

تحلیل محدوده نیاز حرارتی (نمودار سایکومتريک) بر مبنای تهیه و اعتبارسنجی فایل اقلیمی مبتنی بر داده‌های آب و هوایی (مطالعه موردی: ایران، شهر کرمانشاه)

محمد مهدی مقدسی^۱، شاهین حیدری^{۲*}، آزاده شاهچراغی^۳، خسرو دانشجو^۴

۱. پژوهشگر دکتری معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استاد دانشکده معماری، گروه تکنولوژی معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ایران

۳. دانشیار دانشکده هنر و معماری، گروه معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴. استادیار دانشکده هنر و معماری، گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۴/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۱۰/۱۴)

چکیده

در این تحقیق، با استفاده از روش سانديا، که یک روش آماری است، داده‌های نمونه آب و هوایی به صورت یک فایل اقلیمی از داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی برای دوره‌ای ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۵)، برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه شهر کرمانشاه تولید شده است. سپس، برای اعتبارسنجی، فایل اقلیمی دیگری با استفاده از نرم‌افزار متونورم برای شهر کرمانشاه ایجاد و با آن مقایسه شده است. نتایج با میانگین داده‌های واقعی سه پارامتر اصلی دمای خشک و رطوبت نسبی و جهت باد مقایسه و تهیه فایل اقلیمی یادشده اعتبارسنجی شده است. نتایج نشان می‌دهد روش سانديا انطباق بهتری با داده‌های واقعی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه کرمانشاه دارد. همچنین، بررسی نمودار تحلیل محدوده نیاز حرارتی (سایکومتريک) شهر کرمانشاه، خروجی نرم‌افزار کلايمنت کنسالتنت که با استفاده از فایل اقلیمی تهیه شده به روش سانديا ترسیم شده است، نشان می‌دهد در بیش از ۱۷ درصد از زمان سال، شرایط آسایش حرارتی در شهر کرمانشاه برقرار بوده که نشان‌دهنده افزایش محدوده آن نسبت به مطالعات پیشین است. این امر به طور کلی بیان‌کننده گرم‌تر شدن شرایط اقلیمی این شهر است.

کلیدواژه‌گان: آسایش حرارتی، شبیه‌سازی انرژی، فایل اقلیمی، مصرف انرژی، نمودار سایکومتريک.

مقدمه

برآورد صحیح مصرف انرژی در ساختمان‌ها، تهیه بانک داده‌های آب و هوایی در شهرهای مختلف ایران ضروری به نظر می‌رسد.

روش تحقیق و بیان مسئله

روش پژوهش در تحقیق حاضر توصیفی و تحلیلی-قیاسی است، به این صورت که در بخش‌هایی که مفاهیم مربوط به فایل آب و هوایی مطرح شده و به پیشینه و یا تحقیقات گذشته اشاره می‌شود، روش کار توصیفی خواهد بود. نرم‌افزار منتخب این تحقیق به دلیل ماهیت گرافیکی و مقایسه‌ای تحقیق، کلایمت کنسالنت^۱ بوده و در بخش‌هایی که تحلیل جدول سایکومتريک شهر کرمانشاه با استفاده از نرم‌افزار یادشده بررسی می‌شود، روش تحلیلی است. از آنجا که نتایج مطالعات با هم مقایسه می‌شوند، بنابراین روش قیاسی است. سؤال اصلی تحقیق به این شرح است: کدام‌یک از روش‌های تهیه فایل آب و هوایی به شرایط و داده‌های واقعی هواشناسی نزدیک‌تر بوده و میزان تفاوت جدول محدوده نیازهای حرارتی شهر کرمانشاه با مطالعات پیشین چگونه است؟

محدوده مطالعه شده

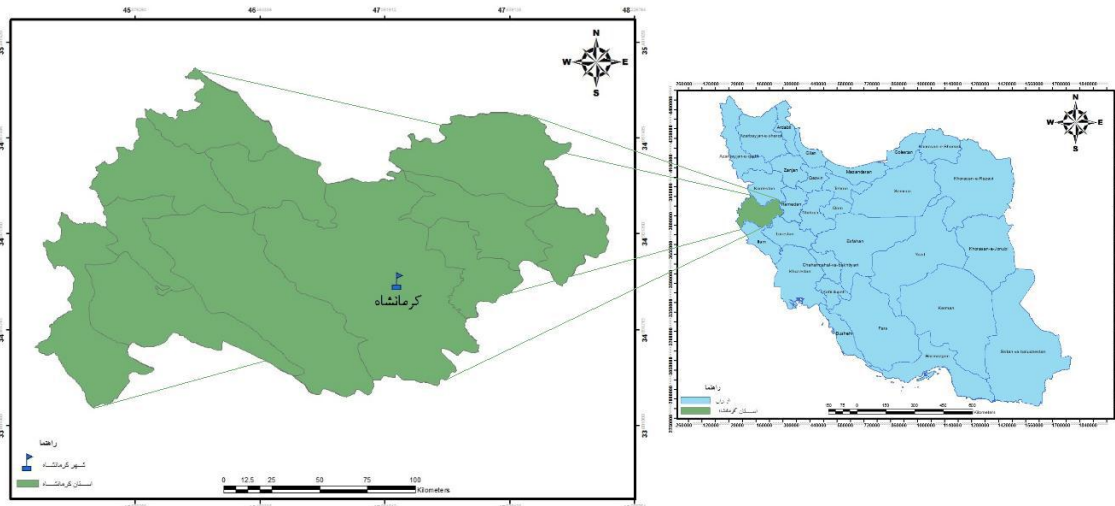
شهر کرمانشاه با ارتفاع متوسط ۱۳۱۸/۶ متر از سطح دریا در ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه طول شرقی در مرکزیت استان قرار دارد و به عنوان مرکز استان کرمانشاه نیز شناخته می‌شود. این استان در غرب کشور ایران قرار دارد و از شمال با استان کردستان از شرق با استان همدان و از جنوب و جنوب شرق با استان‌های ایلام و لرستان و از غرب با کشور عراق همسایه است. ناحیه آب و هوایی شهر کرمانشاه طبق تقسیمات اقلیمی کسامپی و همکارانش در حوزه سرد و کوهستانی دسته‌بندی شده است.

تهیه فایل اقلیمی (تی.ام.وای)

پیش از هر گونه شبیه‌سازی نرم‌افزاری در زمینه انرژی، باید اطلاعات جامعی در خصوص داده‌های هواشناسی محدوده مطالعه شده جمع‌آوری کرد. به منظور افزایش صحت و اعتبار هر گونه شبیه‌سازی باید این داده‌ها به صورت ساعتی در کل سال تهیه و پردازش شوند. برای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان معمولاً نه تا ۱۳ پارامتر اقلیمی مانند (دما، درصد رطوبت، میزان تابش خورشیدی، فشار هوا، سرعت و جهت

از مهم‌ترین شرایط اعتبار هر گونه شبیه‌سازی در حوزه انرژی ساختمان، وجود داده‌های اقلیمی محدوده مطالعه شده با بیشترین ضریب نزدیکی به واقعیت اقلیمی آن محدوده است. شرایط اقلیمی در بیرون ساختمان طی سال، بخش مهمی از داده‌های مد نظر بوده و مطلوب آن است که این داده‌ها به صورت ساعتی برای کل سال تهیه شود. برای شبیه‌سازی تبادل انرژی در ساختمان معمولاً ۱۰ تا ۱۳ پارامتر اقلیمی (مانند میزان تابش خورشیدی، دما، درصد رطوبت و ارتفاع از سطح دریا، سرعت و جهت باد و فشار) مورد نیاز است. این داده‌های اقلیمی نباید به صورت میانگین در سال یا فقط برای قسمتی از سال باشند، بلکه باید به صورت روزانه و در کل ۸۷۶۰ ساعت سال مشخص شوند [۱].

تحقیقات متعددی توسط محققان برای تهیه داده‌های آب و هوایی برای نقاط مختلف جهان انجام شده است. از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۳، اشری سه پروژه آرپی ۱۰۰، ۲۳۹ و ۳۶۴ را برای تهیه داده‌های آب و هوایی انجام داد [۲] و طرح جدیدی به نام تی.آر.ای را ارائه کرد [۳] این داده‌ها در شبیه‌سازی با نام دبلیو.وای.ای.سی شناخته می‌شوند و همان فرمت تی.آر.ای را دارد. با این تفاوت که در آن داده‌های تابش خورشیدی (اندازه‌گیری و یا محاسبه شده براساس میزان ابری بودن و نوع آن) نیز وجود دارند. اوایل سال ۱۹۹۰، اشری به‌روز کردن داده‌های دبلیو.وای.ای.سی را شروع کرد و نسخه جدید آن را، که دارای فرمت تی.ام.وای بوده و داده‌های محاسبه شده میزان روشنایی را نیز داشت، ارائه کرد. به‌روزآوری‌های بعدی شامل محاسبه داده‌های تابشی بوده است. نسخه به‌روز شده دبلیو.وای.ای.سی امروز با نام دبلیو.وای.ای.سی ۲ (نسخه ۲) شناخته می‌شود [۴] و تا کنون ۷۷ نسخه از آن ایجاد شده است. اشری در سال ۱۹۹۷ برای توسعه جهانی دبلیو.وای.ای.سی پروژه دیگری به نام آرپی را انجام داد که در سال ۲۰۰۱ به اتمام رسید و در آن داده‌های آب و هوایی برای ۲۲۷ ایستگاه در امریکا و اروپا تهیه شد [۵] البته، نوع فایل داده در نرم‌افزارهای مختلف متفاوت است. برای مثال، برنامه انرژی پلاس داده‌های ورودی را در شکل ای.پی.دبلیو می‌پذیرد. بعضی از مهم‌ترین فرمت‌های استفاده شده در برنامه‌های شبیه‌سازی عبارتند از: تی.ام.وای، تی.آر.وای، دی.ای.تی. بنابراین، برای



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعه شده در ایران

ماه از کل دوره به عنوان داده‌های ماه ژوئن برای ایجاد فایل اقلیمی انتخاب می‌شود، سایر ماه‌ها نیز به همین صورت انتخاب می‌شود. از آنجا که ممکن است برای ایجاد فایل‌های اقلیمی از اطلاعات مربوط به سال‌های مختلف استفاده شود، بین دو ماه پشت سر همی که از سال‌های مختلف انتخاب شده‌اند، برای شش ساعت در هر طرف یکسان‌سازی می‌شود. در روش ساندیای هر یک از ماه‌های سال بر اساس نه پارامتر روزانه (بیشترین، کمترین و متوسط دمای هوای، دمای نقطه شبنم، حداکثر و متوسط سرعت باد و میزان کل تابش رسیده به یک صفحه افقی) انتخاب می‌شود. مراحل این روش در ادامه توضیح داده می‌شود.

مراحل روش ساندیا

مرحله نخست: برای هر یک از ماه‌های سال، از میان آمار سال‌های دوره بلندمدت مد نظر (برای مثال، دوره ۳۰ ساله) پنج ماه که تابع توزیعی تجمعی شاخص‌های روزانه آنها به تابع توزیعی تجمعی ماه مد نظر در دوره بلندمدت آماری نزدیک‌تر است، انتخاب می‌شود. برای هر ماه از دوره بلندمدت آماری، تابع توزیع تجمعی برای هر یک از نه پارامتر بالا به صورت روزانه و همچنین برای کل دوره محاسبه می‌شود. روش محاسبه تابع توزیع تجمعی چنین است:

$$S_n(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ (k - \cdot / 5) / n & x_k \leq x \leq x_{k+1} \\ 1 & x \geq x_n \end{cases} \quad (1)$$

باد و ارتفاع از سطح دریا و...) اهمیت بیشتری دارند. این داده‌ها نباید برای قسمتی از سال یا به صورت میانگین سالیانه باشند بلکه باید به صورت روزانه و در کل ۸۷۶۰ ساعت سال مشخص شوند [۶].

روش‌های انتخاب داده‌ها در تهیه فایل اقلیمی

داده‌های اندازه‌گیری شده برای هر یک از ماه‌ها از میان اطلاعات اندازه‌گیری شده چند سال (یک دوره آماری) انتخاب می‌شوند. برای ۱۲ ماه هر سال از دوره آماری، از بررسی داده‌های اندازه‌گیری شده پنج مشخصه اصلی اقلیمی شامل: تابش کل خورشیدی، تابش مستقیم خورشیدی، دمای هوای خشک، دمای نقطه شبنم یا (رطوبت نسبی) در صورت در دسترس بودن و همچنین سرعت باد انتخاب می‌شود. انتخاب صحیح این داده‌ها برای صحت تولید فایل اقلیمی حیاتی است. برای سایر داده‌های مورد نیاز می‌توان از میانگین ماهیانه آماری نیز استفاده کرد.

روش ساندیا

برای تهیه داده‌های مورد نیاز در فایل‌های اقلیمی از داده‌های هوایی اندازه‌گیری شده، در این تحقیق از روش ساندیا^۱ استفاده می‌شود. ساندیا روشی آماری و تجربی است که داده‌ها را برای تک‌تک ماه‌های سال از اطلاعات اندازه‌گیری شده چندین ساله انتخاب می‌کند [۷]. به‌طور مثال، اگر اطلاعات ۳۰ ساله برای ماه ژوئن موجود باشد، با استفاده از یک روش آماری همه اطلاعات مقایسه شده و داده‌های یک

1. Sandia Method

۳۳ درصد (روزهای متوالی با انرژی خورشیدی کم) تعیین می‌شود. درصدهای تعیین‌شده برای انتخاب مناسب‌ترین سال از میان پنج سال انتخاب‌شده (برای آمار ماه مد نظر) برای استفاده در فایل تی.ام.وای استفاده می‌شود (درصدهای زیاد مربوط به روش ساندیاست). آمار ماه مد نظر در سالی که براساس نتایج به دست‌آمده در مرحله ۲ نزدیک‌ترین درصد را به معیار ماندگاری داشته، به عنوان آمار قابل استفاده در فایل تی.ام.وای انتخاب می‌شود. این قسمت را برای مثال می‌توان برای متوسط دمای هوای خشک روزانه به صورت زیر خلاصه‌سازی کرد.

الف) کل داده‌های متوسط دمای هوای خشک روزانه در هر ماه به صورت دوره آماری بلندمدت (کل دوره، برای مثال اگر برای ۱۰ سال باشد) مرتب شده و به کمترین مقدار آن، صفر و به بیشترین مقدار، ۱۰۰ داده شود.

ب) اطلاعات متوسط دمای هوای خشک روزانه در هر ماه از پنج سال انتخابی با دوره آماری بلندمدت مقایسه شده و محل قرارگیری آن در دوره آماری بلندمدت و در نتیجه درصد آن مشخص شده و در صورتی که بزرگ‌تر از ۶۷ یا کوچک‌تر از ۳۳ درصد باشد برای آن عدد یک و در غیر این صورت عدد صفر در نظر گرفته شده است.

ج) قسمت ب برای کل داده‌های هر ماه (متوسط دمای هوای خشک روزانه) به تعداد روز، انجام شده و مجموع مقادیر یک در هر ماه به دست می‌آید. اکنون، ماهی از کل دوره که مجموع اعداد یک آن بیشتر باشد در تی.ام.وای استفاده شده است.

مرحله پنجم: برای تکمیل آمار سالیانه هر یک از پارامترهای مد نظر، آمار ۱۲ ماهه به هم متصل می‌شود. به این منظور، پس از انتخاب ۱۲ ماه، بین ماه‌های مختلف برای شش ساعت با استفاده از برازش منحنی یکسان‌سازی انجام می‌شود.

ضریب وزنی در روش ساندیا

ضریب‌های وزنی برای هر داده کارکرد مهمی در انتخاب داده‌های فایل تی.ام.وای دارند. ضریب‌های وزنی، درجه اهمیت و حساسیت هر یک از داده‌ها را در انتخاب داده‌های تی.ام.وای نشان می‌دهند. مقدار ضریب‌های وزنی برای روش ساندیا در جدول ۱ آورده شده است.

که در آن (X) متغیر داده هوایی (نُه داده) و $S_n(X)$ مقدار تابع توزیعی تجمعی برای متغیر x ، n تعداد عناصر و $k = 1, 2, 3, \dots, n - 1$ است (تابع توزیع تجمعی بین صفر و یک است).

مقایسه توابع توزیعی تجمعی ماه‌های انتخاب‌شده و تابع توزیعی تجمعی دوره آماری بلندمدت با استفاده از روش آماری اف.اس انجام می‌شود. این انتخاب حاصل نتایج مراحل دیگری است که توضیح داده می‌شود. درخور یادآوری است که چون بعضی شاخص‌ها مهم‌تر از بقیه هستند، در روش آماری اف.اس از ضریب وزنی (w_s) برای انتخاب پنج ماه مد نظر استفاده می‌شود و داریم:

$$FS = (\sqrt{n}) \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (2)$$

δ_i قدر مطلق اختلاف بین تابع توزیعی تجمعی کل دوره و تابع توزیعی تجمعی یک دوره برای پارامتر x_i در یک روز بوده و n تعداد روزها در ماه است. بنابراین، مقدار اف.اس برای هر ماه در سال‌های مختلف از رابطه ۲ به دست می‌آید.

مرحله دوم: به دلیل اینکه بعضی از پارامترها نسبت به سایر پارامترها اهمیت بیشتری دارند، یک فاکتور وزنی به صورت رابطه ۳ استفاده می‌شود.

$$WS = \sum w_i FS_i \quad (3)$$

در این رابطه w_i ضریب وزنی پارامتر مد نظر و i نیز برابر نُه پارامتر است.

اکنون، برای هر ماه از سال‌های مختلف، ماهی که کمترین WS را داشته باشد به عنوان ماه منتخب (پنج ماه) برای مقایسه انتخاب می‌شود.

مرحله سوم: پنج ماه انتخابی، براساس میزان نزدیکی (انطباق) آنها به معدل و میانگین دوره آماری بلندمدت مرتب می‌شوند.

مرحله چهارم: میزان دوام و ماندگاری دو پارامتر متوسط دمای خشک و انرژی تأییدشده بر سطوح افقی، براساس درصد بیشتر یا کمتر بودن تکرار و انطباق آنها نسبت به درصد دوره آماری بلندمدت ارزیابی می‌شود. برای متوسط روزانه دمای خشک، تکرار و انطباق بیشتر از ۶۷ درصد (روزهای متوالی گرم) و تکرار و انطباق کمتر از ۳۳ درصد (روزهای متوالی سرد) تعیین می‌شود. برای انرژی تأییدشده بر سطوح افقی، تکرار و انطباق کمتر از

جدول ۱. جدول ضرایب وزنی روش سانديا

نام پارامتر هوایی	مقدار ضریب وزنی در روش سانديا
پیشینه دمای خشک	۱/۲۴
کمیتۀ دمای خشک	۱/۲۴
متوسط دمای خشک	۲/۲۴
پیشینه دمای شبنم	۱/۲۴
کمیتۀ دمای شبنم	۱/۲۴
متوسط دمای شبنم	۲/۲۴
پیشینه سرعت باد	۲/۲۴
متوسط سرعت باد	۲/۲۴
کل تابش	۱۲/۲۴
کل تابش عمود	-

(برحسب وات بر مترمربع سطح افقی) مربوط به همین دوره آماری، که به صورت میانگین روزانه است، از همین ایستگاه جمع‌آوری شده است. از آنجا که برای تهیه فایل اقلیمی به روش یادشده باید داده‌های ساعتی در دسترس باشد، بنابراین چهار داده جمع‌آوری شده، که توضیح داده خواهد شد، با استفاده از میان‌یابی در نرم‌افزار اکسل به صورت ساعتی درون فایل تی.ام.وای قرار داده شده است:

۱. دمای هوای خشک

۲. رطوبت نسبی

۳. تابش کل

۴. تابش مستقیم

همچنین، با توجه به اینکه داده تابش جمع‌آوری‌شده دوره آماری یادشده مربوط به تابش کل و به صورت میانگین روزانه ایستگاه هواشناسی کرمانشاه است و مقدار تابش مستقیم و پراکنده رسیده به سطح در دست نیست، می‌توان برای محاسبه آن از روش واتانابه یا روش‌های معتبر دیگر استفاده کرد [۸]. در این تحقیق با توجه به در دسترس نبودن مقدار تابش مستقیم و پراکنده، برای محاسبه این داده‌ها از روش واتانابه که برای اقلیم‌های ژاپن ارائه شده، استفاده شده است. سپس، برای اعتبارسنجی محاسبات مقادیر تابش کل واقعی جمع‌آوری‌شده پیرانومتر ایستگاه هواشناسی کرمانشاه با مقادیر تابش کل برآوردشده روش واتانابه مقایسه شده است. درخور یادآوری است که براساس مطالعات گسترده‌ای که در این زمینه توسط محققان ایرانی انجام شده، مقدار تابش مستقیم محاسبه‌شده توسط این روش و نتایج اندازه‌گیری‌شده برای سایر شهرهای مختلف ایران نیز مقایسه شده و نتایج رضایت‌بخشی به دست آمده است.

با توجه به اینکه داده‌های اندازه‌گیری‌شده تابش کل رسیده به سطح افقی، به صورت میانگین روزانه در دسترس است، در این تحقیق با استفاده از روش‌های زیر این داده‌ها به داده‌های ساعتی تابش تبدیل شدند.

الف) محاسبه میزان تابش رسیده به سطح در جهت عمود بر آن (Gen) به صورت ساعتی؛

برای محاسبه میزان تابش رسیده به سطح در جهت عمود بر آن به صورت روزانه از رابطه ۴ استفاده شده است:

داده‌های بین دو ماه منتخب

برای دو ماهی که از میان سال‌های مختلف انتخاب شده، برای شش ساعت در هر طرف داده‌های دمای هوای خشک، دمای شبنم (یا درصد رطوبت)، سرعت باد، جهت باد، فشار اتمسفری، درصد آب موجود در هوا، از برآزش منحنی استفاده می‌شود. همچنین، درصد رطوبت را می‌توان پس از محاسبه دمای هوای خشک و شبنم از روی روابط موجود محاسبه کرد.

داده‌های گزارش‌نشده

داده‌های اندازه‌گیری‌شده ممکن است برای بعضی ماه‌ها و ساعت‌ها گزارش نشده باشند. بنابراین، هنگام انتخاب داده‌های تی.ام.وای این مقادیر گزارش‌نشده باید محاسبه و به‌روزآوری شوند. در این تحقیق از روش زیر برای اصلاح آنها استفاده شد:

۲) (مقدار سه ساعت قبل + مقدار سه ساعت بعد) = مقدار گزارش‌نشده

تهیه فایل تی.ام.وای برای شهر کرمانشاه به روش سانديا همچنان که گفته شد، برای تهیه فایل اقلیمی شهر کرمانشاه بر اساس روش سانديا، داده‌های دمای هوای خشک، رطوبت نسبی، تابش کل و تابش مستقیم به صورت ساعتی و سرعت و جهت باد به صورت هر سه ساعت یکبار به ترتیب اهمیت مورد نیاز است. بنابراین، کلاسۀ آماری یادشده مربوط به دوره آماری (۲۰۰۵-۲۰۱۵) از ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمانشاه که به صورت هر سه ساعت یک بار در کل روز اندازه‌گیری شده بودند و همچنین داده‌های تابش کل اندازه‌گیری‌شده

دریافت شده توسط صفحه افقی در همان نقطه طی زمان مد نظر (روزانه، ماهیانه یا ساعتی) به مقدار تابش دریافتی همین صفحه افقی طی همان زمان اگر این نقطه در خارج از جو زمین قرار داشته باشد. ضریب صافی هوا را می توان برای هر روز، ساعت یا ماه محاسبه کرد (رابطه ۷):

$$K_{th} = s \frac{G_h}{G_{eh}} \quad (7)$$

در این رابطه، G_h کل تابش رسیده به سطح افقی در سطح زمین و G_{eh} کل تابش رسیده به سطح افقی خارج از جو زمین است. اگر ضریب صافی هوا و G_{eh} به درستی محاسبه شود، می توان گفت که میزان تابش رسیده به سطح افقی در سطح زمین نیز به درستی محاسبه می شود. دوفی در سال ۱۹۸۰، رابطه زیر (رابطه ۸) را برای محاسبه مقدار ساعتی ضریب صافی از روی مقدار ماهیانه آن ارائه کرد.

$$K_{th} = \left[a + b \cos \frac{\pi}{12} (h - 12) \right] K_{tm} \quad (8)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60)$$

H زمان برحسب ساعت و ω_s زاویه ساعت برای طلوع یا غروب خورشید است (در این روابط $(\omega_s - 60)$ باید به رادیان تبدیل شود).

(د) تابش مستقیم خورشیدی رسیده به سطح در جهت عمود بر آن در سطح زمین (G_{bn}); در صورتی که مقدار تابش مستقیم بر صفحه افقی محاسبه شده باشد، G_{bn} با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می شود:

$$G_{bh} = G_{bn} \cos \theta_z \quad (9)$$

در این رابطه زاویه سمت الرأس برحسب رادیان است. در صورتی که مقدار تابش مستقیم و پراکنده رسیده به سطح افقی در دست نباشد، می توان بری محاسبه آن از روش واتانابه یا روش های معتبر دیگر استفاده کرد. در این تحقیق با توجه به در دسترس نبودن مقدار تابش مستقیم و پراکنده، برای محاسبه این داده ها از روش واتانابه که برای اقلیم های ژاپن ارائه شده، استفاده شده است. در مطالعات گسترده ای که در این زمینه انجام شده و همچنین مطالعات قبلی برخی پژوهشگران، مقدار G_h محاسبه شده توسط این روش و نتایج اندازه گیری شده برای

$$G_{en} = G_{sc} \left(\frac{1}{0.011} + \frac{0.034221 \cos \beta + 0.0128 \sin \beta}{0.000719 \cos^2 \beta + 0.00077 \sin^2 \beta} \right) \quad (4)$$

$$\frac{6/283185}{365} \frac{n-1}{365}$$

در این رابطه، G_{sc} عدد ثابت خورشیدی بوده و برابر است با 1367 W/m^2 (n شماره روزها از اول ژانویه).

(ب) تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی در خارج از اتمسفر (G_{eh}):

G_{eh} با استفاده از زاویه سمت الرأس (θ_z) و رابطه ۵ محاسبه می شود:

$$G_{eh} = G_{en} \cos \theta_z \quad (5)$$

زاویه سمت الرأس عبارت است از زاویه بین اشعه خورشید و قائم بر سطح افق برحسب رادیان که با استفاده از رابطه ۶ (در مثلثات کروی بر حسب درجه) قابل محاسبه است:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (6)$$

ϕ عرض جغرافیایی، δ زاویه انحراف و ω زاویه ساعت است.

(ج) تابش کل خورشیدی رسیده به سطح افقی روی زمین (G_h):

برای محاسبه G_h نخست با در دست داشتن داده های واقعی اندازه گیری شده برای تابش خورشیدی توسط ایستگاه هواشناسی، میزان واقعی ضریب صافی ماهیانه محاسبه می شود. با داشتن مقدار واقعی ضریب صافی ماهیانه، با استفاده از روش دوفی که در ادامه توضیح داده می شود [۹] مقدار ساعتی آن محاسبه شده و سپس با داشتن ضریب صافی، میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی به صورت ساعتی محاسبه می شود. البته، باید توجه داشت که در روش سانديا برای هر سال از کل دوره آماری، نیاز به داشتن کل تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی در روز است. بنابراین، برای هر سال با استفاده از داده های ماهیانه تابش و روش دوفی، مقدار کل تابش خورشیدی روزانه رسیده به سطح افقی محاسبه شده و برای انتخاب ماه مناسب توسط روش سانديا استفاده می شود. پس از انتخاب ماه های مد نظر به روش سانديا تابش خورشیدی رسیده به سطح نیز انتخاب شده و به صورت ساعتی در داده های ت.ام.وای قرار داده می شود.

ضریب صافی هوا در هر نقطه از سطح زمین با طول و عرض جغرافیایی معین عبارت است از نسبت انرژی

می‌دهد به‌خصوص در نیمه دوم سال میلادی انطباق خوبی با آمار واقعی نشان می‌دهد.

در این قسمت میزان تابش مستقیم با استفاده از روش واتانابه و با استفاده از رابطه ۱۰ برحسب وات بر مترمربع محاسبه شده است.

$$K_{TC} = 0.4268 + 0.1934 \sin \alpha_s$$

$$K_{DC} = K_{th} - \left(\frac{1}{1.07} + \frac{0.3569 \sin \alpha_s + 1}{681 \sin^2 \alpha_s} \right) (1 - K_{th})^2 \quad \text{if } K_{th} \geq K_{TC}$$

$$K_{DC} = \left(\frac{3}{996} - \frac{3}{862 \sin \alpha_s} + \frac{1}{54 \sin^2 \alpha_s} \right) K_{th}^2 \quad \text{if } K_{th} < K_{TC} \quad (10)$$

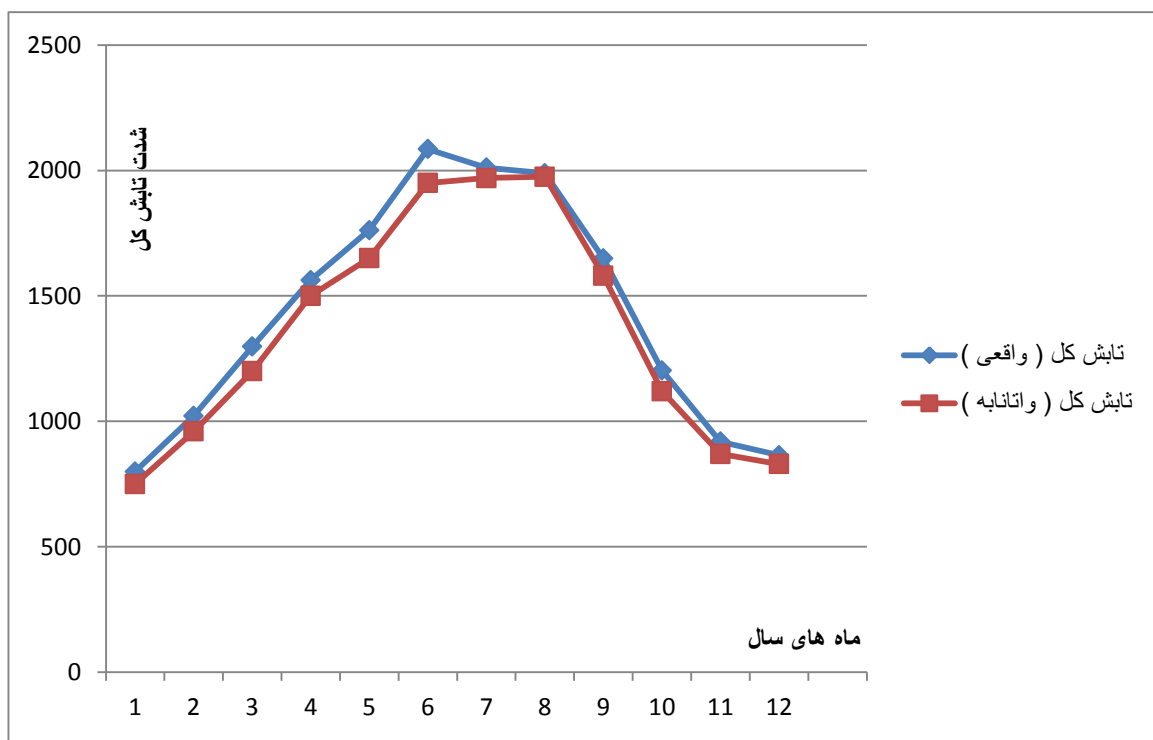
$$G_{bh} = G_{en} K_{DS} \frac{1 - K_{th}}{1 - K_{DS}} \sin \alpha_s$$

Gbh تابش مستقیم، Kth ضریب صافی هوا به صورت ساعتی و α_s زاویه فراز برحسب رادیان است. همان طور که گفته شد، داده‌های مربوط به جهت و سرعت وزش باد در دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۵ ایستگاه هواشناسی کرمانشاه به صورت سه ساعت یکبار در فایل تی.ام.وای قرار گرفته است.

شهرهای مختلف ایران مقایسه شده و نتایج رضایت‌بخشی به دست آمده است.

در شکل ۲ (نمودار مقایسه‌ای) مقادیر شدت تابش کل محاسبه شده بر اساس مدل واتانابه با آمار واقعی شدت تابش کل پیرانومتر ایستگاه فرودگاه کرمانشاه در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۵ مقایسه شده و همان طور که نشان

Gbh تابش مستقیم، Kth ضریب صافی هوا به صورت ساعتی و α_s زاویه فراز برحسب رادیان است. (و) تابش پراکنده خورشیدی رسیده به سطح افقی روی زمین (Gdh). در روش واتانابه میزان تابش پراکنده برحسب W/m^2 محاسبه می‌شود.



شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای شدت تابش کل (برحسب وات بر مترمربع) براساس آمار واقعی پیرانومتر ایستگاه هواشناسی فرودگاه کرمانشاه و شدت تابش کل محاسبه شده براساس مدل واتانابه در بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۵

این رساله به روش سانديا که هر دو بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵ یکسان دارند، مقایسه شده است. سپس، نتایج به دست آمده در سه پارامتر اصلی دمای هوای خشک، رطوبت نسبی و جهت وزش باد با کلاسه آمار واقعی سه پارامتر یادشده ایستگاه هواشناسی کرمانشاه مقایسه شده و در نتیجه میزان نزدیک بودن به کلاسه آمار واقعی بیان کننده صحت و اعتبار هر یک از فایل های اقلیمی مربوط به آن خواهد بود.

اعتبارسنجی فایل اقلیمی (تی.ام.وای) با پارامترهای اقلیمی واقعی شهر کرمانشاه

در این بخش برای بررسی اعتبارسنجی فایل تی.ام.وای تهیه شده در مرحله قبل به روش سانديا ابتدا با استفاده از نرم افزار متونورم فایل اقلیمی تی.ام.وای شهر کرمانشاه تولید و کلاسه خروجی های فایل اقلیمی یادشده تحت نرم افزار کلایمت کانسالتنت با خروجی های فایل اقلیمی تهیه شده در

جدول ۲. خلاصه داده های هواشناسی شهر کرمانشاه براساس فایل اقلیمی تی.ام.وای تهیه شده به روش سانديا

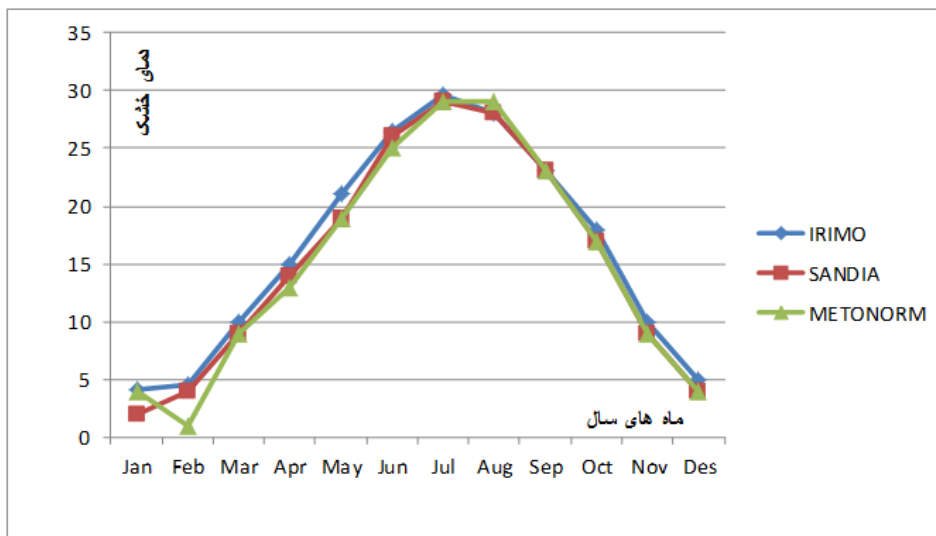
WEATHER DATA SUMMARY		LOCATION: Kermanshah-IRIMO-station-40766, Kermanshah, Islamic Republic of Iran Latitude/Longitude: 34.31° North, 47.07° East, Time Zone from Greenwich 3 Data Source: IRIMO-40766 40766 WMO Station Number, Elevation 1311 m											
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	341	385	361	566	577	576	513	501	494	400	362	331	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	617	568	360	679	624	648	509	536	617	548	656	639	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	83	106	150	121	137	122	147	133	115	109	83	84	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	664	766	919	1024	1037	1036	1011	961	912	820	712	605	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	967	984	1014	962	921	931	913	894	932	968	984	952	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	266	369	544	426	446	457	432	416	386	492	303	296	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	3412	4121	4272	7310	7975	8217	7200	6631	6035	4453	3703	3234	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	6182	6047	4251	8757	8625	9242	7144	7089	7524	6091	6701	6227	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	835	1151	1775	1561	1898	1740	2062	1775	1412	1211	845	824	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	36243	41322	39608	60848	62019	61644	55404	54132	53204	43217	38495	35154	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	56712	54007	34565	66039	61165	63036	49956	52672	59677	52111	60274	57696	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	2	4	9	14	19	26	29	28	23	17	9	4	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	-3	-1	0	3	4	0	0	0	-1	0	1	-2	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	67	62	49	50	40	19	15	15	19	33	60	59	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	130	120	140	110	180	240	220	230	240	80	80	80	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	16	15	15	17	21	25	28	29	28	26	22	19	degrees C

جدول ۳. خلاصه داده های هواشناسی شهر کرمانشاه براساس فایل اقلیمی تی.ام.وای با استفاده از نرم افزار متونورم

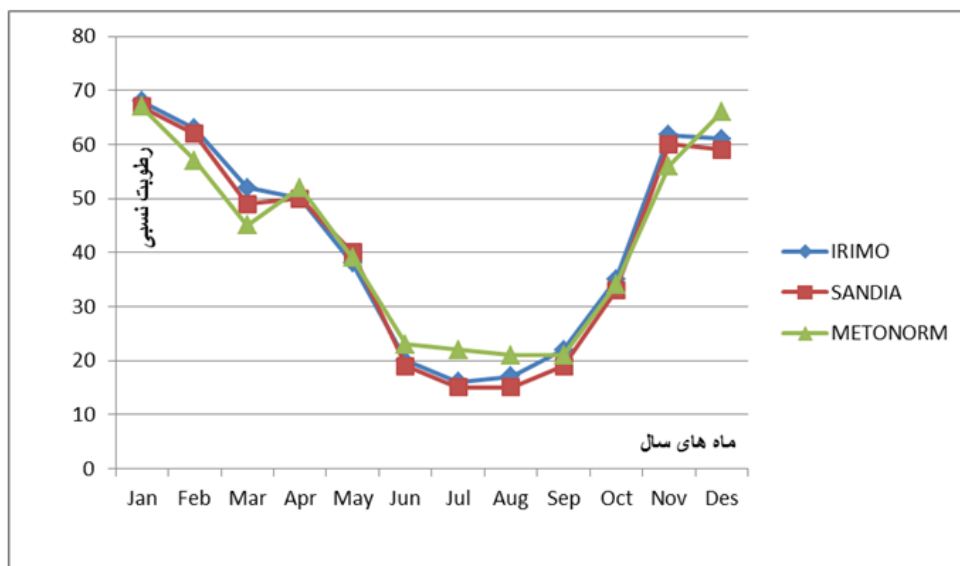
WEATHER DATA SUMMARY		LOCATION: Kermanshah, - Latitude/Longitude: 34.317° North, 47.117° East, Time Zone from Greenwich 3 Data Source: MN7 407660 WMO Station Number, Elevation 1322 m											
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	292	359	399	452	510	558	537	545	493	399	327	287	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	430	460	410	444	497	605	551	596	604	537	467	489	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	106	127	156	163	166	134	154	131	117	112	106	85	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	668	836	976	1093	1120	1071	1063	1032	1018	833	748	616	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	987	1010	1004	1004	1023	984	982	1003	1019	1000	1007	984	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	291	388	416	443	504	470	471	451	414	384	302	256	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	2912	3843	4720	5819	7059	7964	7537	7218	6038	4427	3344	2805	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	4287	4908	4828	5707	6870	8635	7743	7882	7389	5941	4781	4777	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	1065	1371	1852	2104	2296	1914	2163	1748	1436	1251	1087	834	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	31376	38489	43023	48903	55264	60072	58200	58875	53047	43305	35521	31025	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	39487	43010	38347	42083	47455	58652	52867	58193	58558	51607	43967	45354	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	1	4	9	13	19	25	29	29	23	17	9	4	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	-3	-3	-2	3	4	1	4	3	-2	0	0	-1	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	67	57	45	52	39	23	22	21	21	34	56	66	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	220	200	210	210	200	290	210	260	240	200	110	290	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 1 Depths)	12	9	8	9	12	15	19	22	23	22	19	15	degrees C

اعتبارسنجی فایل اقلیمی تهیه شده به روش سانديا، در این تحقیق سه پارامتر اصلی دمای هوای خشک، رطوبت نسبی و جهت و سرعت وزش باد هر یک از فایل های اقلیمی که به صورت میانگین ماهیانه ارائه شده است با کلاسه آمار میانگین ماهیانه واقعی سه پارامتر یاد شده ایستگاه هواشناسی کرمانشاه طی همان بازه زمانی مقایسه شده اند و نتایج آن در شکل های (نمودارهای مقایسه ای) ۳- ۵ قابل بررسی است.

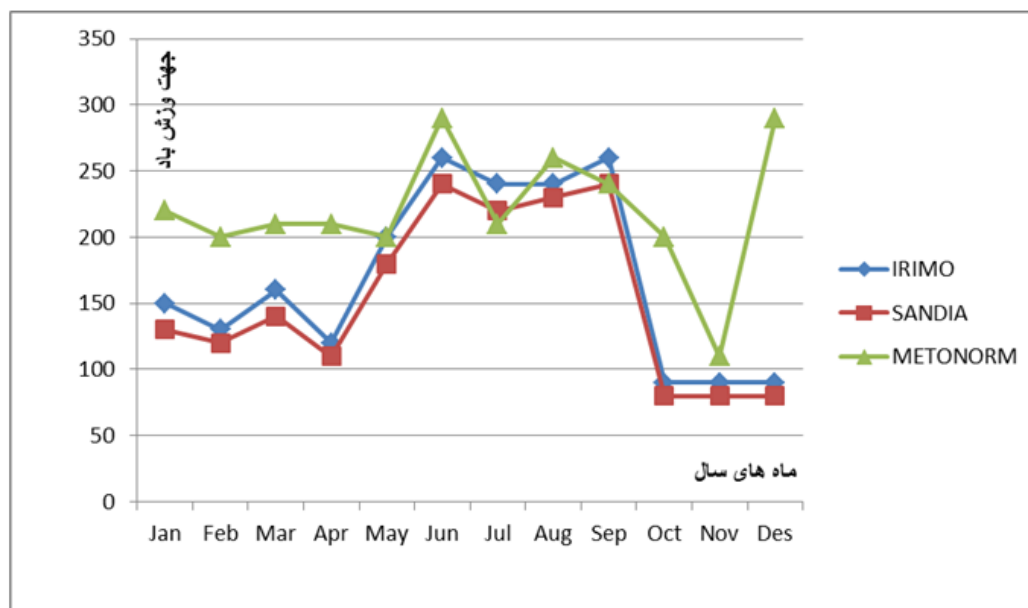
جدول ۲ خلاصه داده های هواشناسی ایستگاه هواشناسی فرودگاه شهر کرمانشاه را در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵ براساس فایل اقلیمی تی.ام.وای تهیه شده از روش سانديا و جدول ۳ خلاصه داده های هواشناسی ایستگاه هواشناسی فرودگاه شهر کرمانشاه براساس فایل اقلیمی تهیه شده با استفاده از نرم افزار متونورم را با استفاده از نرم افزار کلایمت کانسالتنت در همان بازه زمانی نشان می دهد. به منظور



شکل ۳. نمودار مقایسه ای میانگین ماهیانه دمای خشک خروجی سانديا و متونورم و آمار واقعی ایستگاه هواشناسی کرمانشاه در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵



شکل ۴. نمودار مقایسه ای میانگین درصد رطوبت نسبی خروجی سانديا و متونورم و آمار واقعی



شکل ۵. نمودار مقایسه‌ای جهت باد خروجی سانديا و متونورم و آمار واقعی ایستگاه هواشناسی

آن از مناطق مختلف نمودار، نشان دهنده تنوع شرایط گرمایی طی شبانه‌روز و به تبع آن نیاز به فضاهای متنوع با خرداقلیم‌های گوناگون برای همسازي با شرایط اقلیمی است [۱۰]. شکل ۶ نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی (سایکومتریک) ایستگاه هواشناسی شهر کرمانشاه را براساس فایل اقلیمی تی.ام.وای تهیه‌شده در مراحل قبل و با استفاده از خروجی گرافیکی نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت نشان می‌دهد. همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد، داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهر کرمانشاه، شامل دمای خشک، رطوبت نسبی، تابش کل و تابش مستقیم خورشیدی و جهت و سرعت حرکت باد به صورت ساعتی طی یک دوره ۱۰ ساله ۲۰۰۵-۲۰۱۵ استفاده شده است، پس از تبدیل داده‌های یادشده به فایل اقلیمی به روش سانديا و اعتبارسنجی آن در مراحل قبلی در این بخش پارامترهای اقلیمی یادشده در محیط نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت به صورت گرافیکی استخراج شده و مورد تحلیل و مقایسه با سایر شاخص‌های اقلیمی موجود همچون مدل‌های آسایش حرارتی گیونی براساس مطالعات پهنه‌بندی اقلیمی کشور قرار گرفته [۱۱] تا روند تغییرات اقلیمی و نیازهای آسایش حرارتی در شهر کرمانشاه نسبت به مطالعات پیشین مشخص شود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در نمودار سایکومتریک در شهر کرمانشاه (شکل ۷)، به طور کلی شرایط آسایش نسبت به

همان‌طور که از شکل‌های (نمودارهای) مقایسه‌ای ۳-۵ مشخص است، بیشترین انطباق سه پارامتر اصلی تهیه فایل‌های اقلیمی با کلاسه آمار واقعی ایستگاه هواشناسی کرمانشاه در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵ در کلاسه خروجی‌های فایل اقلیمی تهیه‌شده به روش سانديا در این تحقیق مشاهده می‌شود که این امر بیان‌کننده صحت روش تهیه فایل مربوطه و وجود اعتبار در آن است.

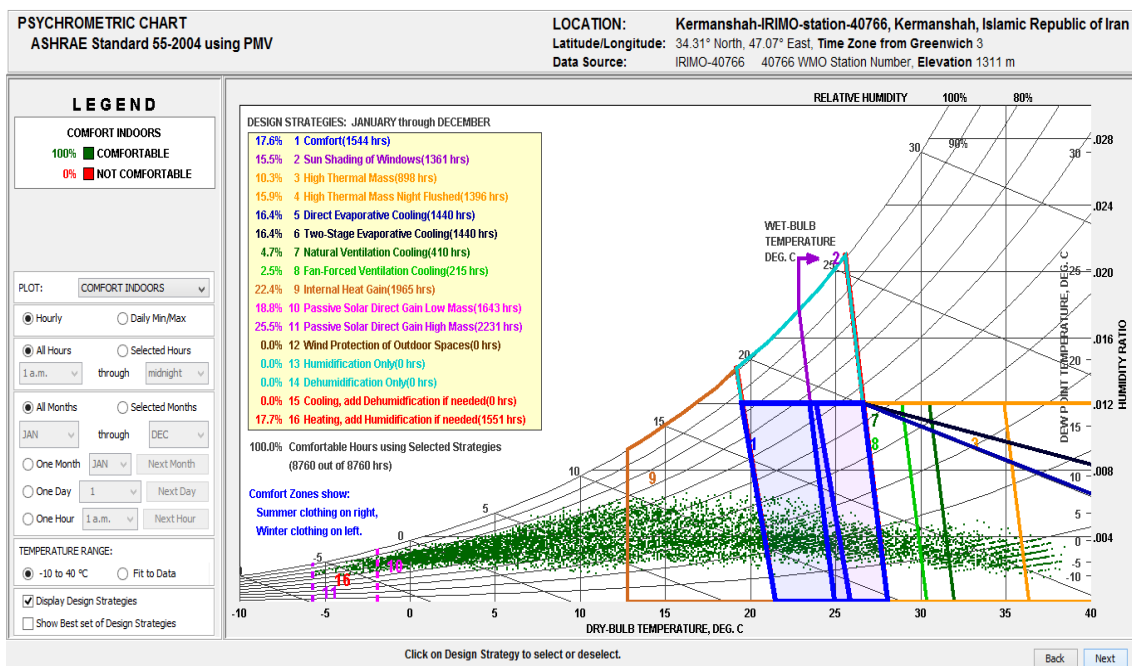
بحث و نتیجه‌گیری

با انتخاب معیار آسایش زیست‌اقلیمی ساختمانی برای تحلیل وضعیت آب و هوایی محل، لازم است اطلاعات مربوط به دما و رطوبت نسبی حداقل و حداکثر ماهیانه روی این نمودار ترسیم شود. به این منظور، وضعیت دما و رطوبت گرم‌ترین و سردترین زمان یک روز نمونه از هر ماه روی نمودار تعیین می‌شود. اتصال دو نقطه که مربوط به شرایط روز و شب هر ماه است، توسط یک خط مستقیم، وضعیت آن ماه را روی معیار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی^۱ نشان می‌دهد. عبور این خط از مناطق مختلف نمودار، نشان‌دهنده شرایط شبانه‌روزی آن ماه است. بدیهی است در شرایطی که طول خط کوتاه باشد و از مناطق کمتری عبور کند، نشان‌دهنده ثبوت شرایط گرمایی در یک شبانه‌روز خواهد بود. به‌عکس طولانی‌بودن خط و عبور

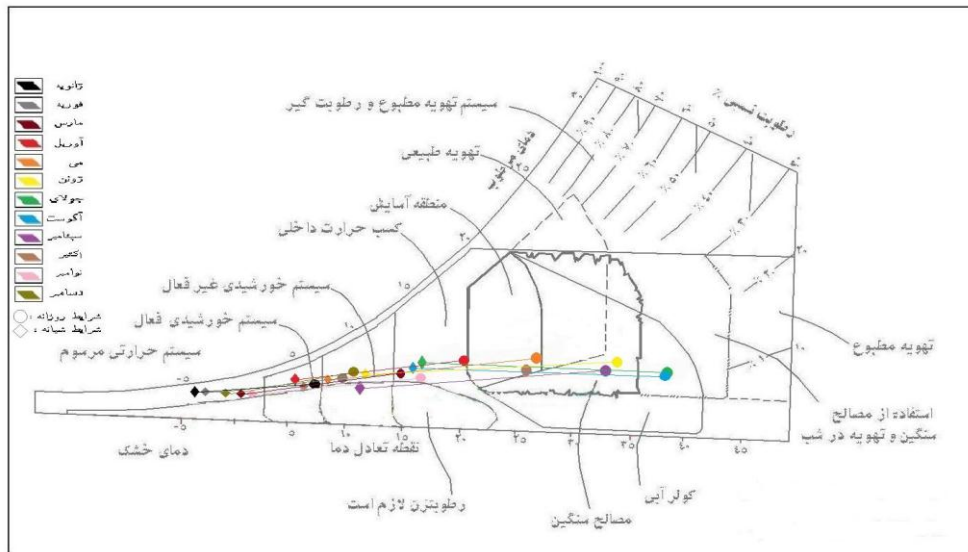
1. Givoni model

آسایش به صورت طبیعی فراهم می شود، برای شبها استفاده از سیستم خورشیدی غیرفعال (استفاده از مصالح خازن و فضاهای خورشیدی براساس دریافت تابش خورشید و جذب و ذخیره گرمای آن در مصالح طی روز و پس دادن گرما به محیط داخل در شب) مؤثر است. ماه های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر گرم ترین دوره در شهر کرمانشاه است و در این ماهها به دلیل زیادبودن دما، میزان رطوبت نسبی کم است و شرایط آسایش حرارتی چندان مطلوب نیست و احساس راحتی و آسایش در ساختمانها مستلزم نیاز تأمین رطوبت در فضای داخل ساختمان است که این امر می تواند به وسیله کولرهای آبی صورت گیرد. همچنین، با استفاده از ویژگی های مصالح ساختمانی متناسب با شرایط اقلیمی، می توان هوای داخل ساختمان را در منطقه آسایش قرار داد. بنابراین، باید با استفاده و انتخاب مصالح سنگین و مقاوم در برابر حرارت و دمای هوای خارج ساختمان، که دارای بیشترین زمان تأخیر نیز باشند، از ورود هوای گرم به داخل ساختمان جلوگیری کرد. در ماه سپتامبر، برای شبها هم استفاده از سیستم خورشیدی غیرفعال مفید است.

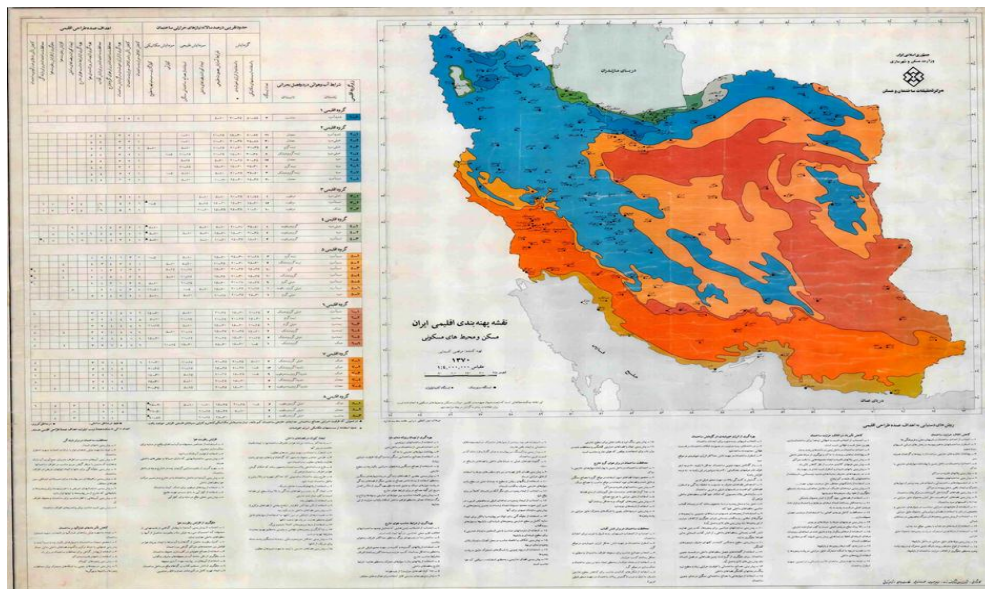
سایر مدلها همچون مدل گیونی (شکل ۸) که براساس نقشه پهنه بندی اقلیمی کشور تهیه شده تغییرات نسبتاً زیادی دارد و همان طور که در آن مشاهده می شود، در بیش از ۱۷ درصد ایام سال شرایط آسایش حرارتی در اقلیم شهر کرمانشاه برقرار است. به طور کلی، این موضوع به دلیل افزایش دمای هوا در فصول سرد سال نسبت به گذشته است، اما به صورت جزئی در ماه ژانویه روزها برای ایجاد آسایش داخل ساختمان استفاده از سیستم خورشیدی فعال و طی شب نیاز به استفاده از وسایل گرمایی و سیستم های مکانیکی حرارت را الزامی است. در ماه های فوریه و دسامبر در روزها برای احساس شرایط آسایش استفاده از سیستم خورشیدی غیرفعال نیاز است. همچنین، در شب های این ماهها شهر کرمانشاه در منطقه سیستم حرارتی مرسوم مشاهده می شود که ضرورت استفاده از وسیله گرمایی احساس می شود. در ماه های مارس، آوریل و نوامبر طی روز کسب حرارت داخلی و در شب استفاده از سیستم حرارتی مرسوم برای ماه آوریل و سیستم خورشیدی فعال برای ماه های مارس و نوامبر شرایط آسایش را در داخل ساختمان فراهم می کند. در ماه های می و اکتبر شرایط



شکل ۶. نمودار زیست اقلیمی شهر کرمانشاه (سایکومتريک) براساس فایل اقلیمی تی.ام.وای شهر کرمانشاه خروجی گرافیکی نرم افزار کلايتم کانسالنت



شکل ۷. نمودار زیست‌اقليمی ساختمانی شهر کرمانشاه با روش گیونی برگرفته از پهنه‌بندی اقليمي ایران



شکل ۸. پهنه‌بندی اقليمي ایران

سپس، این اطلاعات با استفاده از جدول سایکرومتریک نرم‌افزار کلايمنت کانسالتنت که برای کلیه ماه‌های سال تنظیم شده، تکمیل می‌شود. در سطرهای جدول، به مجموع بیشترین مقادیر پیش‌بینی شده در نمودارهای یادشده اشاره شده است. همان‌طور که در این مقادیر مشخص است، به‌رغم افزایش محدوده شرایط آسایش در شهر کرمانشاه طی سال‌های اخیر نسبت به گذشته، نیاز به گرمایش مکانیکی کاهش و نیاز به سرمایش مکانیکی افزایش یافته است که این موضوع بیان‌کننده گرم‌تر شدن شرایط اقليمي شهر کرمانشاه نسبت به سال‌های گذشته است.

در جدول ۴ به مقایسه نمودار زیست‌اقليمی شهر کرمانشاه بر اساس مطالعات پهنه‌بندی اقليمي کشور در بازه زمانی ۱۹۶۶-۱۹۸۲ با نمودار سایکرومتریک شهر کرمانشاه مطابق با فایل اقليمي تی.ام.وای تهیه‌شده ایستگاه هواشناسی کرمانشاه در مراحل قبل و خروجی نرم‌افزار کلايمنت کانسالتنت آن در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۵ میلادی پرداخته شده است. به این صورت که ابتدا براساس نقشه پهنه‌بندی اقليمي، محدوده زمانی که شرایط آسایش به صورت طبیعی برقرار است و یا با استفاده از راهکارهای گرمایشی و یا سرمایشی شرایط آسایش برقرار می‌شود را درج کرده است.

جدول ۴. مقایسه محدوده نیاز حرارتی در شهر کرمانشاه براساس دو مدل نقشه پهنه‌بندی اقلیمی (نمودار گیونی) و نمودار سایکومتریک بر اساس فایل اقلیمی تی.ام.وای

فایل اقلیمی تی.ام.وای (خروجی گرافیکی نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت) (درصد)	نقشه پهنه‌بندی اقلیمی (نمودار گیونی) (درصد)	عنوان
۱۷/۶	۱۰-۵	شرایط آسایش به صورت طبیعی
۱۷/۷	۴۰-۳۵	سیستم‌های مکانیکی
۲۲/۴	۲۵-۲۰	انرژی خورشیدی
۴/۷	-	ایجاد کوران در فضاهای داخلی
۱۰/۳	۱۰-۵	استفاده از مصالح ساختمانی سنگین
۱۶/۴	۵-۰	کولر آبی
-	-	کولر گازی - سیستم تهویه مطبوع
۸۹/۱	۹۰	مجموع با احتساب همپوشانی

- [6]. A Ebrahimpour, M Maerefat. A method for generation of typical meteorological year. Energy Conversion and Management. 2010;51. 410-417.
- [7]. I Hall, R Prairie, H Anderson, E Boes. Generation of Typical Meteorological Years for 26 SOLMET Stations, SAND78-1601. Sandia National Laboratories, 1978.
- [8]. T Watanabe. Procedures for Separating Direct and Diffuse Insolation on a Horizontal Surface and Prediction of Insolation on Tilted Surfaces. Transactions. Architectural Institute of Japan. Tokyo. Japan. 1983; 330.
- [9]. J A Duffie and WA Beckman. Solar energy of thermal processes. John Wiley. New York. 1980.
- [10]. Razjooyan Mahmoud. Comfort in the shelter of architecture compatible with the climate. Second edition. Tehran, Shahid Beheshti University press: 1388. [Persian].
- [11]. Kasmaei Morteza. Climatic zoning of Iran: housing and residential environments. First edition Tehran. Building and Housing Research Center press: 1372 [Persian].

منابع

- [1]. Ebrahimpour AbdulSalam, Marefat Mehdi. Improvement of TMY climate data for Tehran. Journal of echanical Science. 2011; 11 (2): 77-91. [Persian].
- [2]. ASHRAE. Weather year for energy calculations. ASHRAE research project. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc. 1985.
- [3]. L W Crow. description of typical year weather data. Chicago midway airport. ASHRAE research project 100. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 1970.
- [4]. L W Crow. Development of hourly data for weather year for energy calculations (WYEC), including solar data, at 21 Weather Stations throughout the United States. ASHRAE Trans. 1980; 87(1).
- [5]. LW Crow. Development of hourly data for weather year for energy calculations (WYEC), including solar data, at 29 stations throughout the united states and 5 stations in Canada. ASHRAE research project 364. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc. 1983.