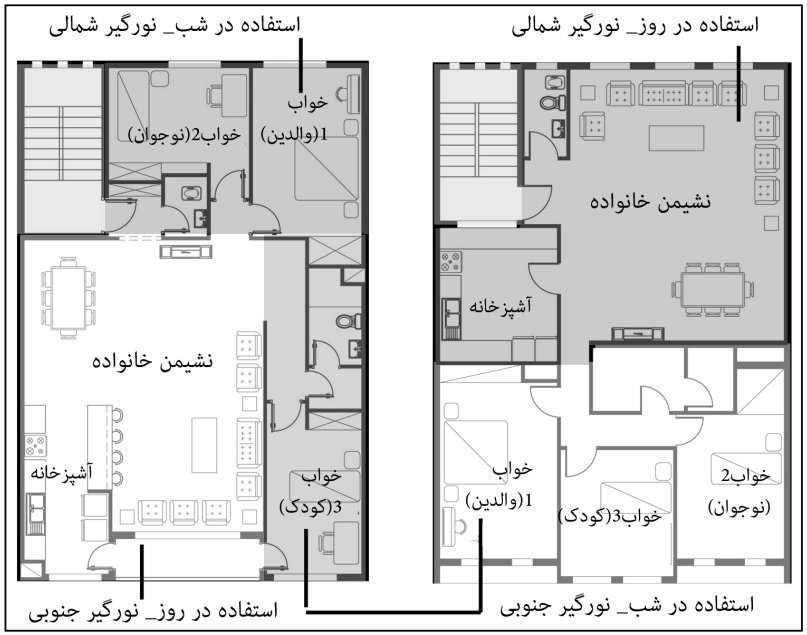
ـ تعبیهٔ پنجره برای آشـپزخانه در جبههٔ جنوبی و شرقی نما برای بهره بردن از روشنایی و حرارت نور جنوب؛

ـ جانمایی اتاق‌های خواب والدین و نوجوان در جبههٔ شمالی ساختمان. زیرا نسبت به نشیمن خانه، برای استفاده از نور و حرارت خورشید در درجهٔ دوم اهمیت قرار دارد.

پیش از مدل‌سازی نمونه در نرم‌افزار می‌باید پلان به حوزه‌های حرارتی مورد نیاز تقسـیم شـود. در این تقسـیم‌بندی، فضاها بر اسـاس زمان استفاده و جهت نورگیری (استفاده در روز یا شب و نورگیری از شمال یا جنوب) در یک حوزهٔ حرارتی قرار می‌گیرند. در «ت ۴» حوزه‌بندی پلان نمونهٔ شمارهٔ یک و طرح اصلاح‌شدهٔ آن نشـان داده شـده است. برای محاسـبهٔ بار حرارتی نمونه در نرم‌افزار با وجود این‌که نیاز نیست مدل‌سازی با پیچیدگی همراه باشـد، باید تمامی عوامل مؤثر بر میزان بار حرارتی ساختمان در نظر گرفته شود. بنا بر این باید عایق حرارتی و بار حرارتی جدارهٔ ساختمان و هندسهٔ اجزای آن به دقت شبیه‌سازی شود. به علاوه لازم است فرضیه‌ها و تصمیم‌ها بر اساس تعداد استفاده‌کنندگان فضا، فعالیت‌های انجام‌شـده در آن، برنامهٔ زمان‌بندی سـاعات اشغال فضا، استراتژی‌های کنترل سیستم‌های تهویه، و در نهایت طراحی سیستم‌های روشنایی لحاظ شود.

ت ۳. (راسـت) مقایسـهٔ جانمایی فضاها بر اساس چرخهٔ خورشیدی در نمونـهٔ شـمارهٔ یـک و نمونهٔ اصلاحی آن؛ مأخذ: نگارندگان.
ت ۴. (چـپ) تعییـن حوزه‌هـای حرارتـی در پـلان خانـه؛ مأخذ: نگارندگان.





پارامترهـای حرارتی مؤثر بر بار حرارتی سـاختمان به قرار زیر است:

۱. دریافـت تابـش مسـتقیم:[10] حرارتی کـه از طریق ورود مستقیم تابش از پنجره‌ها و سایر سطوح شفاف وارد اتاق می‌شود؛

۲. دریافـت از طریق پوسـته:[11] حرارت حاصـل (دریافت یا اتلاف) از جذب تابش توسط اجزای پوسته مانند دیوارها، پنجره‌ها، و سـقف که به اتاق پس داده می‌شـود. فاصلهٔ زمانی جذب تابش توسـط پوسـته و بازپـس‌دادن آن به ویژگی تأخیر زمانی مصالح به‌کاررفته بستگی دارد؛

۳. دریافـت از طریق تهویه و نشـت هـوا:[12] حرارت حاصل (دریافت یا اتلاف) از تعویض هوای درون با هوای بیرون مانند نشـت حاصل از شـکاف‌ها و مکان‌هایی که خوب درزبندی نشده اند و مصالح متخلخل یا بازشوها؛

۴. دریافـت داخلی:[13] حرارت حاصل از تجهیزات روشـنایی (لامـپ، شـمع و...) و سـایر تجهیـزات، تعـداد افـراد اشغال‌کنندهٔ فضا و نوع فعالیت‌های آن‌ها؛

۵. دریافت داخلی زون‌ها:[14] 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:[15] حرارتی که از جدارهٔ غیر شـفاف خارجی به سـبب کاهش اختلاف دمای سـطحی در اثر تابش پراکندهٔ خورشـید حاصل می‌شود (تابش بازتابی از یک جسم غیر شفاف).

ساختمان مسـکونی یک طبقه‌ای برای تحلیل، مدل‌سازی شـده اسـت. جدول «ت ۵» لیستی از مشـخصات 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

موقعیت ساختمان	اردبیل[16]
	عرض جغرافیایی: ۳۸، طول جغرافیایی: ۴۸
ابعاد ساختمان	طول: ۱۵ متر
	عرض: ۱۰ متر
	ارتفاع: ۳ متر
	مساحت: ۱۵۰ متر مربع
	سطح بازشوی جبههٔ جنوبی: ۱۰ متر مربع (۳۳% نمای جنوبی)
	سطح بازشوی جبههٔ شمالی: ۶ متر مربع (۲۰% نمای جنوبی)
نوع ساختمان	یک طبقه
	همسایگی غربی، و سه جهت دیگر آزاد
	نورگیری از شمال و جنوب
	سازه با وزن متوسط
	فاقد فضای زیرشیروانی
کاربری ساختمان	مسکونی
ویژگی‌های حرارتی ساختمان	مطابق مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ساختمان‌های گروه یک

ت ۵. (راسـت) جدول مشخصات کلی سـاختمان مدل‌سازی‌شـده برای تحلیل؛ ماخذ: نگارندگان.

پوستهٔ موجود (نمونهٔ شمارهٔ یک)[17]		پوسته بر اساس ضریب انتقال حرارت ساختمان‌های گروه یک[18]	
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 کنترل‌نشده	۱/۸۸	دیوار خارجی مجاور فضای کنترل‌نشده	۰/۵
پنجرهٔ فولادی با شیشهٔ ساده	۵/۸	پنجرهٔ آلومینیومی دو جداره	۲/۷
در چوبی	۲	در چوبی	۲

ت ۶. (چپ) جـدول ویژگی‌های حرارتی اجزای پوسـتهٔ ساختمان؛ مأخذ: نگارندگان.

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

۱۶. در محاسـبات، طـول و عـرض جغرافیایی شـهر اردبیل لحاظ شـده است و از داده‌های اقلیمی نزدیک به داده‌های شهر اردبیل (معادل با شهر تورنتوی کانادا) استفاده شده است.

۱۷. مرکـز تحقیقـات سـاختمان و مسکن، *ممیزی انرژی ساختمان‌های شاخص و متداول*، پیوست ۳: ممیزی، داده‌ها، محاسبات، نتایج، و راهکارها، ص ۱۳۷۸ـ ۱۳۹۲.

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

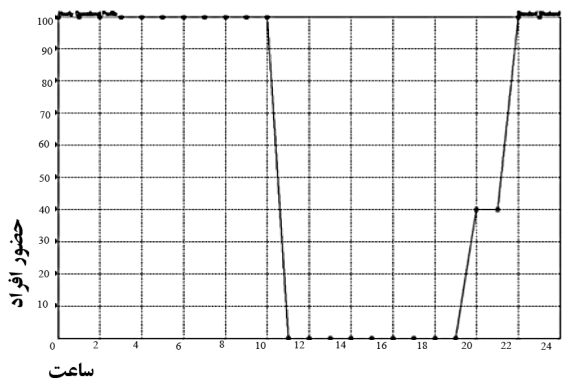
را نشـان می‌دهد که برای تحلیل از آن‌ها اسـتفاده شـده است. برای انجام محاسـبات بر اساس سـه مرحلهٔ بررسی اصلاحات ذکر شـده بر مصرف انرژی سـاختمان (اصلاحـات در جانمایی فضاها، پوسـتهٔ ساختمان، و حد بالا و پایین ترموستات بر اساس نمودار آسـایش حرارتی) چهار نمونه ساختمان مدل‌سازی شده اسـت. نمونهٔ شمارهٔ یک بر اسـاس وضع موجود نمونهٔ انتخابی مدل‌سازی انتخاب شده اسـت. نمونهٔ شمارهٔ دو با اصلاح پلان بر اسـاس چرخهٔ خورشیدی، نمونهٔ شـمارهٔ سه با اصلاح پوستهٔ نمونهٔ شمارهٔ دو بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، و نمونهٔ شـمارهٔ چهار با اصلاح دمای ترموستات در نمونهٔ شمارهٔ سـه بر اسـاس نمودار آسـایش حرارتی منطقه مدل‌سازی شده است.

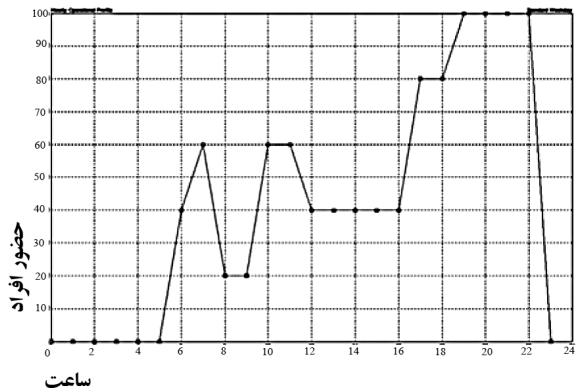
آسـایش حرارتـی انسـان در سـاختمان علاوه بـر دما به مؤلفه‌هـای دیگری همچون پوشـش فرد، درصـد رطوبت هوا، سـرعت حرکت هوا، تعداد دفعات تعویض هوای داخل، سـطح روشـنایی مورد نیاز، و حتی فعالیت فرد بسـتگی دارد. برای هر یک از این پارامترها در فضای مسـکونی با توجه به ویژگی‌های اقلیمی مربوطه برای تأمین آسایش، مقدار مشخصی تعریف شده است. در مدل‌سـازی انجام‌شده مقادیر این پارامترها از مراجع و استانداردهای پذیرفته‌شده نقل شده است.[۱۹]

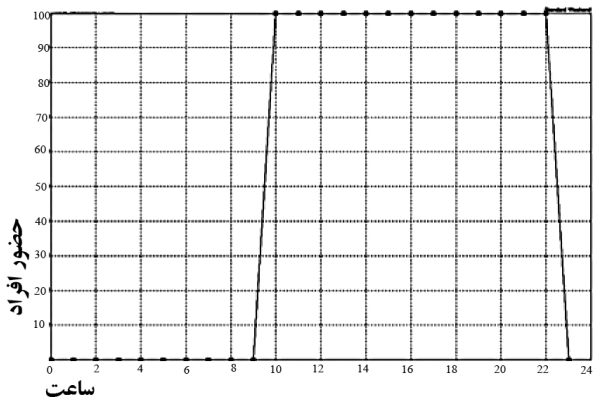
دمای تعیین‌شده برای ترموستات		حداقل ۱۶درجهٔ سانتی‌گراد	خالی
		حداقل ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد	اشغال‌شده
		حداکثر ۲۶درجهٔ سانتی‌گراد	اشغال‌شده
برنامهٔ زمان‌بندی استفاده از فضا	**بخش روز**	روزهای عادی	نمودار «ت ۸»
		روزهای تعطیل (پایان هفته و تعطیلات رسمی)[۲۰]	نمودار «ت ۹»
	بخش شب	روزهای عادی	نمودار «ت ۱۰»
		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 اشغال‌شده	تأمین گرمایش و سرمایش
		فضای خالی	گرمایش
پارامترهای تعیین‌کنندهٔ میزان تعویض هوای زون		نرخ تعویض هوا	(ach)1
		میزان حساسیت جریان هوا	(ach)25/0

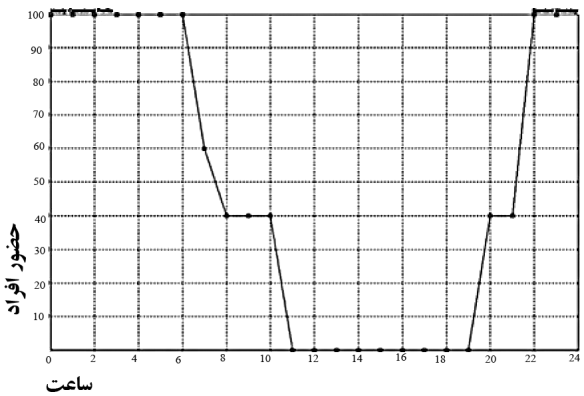
ت ۷. (بـالا) جـدول پارامترهای استفاده شده در محاسبات؛ مأخذ: نگارندگان.

۱۹. منبع اسـتانداردها: *بهینه‌سـازی 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 ۸. (بالا، راست) برنامهٔ اشغال بخش روز در روزهای عادی سال؛ مأخذ: نگارندگان.
ت ۹. (بالا، چپ) برنامهٔ 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.

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

اطلاعات

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

از مقایسهٔ بار گرمایشی و سرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۱ و ۲ می‌توان نتیجه گرفت در تمامی ماه‌های سال بار گرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۲ کمتر از نمونهٔ شمارهٔ ۱ است. با اصلاح پلان نمونهٔ شمارهٔ ۱ بر اساس چرخهٔ 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 واتساعت در سال به ۴۹۱۷۹۸ واتساعت در سال) کاهش یافت. در مقایسهٔ کلی در تبدیل نمونهٔ شمارهٔ ۱ به شمارهٔ ۲، مقدار بار حرارتی خانه در سال به ۸۵% (از ۴۵۳۹۲۶۶۷ واتساعت در سال به ۳۸۶۱۱۳۸۴ واتساعت در سال) کاهش یافت.

در مرحلهٔ دوم پوستهٔ ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (جدول ت ۴) اصلاح و نمونهٔ شمارهٔ ۳ مدل‌سازی شد. نتایج آنالیز حرارتی نمونهٔ شمارهٔ ۳ در جدول «ت ۱۴» آورده شده است. از مقایسهٔ بار گرمایشی و سرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت در تمامی ماه‌های سال بار گرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۳ کمتر از نمونهٔ شمارهٔ ۲ است. با اصلاح پوستهٔ 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 مقایسهٔ کلی در تبدیل نمونهٔ شمارهٔ ۲ به شمارهٔ ۳، میزان بار حرارتی خانه در سال به ۷۰% (از ۳۸۶۱۱۳۸۴ وات ساعت در سال به ۲۷۰۲۶۸۶۱ وات ساعت در سال) کاهش یافت.

در مرحلهٔ سوم، کاهش بار حرارتی ساختمان از طریق تغییر در محدودهٔ آسایش و کاهش حد پایین دمای ترموستات حاصل شد. رسیدن به شرایط آسایش، مبحث جامع و پیچیده‌ای‌ست که برای نیل به آن باید همهٔ 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 محدودهٔ 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 محدودهٔ آسایش منطقه (از ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد به ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد در زمان اشغال فضا و از ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد به ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد در زمان خالی بودن) نمونهٔ شمارهٔ ۴ مدل‌سازی شد. نتایج آنالیز حرارتی نمونهٔ شمارهٔ ۴ در جدول «ت ۱۵» آورده شده است.

از مقایسهٔ بار گرمایشی و سرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت در تمامی ماه‌های سال بار گرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۴ کمتر از نمونهٔ شمارهٔ ۳ است. با تغییر محدودهٔ آسایش در ساعات اشغال فضا از ۱۸ تا ۲۶ درجه در مدل شمارهٔ ۳ به ۱۶ تا ۲۶ درجه (بر اساس نمودار محدودهٔ آسایش منطقه) در مدل شمارهٔ ۴ و کاهش حد پایین ترموستات برای ساعات خالی‌بودن فضا از ۱۶ درجه به

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 نمونهٔ شمارهٔ ۱.
ت ۱۳. (چپ) جدول نتایج آنالیز حرارتی نمونهٔ شمارهٔ ۲.

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

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

بحث

در نمودار «ت ۱۶» نتایج آنالیز بار گرمایشی چهار نمونهٔ مدل‌سازی‌شده در تمامی ماه‌های سال نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌شود، بار گرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۱ در تمامی ماه‌های سال بیشترین میزان و سپس به ترتیب بار گرمایشی نمونهٔ شمارهٔ ۲ و نمونهٔ شمارهٔ ۳ بیشترین میزان است. این نمودار بیانگر آن است که فرایند مدل‌سازی نمونه‌ها از شمارهٔ 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 شمارهٔ ۱ به مدل شمارهٔ ۲، ۱۴/۵، با اصلاح پوستهٔ ساختمان بر اساس مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان در مدل شمارهٔ ۲ از مدل شمارهٔ ۱ به مدل شمارهٔ ۳، ۴۰%، و با کاهش دمای حد پایین ترموستات در مدل شمارهٔ ۳ از مدل شمارهٔ ۱ به مدل شمارهٔ 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 چرخهٔ خورشیدی با ۱۵% و در نهایت تغییر محدودهٔ آسایش با ۸% در جایگاه دوم و سوم اند.

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

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

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

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

سهم تغییر پوسته بر اساس مبحث نوزدهم در کاهش بار حرارتی بیشترین مقدار (۲۵/۵%) است و سپس جانمایی فضاها بر اساس چرخهٔ خورشیدی با ۱۴/۵% و در نهایت تغییر محدودهٔ 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 روزـدرجهٔ سرمایشی ماه‌های آن در مقابل روزـدرجهٔ گرمایشی تقریباً صفر است، تفاوت ناچیزی بین نسبت کاهش بار حرارتی مدل‌ها در قیاس با نسبت کاهش بار گرمایشی آن‌هاست.[۲۵]

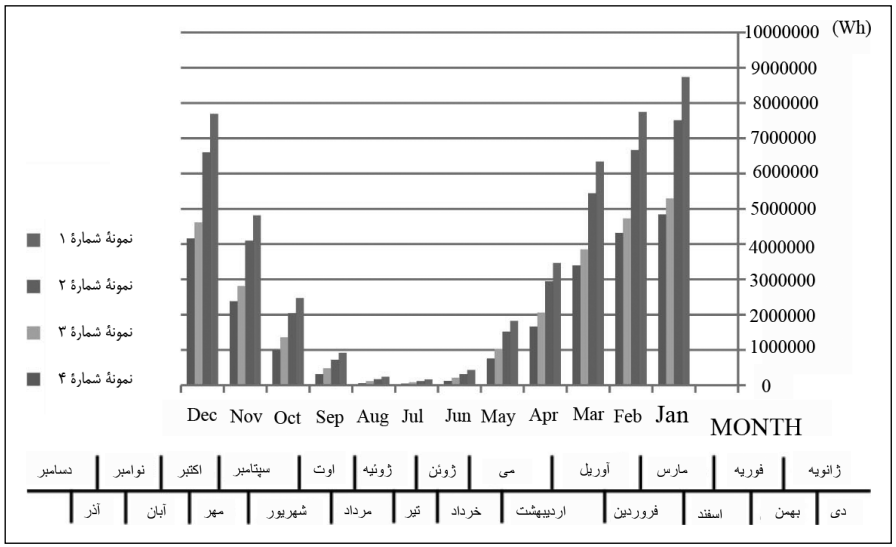
نتیجه‌گیری

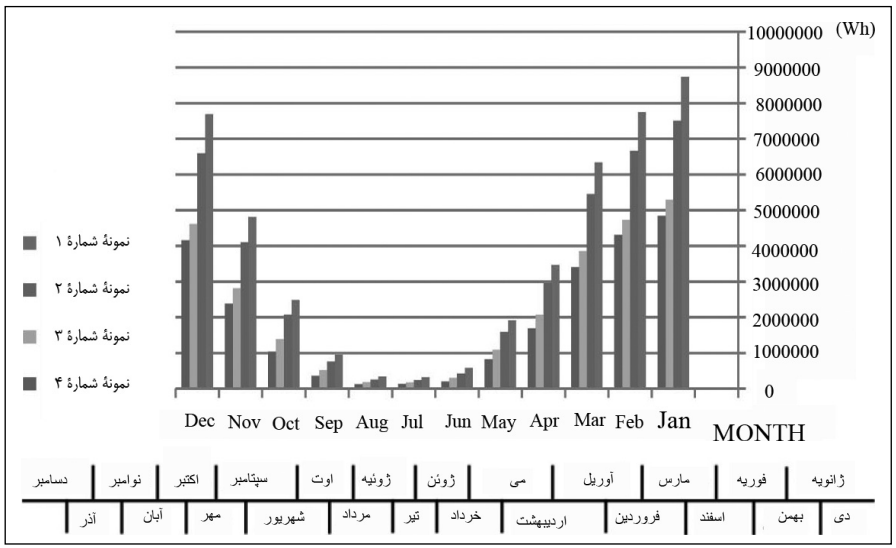
از آنچه در مراحل پیشین حاصل شده است می‌توان نتایج مختلفی برداشت کرد. این نتایج به ساختمان‌های مشابه بررسی‌شده محدود می‌شود. یعنی ساختمان مسکونی، فاقد نورگیر شرقی و غربی، بدون سایبان متحرک یا سایر تجهیزات کنترل‌کنندهٔ پنجره، و آب‌وهوای مشابه با وضعیت اردبیل. نتایج پژوهش بدین قرار اند:

۱. در طراحی ساختمان‌های مسکونی به منظور کاهش بار حرارتی منازل، می‌بایَد به نکات لازم جهت بهره‌مندی از تابش خورشید توجه کرد. علاوه بر جهت‌گیری حجمی ساختمان، نحوهٔ جانمایی فضاها در مرحلهٔ طراحی داخلی در میزان بار حرارتی ساختمان بسیار موثر است. در صورت انطباق طراحی داخلی با الگوی اشغال فضا توسط ساکنان از دیدگاه چرخهٔ 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 ارائهٔ الگوی مناسب جانمایی فضاها در پلان و دستور کار قرار دادن آن در مقیاس وسیع بدون صرف هزینهٔ مازاد، می‌توان به میزان زیادی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

ـ مقایسهٔ بار حرارتی نمونهٔ ساختمان مسکونی متداول شهر اردبیل با پلانی مغایر چرخهٔ خورشیدی با نمونهٔ اصلاح شده آن نشان می‌دهد که میزان بار حرارتی مورد نیاز در

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





سال برای هر متر مربع خانه، با اصلاح جانمایی فضاها در پلان از مدل شمارهٔ ۱ به مدل شمارهٔ ۲ با ۱۴/۵% (۳۳۲/۵ کیلووات‌ساعت در سال به ۲۸۵ کیلووات ساعت 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 تشکیل‌دهندهٔ پوستهٔ 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 پوستهٔ مدل شمارهٔ ۲ بر اساس مبحث نوزدهم و تبدیل آن به مدل شمارهٔ ۳، بار حرارتی ساختمان به میزان ۲۵/۵% (از ۲۸۵ کیلووات ساعت در سال به ۱۹۹/۵ کیلو وات ساعت 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 محدودهٔ آسایش منطقه (از ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد به ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد در زمان اشغال فضا و از ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد به ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد در زمان خالی بودن) در مدل شمارهٔ ۳ بار حرارتی ساختمان به میزان ۸% (از ۱۹۹/۵ کیلو وات ساعت در سال به ۱۷۳/۲ کیلووات در سال) کاهش یافت.

منابع و مآخذ

حیدری، شاهین. *بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با تکیه بر استاندارد 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.

ـــــــ . *اقلیم و معماری*. تهران: نشر خاک، ۱۳۸۳.

لنکر، نربرت. *گرمایش، سرمایش، روشنایی*. ترجمهٔ محمدعلی کی‌نژاد. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۸۵.

مازریا، ادوارد. *راهنمای کاربرد غیرفعال انرژی خورشیدی در ساختمان*. ترجمهٔ 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. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد انرژی ـ معماری. استاد راهنما: شاهین حیدری. تهران: دانشگاه تهران، دانشکدهٔ معماری پردیس هنرهای زیبای بهمن ۱۳۸۹.