

تعیین محدوده آسایش حرارتی در شرایط آب و هوای خشک

(مطالعه موردی: شهر یزد)

دکتر محمد حسن صادقی روش* سید مهدی طباطبائی**

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش نهایی: ۸۷/۰۸/۰۱

چکیده

در فرایند توسعه همگام با محیط زیست، ارزیابی آسایش حرارتی به صورت بومی ضروری می باشد، زیرا با تعیین این حدود از اتلاف مقدار متناسبی از انرژی جلوگیری می شود. بیش از ۶۰ درصد وسعت ایران در اقلیم خشک و فراه خشک واقع شده است، بنابراین شناسایی محدوده های آسایش در این اقلیم اهمیت مضاعفی می یابد. به منظور محاسبه محدوده آسایش حرارتی در شرایط خشک، شهر یزد مورد توجه قرار گرفت و با استفاده از مدل اولگی و اصلاح مرزهای آسایش حرارتی مدل مذکور بر مبنای عرض جغرافیایی، داده های اقلیمی و مشاهدات میدانی، محدوده آسایش حرارتی برای دوره های گرم و سرد سال محاسبه گردید. بر اساس نتایج حاصله، محدوده آسایش حرارتی برای منطقه مطالعاتی در شرایط تابستانی $27^{\circ} - 21/8^{\circ}$ و برای شرایط زمستانی $23^{\circ} - 20/4^{\circ}$ درجه سانتیگراد ارزیابی شد. رعایت محدوده حرارتی پیشنهادی ضمن تأمین شرایط مناسب داخلی، از مصرف ناپایدار انرژی جلوگیری می کند.

واژه های کلیدی

آب و هوای خشک، آسایش حرارتی، صرفه جوئی در مصرف انرژی، یزد

مقدمه

طبق تعریف، شرایط آسایش حرارتی^۱، محدوده‌ای است از دما و رطوبت که در آن ساز و کار تنظیم حرارت بدن در حداقل فعالیت باشد (Giovoni, 1976, pp 287) تعیین محدوده آسایش حرارتی بر محاسبات حرارتی ساختمان، اندازه دستگاه‌های حرارتی و برودتی و ضخامت عایق و جنس مصالح و به طور کلی بر میزان مصرف و اتلاف انرژی تأثیر مستقیم دارد. و با توجه به اینکه افراد در شرایط اقلیمی یکسان احساس آسایش دمایی مشابهی دارند، (Fishman and Pimbert, 1979, pp 682) لازم است که برای هر منطقه اقلیمی، محدوده آسایش حرارتی به طور دقیق مشخص شود.

پنج عامل اقلیمی دما، رطوبت، فشار بخار آب، سرعت جریان هوا (باد) و تابش از جداره‌های داخلی در تعیین محدوده آسایش حرارتی مورد توجه می‌باشند و سایر عوامل از جمله نوع فعالیت، پوشش، سن و جنس افراد به دلیل اینکه قابل کنترل نیستند، ثابت فرض شده‌اند (رازجویان، ۱۳۶۷، ص ۳۸ الی ۵۲).

به منظور محاسبه محدوده‌های آسایش حرارتی کوشش‌های زیادی صورت گرفته است، یکی از اولین روش‌های مشهور، استفاده از خطوط آسایش معادل است که نشان‌دهنده دمای موثر بود و با علامت (ET^2) مشخص می‌شد. سپس با انجام اصلاحاتی دمای موثر نوین (ET^{*3}) مطرح شد (Gagge et al, 1972, pp 247-262). فانگر محدوده آسایش را بر اساس محاسبه میزان تبادل حرارت بین بدن انسان و محیط ارائه کرد (Fanger, 1972, pp 43-55) از آنجائی که این روش، بسیاری از معیارهای آسایش را در بر دارد روش کاملی به حساب می‌آید. این روش تحت عنوان PMV^4 عنوان شد. بعدها این روش توسعه یافت و تحت عنوان PPD^5 مطرح شد. اولگی روشی را مطرح کرد که نه تنها همانند روش فانگر، معیارهای آسایش متعددی را مد نظر قرار داده بود بلکه پیشنهادی را برای کاربرد این روش برای عرض‌های جغرافیایی دیگر (عرضهای زیر ۴۰ درجه) ارائه داد (Olgaya, 1973, pp 14-23). اداره استاندارد ایالات متحده به سال ۱۹۸۵، میزان رطوبت سطح پوست که به واسطه تعرق به وجود می‌آید را بهترین روش برآورد ناراضایتی حرارتی برشمرد و بر این اساس دمای سطح پوست (ts) و میزان رطوبت آنرا (w) به عنوان دو عامل مهم در محاسبه حدود آسایش حرارتی ارائه کرد (ASHRAE, 1985, pp 819-823). در ادامه زوکلاوی در سال ۱۹۸۷ محدوده دمای آسایش را بر اساس میانگین دمای محیط تعریف کرد (Szokolay, 1987, pp 134-165).

در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه آسایش حرارتی به انجام رسیده است که عمدتاً رابطه این موضوع را با عوامل دیگر از جمله اتلاف انرژی (Holz et al, 1997, pp 31-43; Martin et al, 2008, pp 561-572; Corgnati et al, 2008, pp 627-636) شرایط اقلیمی (Tsutsumi et al, 2007, pp 4034-4042; Becker et al, 2003, pp 747-756) مدت زمان در معرض حرارت روزانه قرار گرفتن و غیره (Chun et al, 2008, pp 877-885)، شرایط کاری متفاوت و جنس کارگران (Amai et al, 2007, pp 3955-3964)، میزان رطوبت (Kosar and Dumitrescu, 2005, pp 1051-1060) و غیره، بیان می‌کند. در این مطالعات به منظور تعیین وضعیت و محدوده آسایش حرارتی معمولاً از مدل‌های اشاره شده استفاده شده است.

با توجه به روش‌های مختلف برآورد حدود آسایش حرارتی محققان در کشورهای مختلف محدوده‌های مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند، که برخی از آنها در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود.

محدوده‌های دمائی پیشنهادی از 5°C تا حد اکثر 54°C و میزان رطوبت نسبی نیز از صفر تا ۱۰۰ درصد در نوسان بوده است (در شرایط پوششی درون خانه و انجام فعالیت سبک). غیر از محدوده دمائی فانگر (ردیف ۱۴ جدول ۱) (Fanger, 1972, pp 47; Van Hoof, 2008, pp182-201) در سایر موارد محدوده‌های آسایش حرارتی با توجه به شرایط اقلیمی هر کشور تعیین شده است، به این معنی که در کشورهای با اقلیم سرد و مرطوب مثل انگلیس محدوده‌های دمائی پایین و رطوبتی بالا و در اقلیم‌های گرم مثل فرانسه و آمریکا محدوده‌های دمائی بالا و رطوبتی پایین پیشنهاد شده است. علت این امر تأثیر مستقیم محدوده آسایش حرارتی بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. در کشورهای با آب و هوای سرد با کاهش محدوده آسایش تا حد قابل تحمل برای افراد، میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای گرمایش کاهش می‌یابد و در اقلیم‌های گرم با نزدیک کردن محدوده آسایش به مرزهای احساس گرما و احساس سرما، مقدار مصرف انرژی را برای سرمایش و گرمایش در طول سال به حد بهینه می‌رسانند (قبادیان و فیض مهدوی، ۱۳۷۲، ص ۲۴۹). در کشور ما نیز تعیین مرزهای آسایش حرارتی در مدیریت بهینه مصرف انرژی خصوصاً مصرف سوخت‌های فسیلی تأثیر به‌سزائی خواهد داشت.

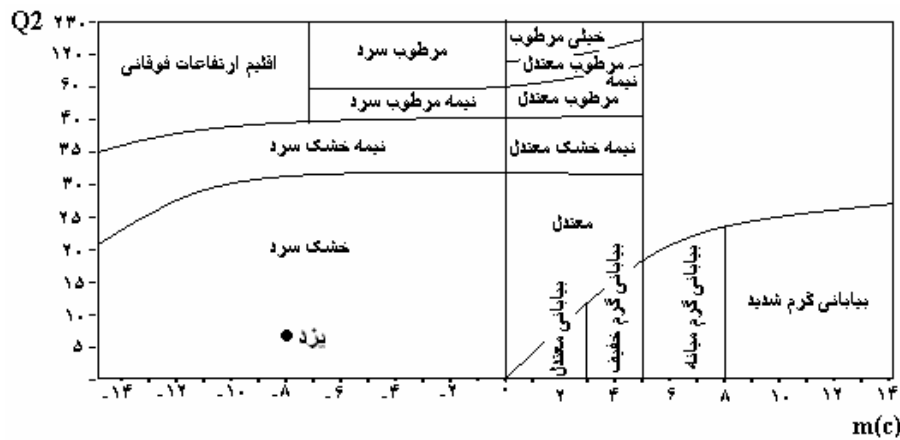
| شماره ردیف | منبع | دما (C) | رطوبت (%) |
|------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| ۱ | ورنون ^۶ (انگلیس) | ۱۹ تابستان-۱۶/۷ زمستان | - |
| ۲ | بدفورد ^۷ (انگلیس) | ۲۲-۱۳ | - |
| ۳ | بروکس ^۸ (انگلیس) | ۲۱-۱۴/۵ | - |
| ۴ | P4.S.R (انگلیس) | ۲۷-۵۴ دمای خشک ۱۶-۳۶ دمای مرطوب | - |
| ۵ | استاندارد انگلستان | ۲۷-۲۱/۵ | ۵۵ |
| ۶ | مارکام ^۹ | ۲۴/۵-۱۵/۵ | ۴۰-۷۰ |
| ۷ | H.S.I (آمریکا) | ۴۹-۲۱ | - |
| ۸ | دمای مؤثر (آمریکا) | ۲۷-۲۲ | - |
| ۹ | دمای مؤثر (آمریکا) | ۲۱/۵-۱۷ | - |
| ۱۰ | یاگلو-درینگر ^{۱۰} (آمریکا) | ۲۴-۱۹ | - |
| ۱۱ | اوگلی ^{۱۱} (آمریکا) | ۲۷/۷-۲۱ | ۳۰-۶۵ |
| ۱۲ | استاندارد ایالات متحده آمریکا | ۲۵/۶-۲۲/۲ | ۲۰-۸۰ |
| ۱۳ | I.T.S | ۵۰-۲۰ | - |
| ۱۴ | فانگر ^{۱۲} (دانمارک) | ۴۰-۵ | ۰-۱۰۰ |
| ۱۵ | استاندارد آلمان | ۲۶-۲۰ | ۳۵-۶۵ |
| ۱۶ | دمای منتج (فرانسه) | ۴۵-۲۰ دمای خشک | - |
| ۱۷ | استاندارد فرانسه | ۱۹ | - |
| ۱۸ | استاندارد اطریش | ۲۰ | - |

Fanger, 1972; Olgyay, 1973; Giovani, 1976 and Ashrae, 1985

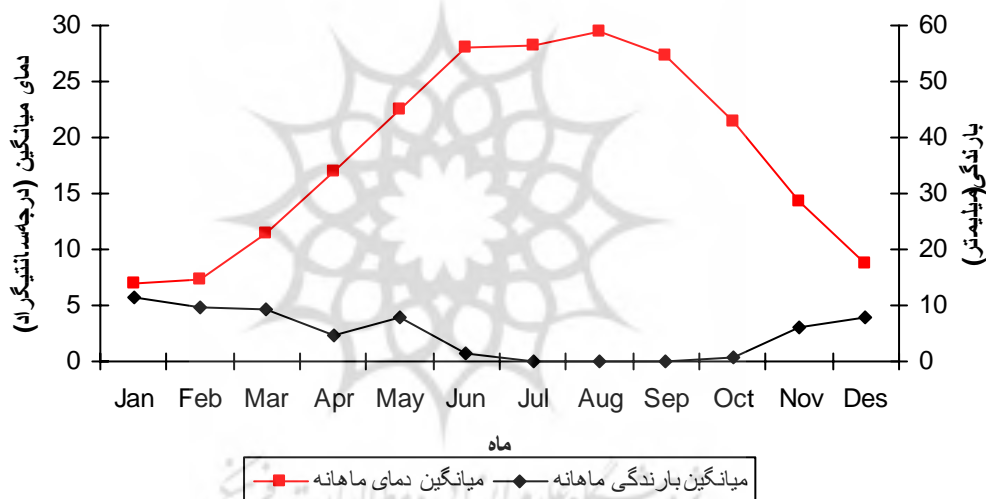
جدول ۱: محدوده آسایش حرارتی

از آنجا که ۶۴/۶۶ درصد از وسعت اراضی کشور به مساحت ۱۰۴۶۴۴۶ کیلومتر مربع در اقلیم‌های خشک و فرا خشک واقع شده است (دفتر تنبیت شن و بیابان زدائی، ۱۳۸۴، ص ۸)، تعیین محدوده آسایش حرارتی در این اقلیم در اولویت قرار گرفت. بنابراین شهر

یزد با موقعیت جغرافیایی $31^{\circ}54'$ عرض شمالی و $54^{\circ}24'$ طول شرقی و ارتفاع ۱۲۳۰ متر از سطح دریا با اقلیم خشک و سرد (شکل ۱) و فاقد ماه مرطوب (شکل ۲)، به عنوان یک نمونه بارز از اقلیم‌های خشک مد نظر قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت اقلیمی شهر یزد بر مبنای اقلیم نمای آمبروزه طی سالهای ۲۰۰۶-۱۹۹۷ مأخذ: نگارندگان



شکل ۲- کلیگرام ایستگاه یزد طی سالهای ۲۰۰۶-۱۹۹۷ مأخذ: نگارندگان

روش تحقیق

در این پژوهش به منظور دستیابی به محدوده آسایش حرارتی یزد، ضمن بررسی و مقایسه محدوده آسایش حرارتی سایر کشورها (جدول ۱) روش اولگی (Olgay, 1973, PP 14-23) که در آن قابلیت تطبیق برای عرض‌های جغرافیایی زیر 40° درجه پیش بینی شده است، مد نظر قرار گرفت (شکل ۳). و با توجه به عرض جغرافیایی شهر یزد، نمودار زیست اقلیمی^{۱۳} اولگی، در محدوده آسایش حرارتی تابستانی، اصلاح شد. (افزایش $0/4$ درجه حرارت به ازاء هر 5 درجه تنزل عرض جغرافیایی) سپس برآورد اولیه‌ای از حد بالا و پایین آسایش حرارتی تابستانه (۶ ماه گرم سال، از ۱۱ فروردین تا ۱۱ مهر) و زمستانه (۶ ماه سرد سال، از ۱۲ مهر تا ۱۰ فروردین) بر طبق نمودار زیست اقلیمی اصلاح شده اولگی صورت گرفت.

در ادامه عوامل اقلیمی مورد نیاز از جمله رطوبت نسبی، دما و بارندگی به منظور ارزیابی وضعیت اقلیمی، برآورد وضعیت آسایش حرارتی در ماه‌های مختلف و ترسیم نمودار زیست اقلیمی شهر یزد، از آمارهای ۱۰ ساله ایستگاه سینوپتیک فرودگاه یزد (سالنامه‌های آماری سازمان هواشناسی، سالهای ۲۰۰۶-۱۹۹۷) استخراج شد. و با محاسبه میانگین ماهانه و سالانه درجه حرارت خشک و رطوبت نسبی بر طبق مدل اولگی و انتقال داده‌های برآورد شده بر روی نمودار زیست اقلیمی، وضعیت آسایش حرارتی ایستگاه یزد به تفکیک ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۳). در نهایت با توجه به نمودار زیست اقلیمی اصلاح شده اولگی، مشاهدات میدانی و اطلاعات آماری ماهانه از وضعیت اقلیمی و با هدف کاهش مصرف انرژی، محدوده‌های آسایش حرارتی شهر یزد تعیین شد.

به منظور تهیه نمودار زیست اقلیمی شهر یزد، بر طبق مدل اولگی، علاوه بر محدوده آسایش حرارتی، محدوده رطوبت نسبی بهینه نیز می‌بایست ارزیابی شود. در این راستا با توجه به محدوده‌های آسایش حرارتی تعیین شده و میانگین رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه یزد و در نظر گرفتن رطوبت نسبی ماهایی که در محدوده آسایش حرارتی قرار دارند (ماههای فروردین، اردیبهشت و مهر) و با ارزیابی و مقایسه دامنه‌های رطوبت نسبی پیشنهادی ارائه شده در مدل‌های مختلف (جدول ۱)، محدوده رطوبت نسبی بهینه به منظور شکل دهی نمودار زیست اقلیمی شهر یزد تعیین شد.

در نهایت با برآورد محدوده‌های آسایش حرارتی تابستانه و زمستانه و محدوده‌های رطوبتی بهینه ایستگاه یزد به منظور سهولت کاربرد، این نتایج در چارچوب جدول بیوکلیماتیک ساختمانی ارائه شده توسط جیوانی (Giovani, 1976, PP 286)، تنظیم و جدول زیست اقلیمی شهر یزد تهیه شد (شکل ۴).

نتایج

برای تعیین محدوده‌های آسایش حرارتی در یزد، با دیدگاه کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، لازم است که محدوده مزبور را با توجه به شرایط حرارتی تابستانی و زمستانی این شهر پیشنهاد کرد. زیرا در اقلیم یزد در اوقات گرم نیاز به سرمایش و در اوقات سرد نیاز به گرمایش است. تعیین محدوده آسایش حرارتی تابستانی و زمستانی سبب می‌شود، مرزهای آسایش حرارتی به مرزهای حرارتی قابل تحمل افراد نزدیک شده و در مصرف انرژی طی سال صرفه جویی چشمگیری به عمل آید.

همانطور که در روش تحقیق بیان شد، با مقایسه نمودارهای حرارتی که برای آنها محدوده آسایش مشخص شده است، تنها نمودار اولگی است که در آن قابلیت تطبیق برای عرض‌های جغرافیایی زیر ۴۰ درجه پیش بینی شده است. لذا در تعیین محدوده آسایش حرارتی یزد از این نمودار استفاده شد (شکل ۳).

با محاسبه میانگین درصد رطوبت نسبی ماهانه و سالانه و میانگین درجه حرارت خشک ماهانه و سالانه ایستگاه یزد طی دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۰۶-۱۹۹۷) (جدول ۲) و تعیین موقعیت ماهانه و سالانه ایستگاه مذکور بر روی نمودار آسایش حرارتی (نقاط ۱ الی ۱۳ (شکل ۳) طبق نظر اولگی، حد بالا و پایین آسایش حرارتی تابستانه، اصلاح شد (Olgaya, 1973, PP 19)، به این منظور با توجه به اینکه حد پایین و بالای آسایش حرارتی شهر یزد طبق نمودار اولگی (شکل ۳) در تابستان $21/2^{\circ}C$ و $28^{\circ}C$

می‌باشد و از آنجا که شهر یزد در 31° عرض شمالی واقع شده است، و در نتیجه اختلاف عرض جغرافیایی محل از عرض جغرافیایی مبنا (40° N)، 1° می‌باشد، می‌بایستی طبق مدل اولگی $0/65^{\circ}$ C به حد پایین و بالای آسایش حرارتی تابستانه اضافه شود، بنابراین حد پایین آسایش حرارتی در تابستان $21/8^{\circ}$ C و حد بالای آن $28/65^{\circ}$ C خواهد بود و همچنین حد پایین آسایش حرارتی در زمستان $20/4^{\circ}$ C و حد بالای آن $24/8^{\circ}$ C می‌باشد.

| Year | Dec | Nov | Oct | Sep | Aug | Jul | Jun | May | Apr | Mar | Feb | Jan | Month |
|-------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|---------|-------|------|------|----------------|
| سال | آذر | آبان | مهر | شهریور | مرداد | تیر | خرداد | اردیبهشت | فروردین | اسفند | بهمن | دی | ماه |
| 20/34 | 8/1 | 12/89 | 21/39 | 27/66 | 31/54 | 33/44 | 31/18 | 26/28 | 20/84 | 14/62 | 9/98 | 6/49 | درجه حرارت خشک |
| 26/9 | 50/6 | 37/5 | 21/8 | 14/6 | 13/3 | 14/5 | 13/6 | 18/9 | 25/6 | 30/4 | 36/3 | 52/8 | رطوبت نسبی (%) |

جدول ۲: میانگین ماهانه و سالانه دمای خشک و رطوبت نسبی ایستگاه یزد (۱۹۹۷-۲۰۰۶) مأخذ: سالنامه های آماری سازمان هواشناسی، سالهای ۱۹۹۷-۲۰۰۶

با مشاهده موقعیت ماهانه ایستگاه یزد بر روی نمودار زیست اقلیمی اولگی (شکل ۳) این نتایج حاصل می‌شود که تنها سه ماه فروردین، اردیبهشت و مهر (نقاط ۴، ۵ و ۱۰) در محدوده آسایش حرارتی قرار گرفته و چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور (نقاط ۶، ۷، ۸ و ۹) در وضعیتی قرار دارند که بدون جریان هوا و برودت ناشی از تبخیر ذرات، احساس آسایش برای افراد میسر نیست. در نهایت پنج ماه دیگر سال، شامل ماه‌های دی، بهمن، اسفند، آبان و آذر (نقاط ۱، ۲، ۳، ۱۱ و ۱۲)، در موقعیتی قرار گرفته‌اند که احساس آسایش بدون قرار گرفتن در معرض گرمای تابشی (انرژی خورشید یا منبع دیگر) امکان پذیر نیست.

نگاهی به آمار ۱۰ ساله هواشناسی (۱۹۹۷-۲۰۰۶) نشان می‌دهد که تقریباً از اوایل خرداد دمای هوا به ۲۸ الی ۲۹ درجه سانتیگراد می‌رسد. (حد بالای آسایش حرارتی تابستانه $28/65^{\circ}$ C می‌باشد) و در همین زمان نیز در اغلب ساختمان‌ها از وسایل برودتی استفاده می‌شود. بنابراین لازم است که حد بالای آسایش تابستان را کاهش داد. در جدول ۱ حد بالای آسایش در اقلیم‌های گرم مانند آمریکا حداکثر $27/7^{\circ}$ C (جدول ۱ ردیف ۱۱) و پس از آن 27° C ذکر شده است (جدول ۱ ردیف ۸). بنابراین می‌توان حد بالای آسایش را برای یزد در شرایط تابستانی 27° C فرض کرد. خصوصاً اینکه دمای مزبور در ماه اردیبهشت بوده و در فضای داخل به ندرت از وسایل برودتی استفاده می‌شود. و ضمناً اکثر افراد در این دما با لباس سبک احساس ناراحتی نخواهند کرد. حد پایین آسایش زمستان یزد یعنی $20/4^{\circ}$ C از نظر آمار هواشناسی ماهانه مربوط به ماه فروردین می‌باشد که از نظر آسایش حرارتی دمای مطلوبی می‌باشد. حد بالای آسایش زمستان یعنی $24/8^{\circ}$ C با توجه به آمار هوا شناسی، دمای مربوط به اوایل اردیبهشت ماه می‌باشد. با توجه به اینکه دمای 23° C نیز شرایط مزبور را داشته و هنوز در آن احساس آسایش حرارتی وجود دارد، لذا برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشی می‌توان با کاهش $1/8^{\circ}$ C در حد بالای آسایش زمستان، حد مذکور را به 23° C رسانید. بنابراین می‌توان گفت که محدوده آسایش حرارتی تابستانی در شهر یزد 27° C - $21/8^{\circ}$ C و محدوده آسایش حرارتی زمستانه 23° C - $20/4^{\circ}$ C می‌باشد.

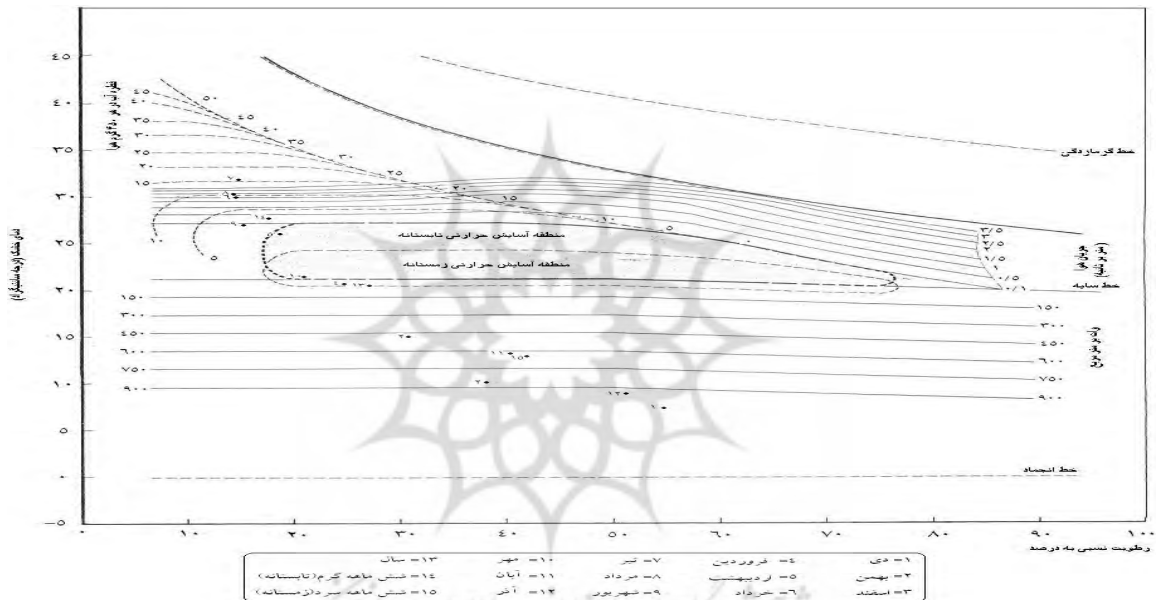
مطابق مدل اولگی، برای تعیین مرزهای آسایش حرارتی علاوه بر دما باید مقدار رطوبت نسبی هوا را نیز تعیین نمود. بر اساس پیشنهاد اولگی محدوده رطوبت نسبی مناسب، ۶۵٪ - ۳۰٪ است و بر اساس استاندارد ایالات متحده آمریکا (ASHRAE) این

تعیین ممدوده آسایش حرارتی در شرایط آب و هوای فشک (مطالعه موردی: شهر یزد)

محدود ۸۰٪ - ۲۰٪ می‌باشد (جدول ۱). با توجه به اینکه میانگین سالانه رطوبت نسبی یزد، ۲۶/۹٪ می‌باشد و بالاترین میانگین رطوبت نسبی، ۵۰/۶٪ و ۵۲/۸٪ به ترتیب در ماه‌های آذر و دی ظهور می‌یابد و همچنین میانگین حداقل رطوبت نسبی که ایجاد آسایش حرارتی می‌کند معادل ۱۸/۹٪ در ماه اردیبهشت بیان می‌شود. بنابراین حد بالای رطوبت نسبی ۵۳٪ و حد پایین آن نیز با توجه به مقادیر آسایش دمایی پیشنهادی ۱۸٪ ارائه می‌شود (شکل ۴).

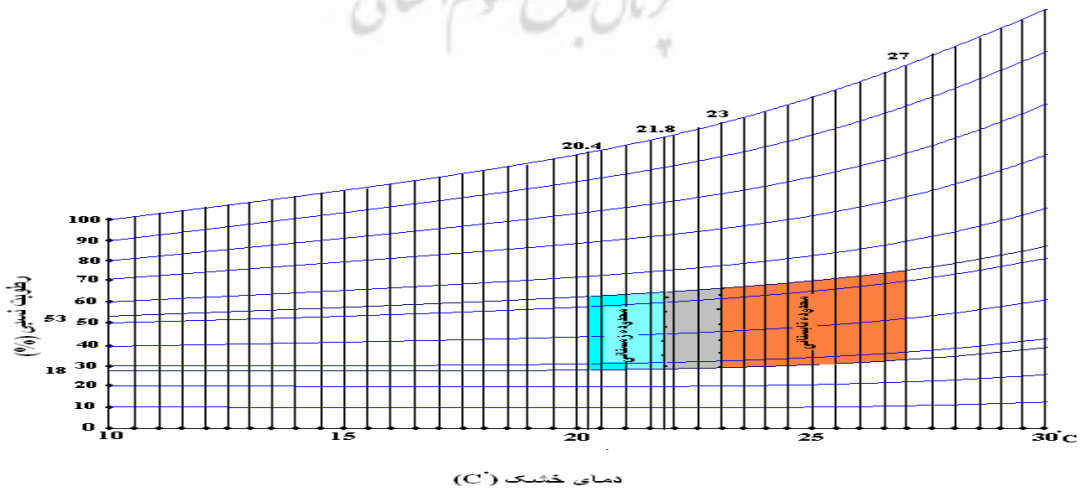
نتیجه گیری

با توجه به ارزیابی انجام شده محدود آسایش حرارتی شهر یزد برای شرایط تابستانی $27^{\circ}\text{C} - 21/8^{\circ}\text{C}$ و برای شرایط زمستانی $23^{\circ}\text{C} - 20/4^{\circ}\text{C}$ و محدود رطوبت نسبی بهینه ۵۳٪ - ۱۸٪ (شکل ۴) برآورد شد. رعایت محدوده حرارتی پیشنهادی ضمن تأمین شرایط مناسب داخلی، از اتلاف انرژی یا عبارت دیگر از مصرف ناپایدار انرژی جلوگیری می‌کند.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: جدول زیست-اقلیمی آسایش حرارتی در تابستان و زمستان برای شهر یزد



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: جدول زیست-اقلیمی آسایش حرارتی در تابستان و زمستان برای شهر یزد

پی نوشتها

- 1 - Comfort Zone
- 2 -Effective Temperature
- 3 - New Effective Temperature
- 4 - Predicted Mean Vote
- 5 -Predicted Percentage of Dissatisfied
- 6 -Vernon. H. M
- 7 - Bed Ford. T
- 8- Brooks. C. E. P
- 9- Markham. S. F
- 10 -Yaglou a Drinker
- 11 - Oglyay. V
- 12- Fanger. P. O
- 13 - Biocromatic

فهرست مراجع

- ۱- دفتر تثبیت شن و بیابانزدائی، (۱۳۸۴)، " خلاصه برنامه ملی مدیریت مناطق بیابانی کشور (۱۴۰۳-۱۳۸۴)" سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری، تهران
- ۲- رازجویان، محمود، (۱۳۶۷)، " آسایش به وسیله معماری همساز با اقلیم " دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- ۳- راندلو استون و کنت لیز، (۱۳۷۲)، " اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان " ترجمه وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی، دانشگاه تهران، تهران
- ۴- روحانی، غزاله، (۱۳۷۱)، " طراحی باغ واحداث فضای سبز " انتشارات فرهنگ جامع، تهران
- ۵- سازمان هواشناسی کشور، (۱۳۸۴-۱۳۷۴)، " سالنامه هواشناسی کشور، آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک یزد (۲۰۰۶-۱۹۹۷)" انتشارات سازمان هواشناسی، تهران

- 6- Amai, H., Tanabe, S. i., Akimoto, T., Genma, T (2007) "**Thermal sensation and comfort with different task conditioning systems**" Building and Environment, 42, pp: 3955-3964.
- 7- ASHRAE Handbook (1985) "**American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers**" Inc; publications office, USA.
- 8- Becker, S., Potchter, O., Yaakov, Y (2003) "**Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate**" Energy and Buildings, 35, pp: 747-756.
- 9- Chun, C., Kwok, A., Mitamura, T., Miwa, N., Tamura, A (2008) "**Thermal diary: Connecting temperature history to indoor comfort**" Building and Environment, 43, pp: 877-885.
- 10- Corgnati, S.P., Fabrizio, E., Filippi, M (2008) "**The impact of indoor thermal conditions, system controls and building types on the building energy demand**" Energy and Buildings, 40, pp. 627-636
- 11- Fanger, P.O (1972) "**Thermal comfort analysis & Applications in environmental engineering**" McGraw-Hill, USA.
- 12- Fishman, D.S. and Pimbert, S.L (1979) "**Survey of Subjective Responses to the Termal Environment in Offices Indor Climate**" Danish Building Reserch Institute Copenhagen, Denmark.
- 13- Gage, A.P., Stalwijk, J.A.J and Nishi, Y (1971) "**An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response**" ASHRAE trans" USA.
- 14- Givoni, B. (1976) "**Man, Climate and Architecture**" Elsevier press, New York, USA.
- 15- Holz, R., Hourigan, A., Sloop, R., Monkman P., Krarti, M (1997) "**Effects of standard energy conserving measures on thermal comfort**" Building and Environment, 32, pp: 31-43.
- 16- Kosar, D., Dumitrescu, O., (2005) "**Humidity effects on supermarket refrigerated case energy performance: A database review**", ASHRAE Transactions **111**, pp: 1051-1060.
- 17- Martín, H.R., Martínez, R.F.J., Gómez, V.E (2008) "**Thermal comfort analysis of a low temperature waste energy recovery system: SIECHP**" Energy and Buildings, 40, pp: 561-572.
- 18- Olgay, V (1973) "**Design with Climate**" princeton university press, USA.
- 19- Szokolay, S.V (1987) "**Thermal Design of Buildings**" Raia Education Division Canberra, Australia.
- 20- Tsutsumi, H., Tanabe, S.i., Harigaya, J., Iguchi, Y., Nakamura, G (2007) "**Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment**" Building and Environment, 42, pp: 4034-4042
- 21- Van Hoof, J (2008) "**Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?**" Energy and Buildings, 18, pp: 182-203