

مدیریت مصرف انرژی در ساختمان

پروژه پایانی

**PSYCHROMETRICS**

استاد:

دکتر عباس رجبی قهنویه

دانشجو:

بهرز مهدی زاده خرمی

(۹۹۲۰۹۳۴۱)

بهمن ۱۴۰۱

## چکیده

ساختمان‌ها از یک طرف بزرگترین بخش مصرف‌کننده‌ی انرژی در جهان هستند و از طرف دیگر بعد از پاندمی کووید ۱۹، اهمیت حفظ آسایش حرارتی ساکنان آن برجسته‌تر از قبل شده است. سایکرومتریک به عنوان دانش مطالعه‌ی مخلوط هوا و بخار آب، نقش مهمی در تعیین منطقه‌ی آسایش حرارتی ساکنان و انتخاب رویکردهای مناسب طراحی ساختمان و نیز محاسبه‌ی بارهای سرمایشی و گرمایشی و طراحی سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع دارد. در پژوهش پیش رو ابتدا در مورد شاخص زیست‌اقلیمی بحث شد و پس از آن به طور کامل شاخص سایکرومتریک و کاربرد آن در حوزه‌ی ساختمان مورد بررسی قرار گرفت. در نظر گرفتن و تاثیر همزمان پارامترهای مختلف آب‌وهوایی به عنوان برتری این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها معرفی گردید. اما استفاده از آن پیچیدگی‌هایی دارد که ممکن است به همین دلیل، در فاز طراحی ساختمان برخی از معماران شاخص ماهانی را ترجیح دهند.

## فهرست مطالب

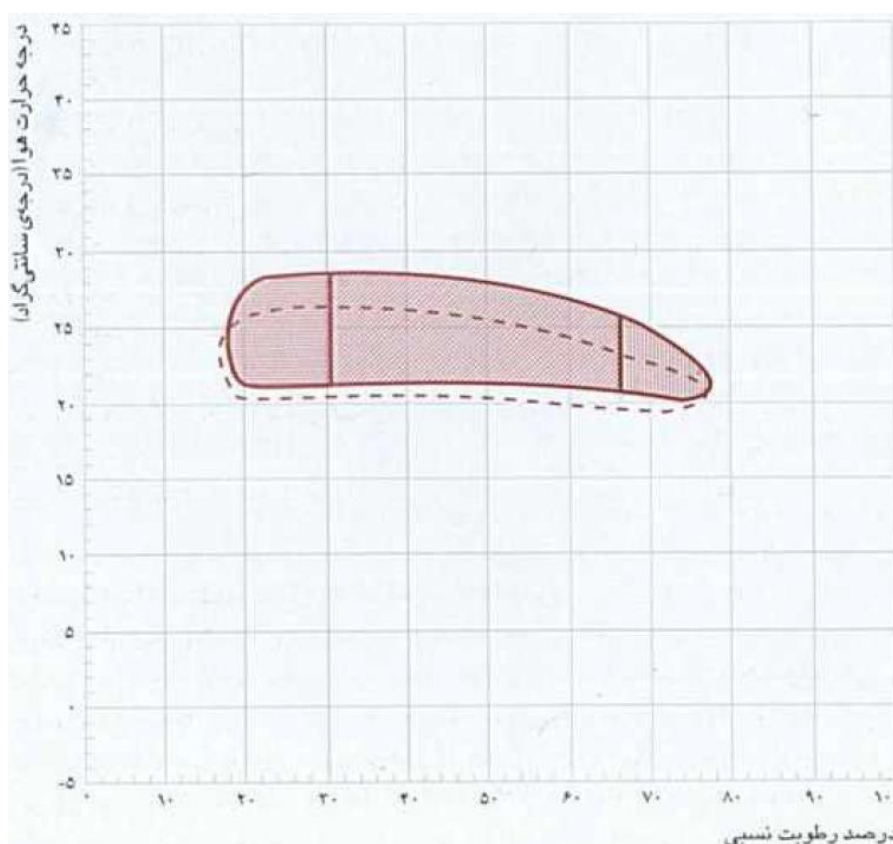
۴.....	مقدمه
۵.....	شاخص زیست اقلیمی
۷.....	نمودار سایکرومتریک
۱۵.....	شاخص زیست اقلیمی ساختمانی (سایکرومتریک)
۲۴.....	احکام معماری
۲۷.....	محاسن و معایب شاخص زیست اقلیمی ساختمانی
۲۷.....	نتیجه گیری
۲۸.....	منابع

مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های مرتبط با آن به طور فزاینده به مساله‌هایی مهم و چالش‌برانگیز در سراسر جهان تبدیل می‌شوند. در سال ۲۰۲۲ حدود ۳۴ درصد از مصرف انرژی نهایی و حدود ۳۰ درصد از انتشارات CO<sub>2</sub> در دنیا مربوط به ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی بوده و سهم آن بسیار بیشتر از سایر بخش‌های اصلی مانند صنعت و حمل‌ونقل است [1]. بنابراین تاثیر فراوانی بر گرمایش جهان و تغییر اقلیم خواهند داشت. علاوه بر آن در طول پاندمی کووید ۱۹ و حضور ساکنین در ساعات طولانی در ساختمان‌ها، اهمیت احساس راحتی و آسایش در ساختمان‌ها بسیار بیشتر از گذشته احساس شد [1]. بنابراین در طراحی ساختمان‌ها هم باید جنبه‌ی کاهش مصرف انرژی و انتشارات مدنظر قرار گیرد و هم حفظ آسایش ساکنان. زیرا هیچ تضمینی وجود ندارد که اتفاقاتی مانند پاندمی کووید در آینده تکرار نشود. اما این آسایش به سادگی حاصل نمی‌شود. زیرا نیازهای بدن انسان و آب‌وهوا معمولاً با هم سازگاری ندارند. برای کسب آسایش نیاز است تا بر عوامل نامطلوب مانند دمای زیاد یا کم و رطوبت زیاد یا کم غلبه شود [2]. دستگاه خودکار تنظیم دمای بدن، دمای آن را در حد معینی ثابت نگه می‌دارد. میزان فعالیت دستگاه خودکار بدن تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار دارد. تلاش مهندسان در جهتی است که با تامین راحت‌ترین محیط ممکن میزان فعالیت دستگاه خودکار تنظیم دمای بدن را به حداقل برسانند. به جمع مواقعی که انسان در چنین شرایطی قرار دارد و با راندمان بالا به فعالیت می‌پردازد به اصطلاح منطقه‌ی آسایش می‌گویند [3]. مشخصات منطقه‌ی آسایش در شاخص‌های آسایش آمده است. این شاخص‌ها تاثیر عوامل موثر بر احساس آسایش را یکجا نشان می‌دهند. در حال حاضر چند شاخص مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از: شاخص دمای موثر، شاخص دمای موثر نوین، شاخص زیست‌اقلیمی، شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی (سایکرومتریک)، شاخص ماهانی، شاخص اوانز و شاخص آسایش در خارج ساختمان (شاخص راحتی بافت) [3]. در این بین شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی (سایکرومتریک) بیش از سایر موارد مورد استقبال و استفاده قرار می‌گیرد. سایکرومتریک دانشی در مورد مخلوط هوا و بخار آب می‌باشد. مهندسان معمار قبل از طراحی سایت با استفاده از این شاخص مسیر کلی طراحی را برای خود ترسیم می‌کنند. به علاوه این شاخص ابزار بسیار مهمی برای طراحان سیستم‌های تهویه مطبوع می‌باشد و از این نمودار برای محاسبه‌ی بار سرمایی، گرمایی، انتخاب تجهیزات و طراحی سیستم‌ها استفاده می‌شود. با توجه به افزایش اهمیت احساس راحتی انسان‌ها در ساختمان‌ها در سال‌های اخیر می‌توان پی برد که این شاخص بیش از گذشته مورد استقبال مهندسان قرار گرفته و با توجه به پیچیدگی‌های آن، تلاش بیشتری جهت فهم و استفاده‌ی کاربردی از آن صورت گیرد. در این پژوهش ابتدا توضیحاتی در مورد شاخص زیست‌اقلیمی به عنوان نزدیک‌ترین شاخص به شاخص سایکرومتریک داده شده و پس از آن شاخص سایکرومتریک و کاربرد آن در حوزه‌ی ساختمان به طور کامل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### شاخص زیست اقلیمی (جدول بیوکلیماتیک)

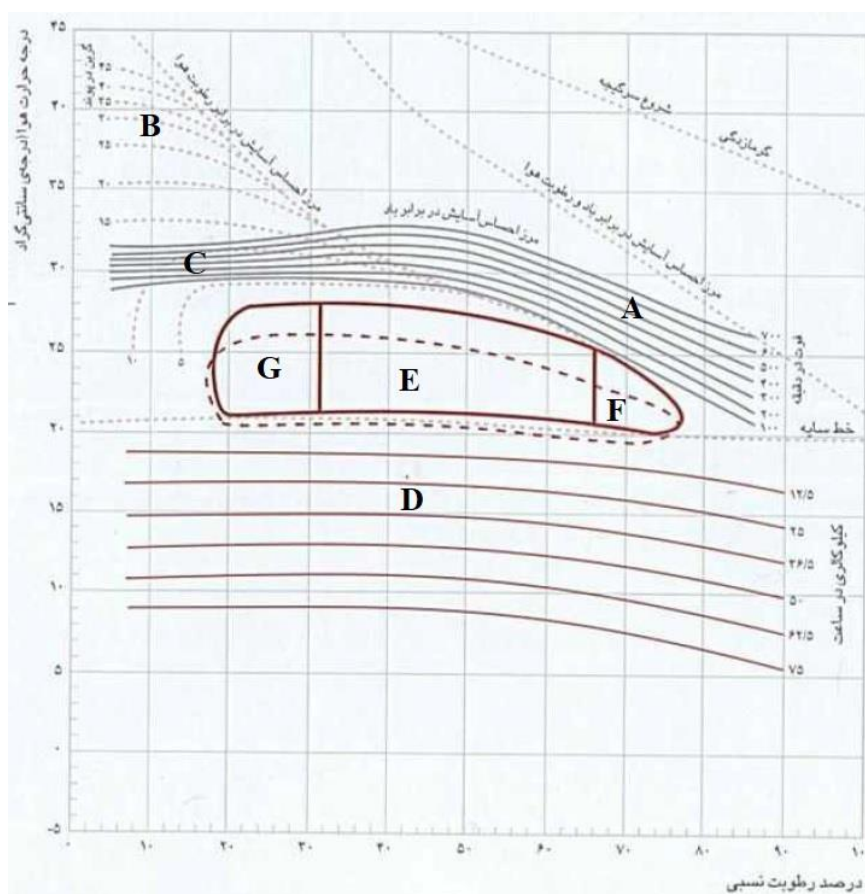
مطالعات انجام شده در استرالیا نشان داد که در مواقع بسیار گرم و در وضعیت خاصی که اندک فعالیت متابولیسمی هم می‌تواند ایجاد ناراحتی کند، رابطه‌ی بین دمای خشک هوا و قضاوت انسان از وضعیت گرمایی، ملموس‌تر و واقعی‌تر از رابطه‌ی بین دمای موثر و وضعیت گرمایی است [4]. این مشاهدات ویکتور الگی (۱۹۱۰-۱۹۷۰) که به عنوان دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه پرینستون مشغول به کار بود را به فکر انداخت که برخلاف شاخص‌های پیشین و به جای ارائه‌ی یک ضریب عددی مجرد (به عنوان نماینده‌ی تاثیر همزمان پدیده‌های دمای خشک، دمای تر، جریان هوا، تابش و ...) شاخصی ارائه دهد که در آن نقش پدیده‌های موثر در احساس آسایش به تفکیک روشن باشد. الگی اوایل دهه‌ی شصت میلادی با در نظر گرفتن دو متغیر آب‌وهوایی دمای حباب خشک (DBT) و رطوبت نسبی (RH) منطقه‌ی آسایش انسان را به صورت گرافیکی به تصویر کشید. الگی بعدها با تکمیل نمودار خود نشان داد که با استفاده از دو خاصیت برودت‌زایی باد و گرم‌زایی آفتاب می‌توان دامنه‌ی منطقه‌ی آسایش را گسترش داد و به این ترتیب شاخص زیست اقلیمی ایجاد شد [3]. شکل ۱ جدول اولیه و اصلاح شده‌ی الگی را برای ایران که بین عرض ۲۵ تا ۴۰ درجه قرار دارد نشان می‌دهد.

شکل ۱: حدود منطقه‌ی آسایش اصلاح شده‌ی الگی برای ایران [5]



شکل ۲ جدول شاخص زیست اقلیمی اصلاح شده برای ایران را نشان می‌دهد.

شکل ۲: جدول شاخص زیست اقلیمی اصلاح شده برای ایران [5]



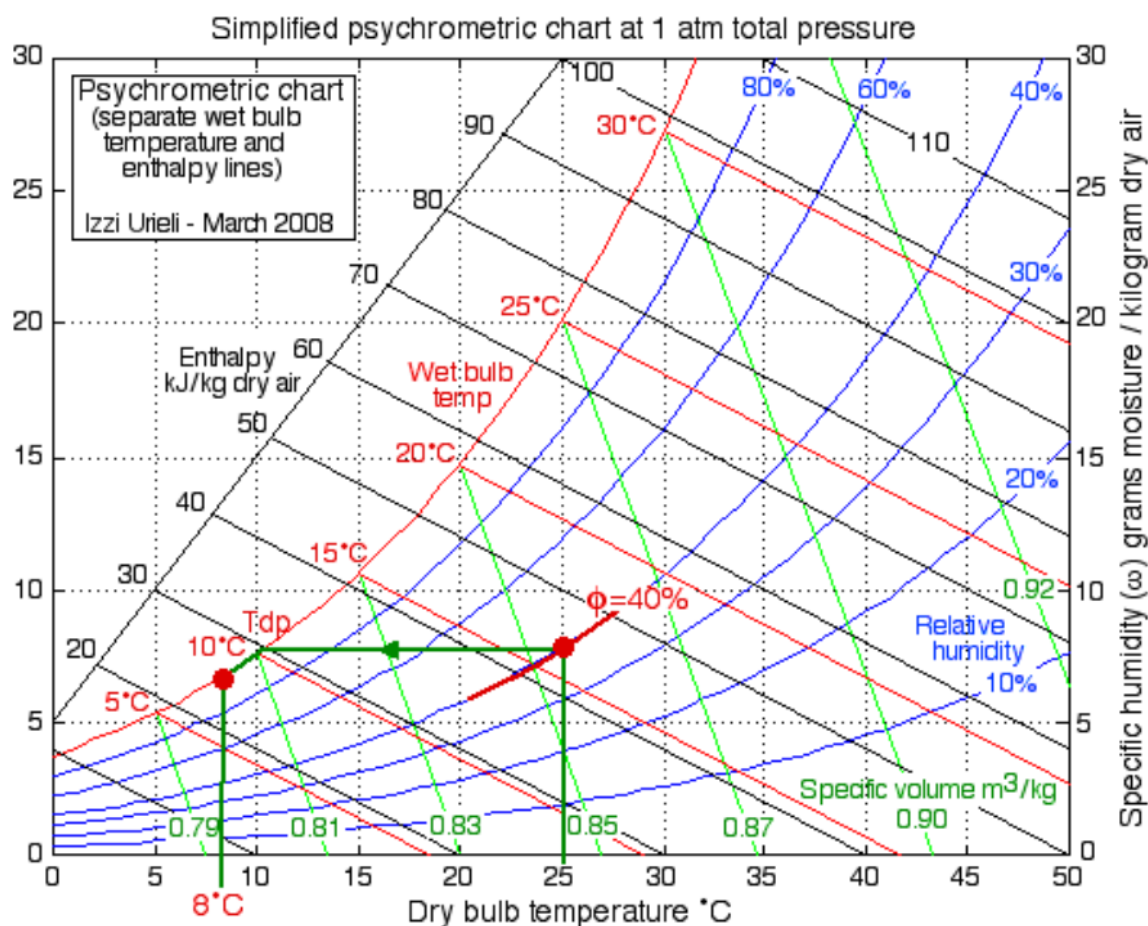
قسمت شبه مستطیل وسط (E) در منحنی پیرنگ، منطقه‌ی آسایش تابستانی و منحنی خطچین منطقه‌ی آسایش زمستانی را نشان می‌دهد. سمت راست منحنی پیرنگ (F)، منطقه‌ی مرطوب قابل تحمل و سمت چپ (G)، منطقه‌ی خشک قابل تحمل را نشان می‌دهد [5]. جهت تعیین وضعیت فرد، باید دما و رطوبت نسبی لحظه‌ی مورد نظر را بر روی شاخص فوق تصویر کرد و وضعیت منطقه‌ی تصویر شده را نسبت به منطقه‌ی آسایش سنجید. اگر نقطه‌ی مذکور در داخل منطقه‌ی آسایش قرار گیرد به معنای آن است که شخص در سایه و در وضعیتی که سرعت هوا نامحسوس باشد (کمتر از یک متر در ثانیه) احساس راحتی خواهد کرد. اگر خارج از منطقه‌ی مذکور قرار گیرد، معنایش این است که شخص در شرایط آب‌وهوایی موجود احساس راحتی نخواهد کرد، مگر آنکه برای اصلاح وضعیت گرمایی اقدام شود. راهکارهای لازم شدنی برای نقطه‌ی A کاهش دما و جریان هوا با سرعت مشخص، برای نقطه‌ی B برودت تبخیری، در نقطه‌ی C جریان هوا و برودت تبخیری و در نقطه‌ی D افزایش دما خواهد بود. در واقع با این اقدامات منطقه‌ی آسایش گسترش یافته و ایجاد احساس راحتی برای فرد امکان‌پذیر است. اگر چه جدول فوق برای مشخص کردن مناطق مختلف اقلیمی کاملاً قابل استفاده است، ولی کاربرد آن در طراحی ساختمان محدود است. زیرا بر اساس شرایط هوای خارج تنظیم شده و در آن ویژگی طرح و مصالح ساختمانی در نظر گرفته نشده است. لازم به ذکر است که شرایط هوای داخلی

ساختمان (صرف نظر از تاثیر تاسیسات مکانیکی) تحت تاثیر شرایط محیط اطراف آن، به جزئیات طرح و ویژگی مصالح آن بستگی دارد [5]. همینطور این شاخص در اصل برای عرض جغرافیایی ۴۰ درجه‌ی شمالی تنظیم شده است و برای عرض‌های جغرافیایی کمتر نیاز به اصلاح دارد [3].

## نمودار سایکرومتریک [2]

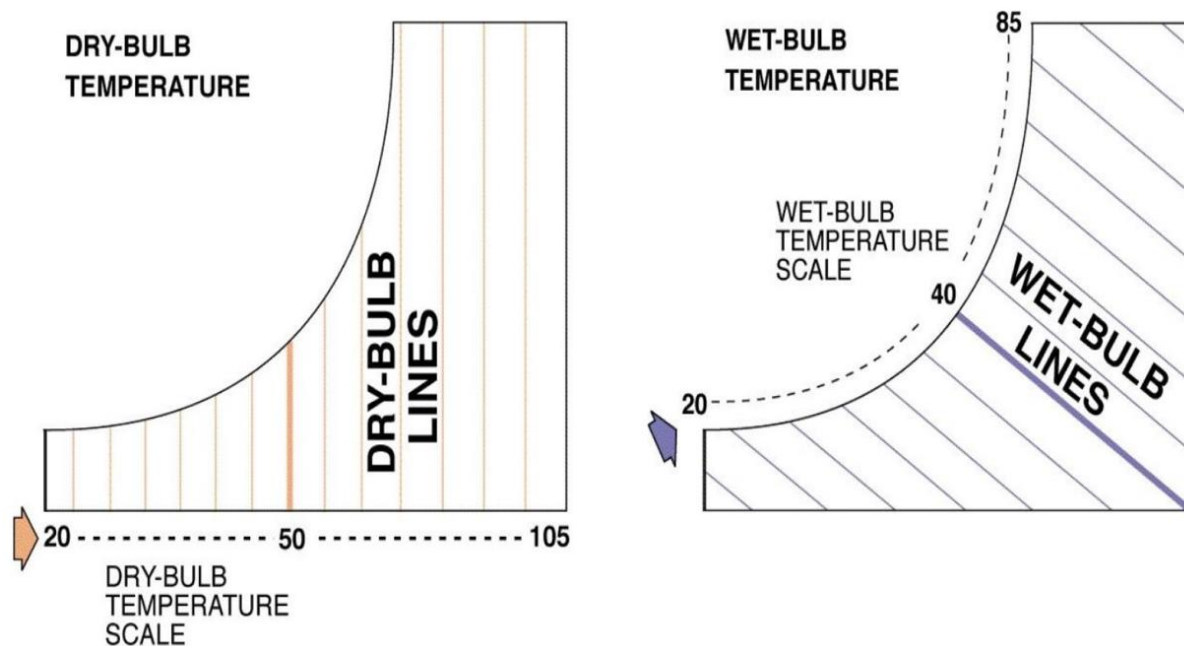
پیش از بررسی شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی توضیحاتی اجمالی در مورد نمودار سایکرومتریک ارائه می‌شود. سایکرومتریک دانشی در مورد مخلوط هوا و بخار آب است. این نمودار ابزار مهمی برای طراحان سیستم‌های تهویه مطبوع می‌باشد. بسیاری از فرایندهای تهویه مطبوع از تحولات در انرژی ناشی می‌شوند. این تغییرات در اثر تغییر در درجه‌ی حرارت و رطوبت هوا به وجود می‌آید. نمودار سایکرومتریک ارتباط بین دما، رطوبت و انرژی را قابل درک می‌کند.

شکل ۳: نمودار سایکرومتریک [6]



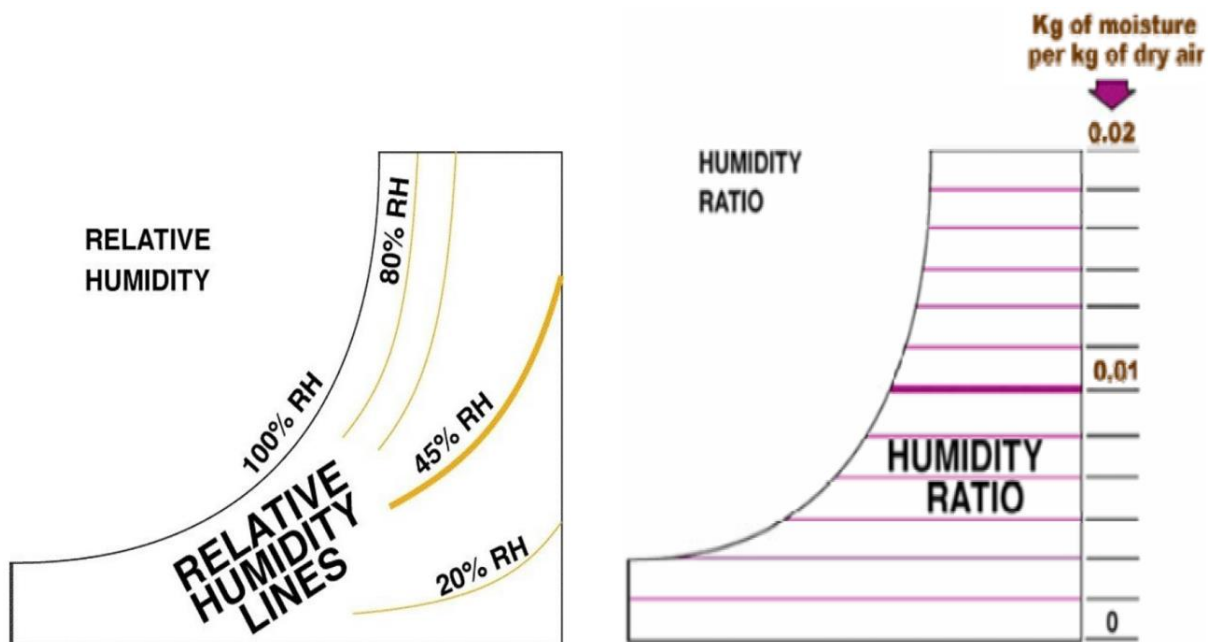
حالت هوای اتمسفریک در یک فشار معین توسط دو خاصیت شدتی مستقل به طور کامل توصیف می‌شود. سایر خواص به کمک روابط و فرمول‌های ترمودینامیکی به آسانی محاسبه می‌شوند. در نمودار سایکرومتریک دمای حباب خشک روی محور افقی و نسبت رطوبت روی محور عمودی نشان داده شده است. در واقع با دانستن دو پارامتر دمای حباب خشک و نسبت رطوبت می‌توان تمام ویژگی‌های هوای مرطوب را از روی نمودار تعیین کرد. در نمودار سایکرومتریک هفت پارامتر مورد تحلیل قرار می‌گیرند. دمای خشک، دمای تر، رطوبت نسبی، نسبت رطوبت، دمای نقطه‌ی شبنم، آنتالپی مخصوص و حجم مخصوص. در شکل‌های ۴ تا ۶ خطوط نمودار سایکرومتریک به تفکیک نشان داده شده‌اند.

شکل ۴: خطوط دماهای حباب خشک و تر در نمودار سایکرومتریک

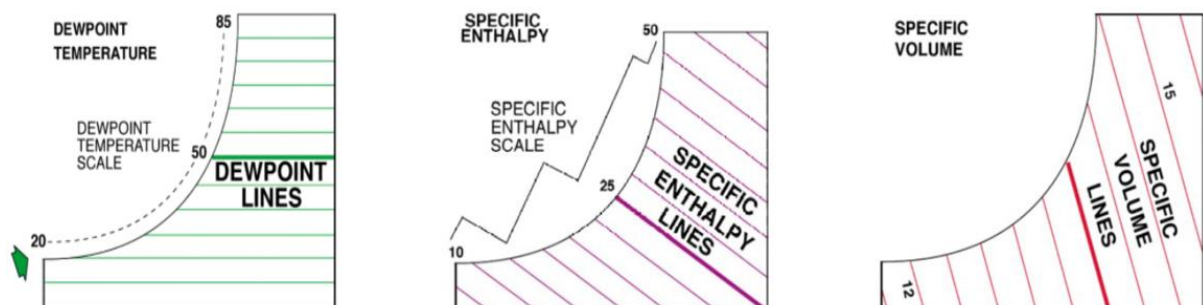




شکل ۵: خطوط رطوبت نسبی و نسبت رطوبت نمودار سایکرومتریک



شکل ۶: خطوط دماهای شبنم و حجم مخصوص و آنتالپی مخصوص در نمودار سایکرومتریک



در ادامه تعاریفی از مفاهیم ۷ گانه‌ی موثر در نمودار سایکرومتریک ارائه می‌شود.

\* دمای خشک دمایی است که توسط یک دماسنج معمولی و به طور مستقیم در معرض هوا و به دور از رطوبت و تشعشع مستقیم اندازه‌گیری می‌شود.

\* دمای تر معرف دمای هوایی است که در اثر تبخیر، آب موجود در آن به حداقل ممکن تنزل کرده است. دمای تر با دماسنج مرطوب اندازه‌گیری می‌شود. هر چه رطوبت هوا کمتر باشد سرعت تبخیر بیشتر شده و جیوه‌ی دماسنج مرطوب پایین‌تر از دماسنج معمولی در همان مکان می‌ایستد. اگر هوا از رطوبت اشباع شده باشد تفاوت دو دماسنج از بین می‌رود.

\* نسبت رطوبت (رطوبت مطلق یا رطوبت مخصوص) جرم بخار آب موجود در جرم واحد هوای خشک می‌باشد.

\* رطوبت نسبی مقدار رطوبت موجود در هوا نسبت به بیشترین مقدار رطوبتی که می‌تواند در آن دما بپذیرد می‌باشد. مقدار رطوبت نسبی از صفر برای هوای خشک تا ۱ برای هوای مرطوب تغییر می‌کند.

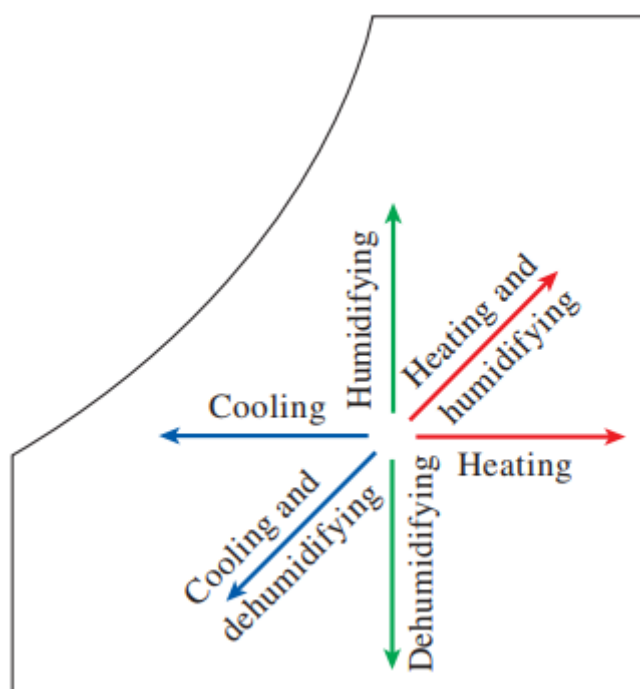
\* دمای نقطه‌ی شبنم دمایی است که در آن با سرد شدن هوا در فشار ثابت، چگالش شروع می‌شود. برای هوای اشباع، دمای معمولی و دمای نقطه‌ی شبنم با هم برابرند. برای محاسبه‌ی دمای نقطه‌ی شبنم در هر نقطه از نمودار، به صورت افقی به سمت چپ نمودار حرکت می‌کنیم تا به منحنی اشباع (رطوبت نسبی = ۱۰۰٪) برسیم. دمای حباب خشک متناظر با نقطه‌ی جدید معرف دمای نقطه‌ی شبنم برای نقطه‌ی اولیه می‌باشد.

\* حجم مخصوص عبارت است از مقدار حجم اشغال شده به ازای واحد جرم هوا در دما و فشار مشخص.

\* آنتالپی مخصوص عبارت است از مقدار آنتالپی هوا در واحد جرم. در ترمودینامیک آنتالپی به معنای انرژی کل سیستم است. این عدد کمیتی مقداری است که انرژی حرارتی کل یک سیستم را نشان می‌دهد.

در ادامه چند فرآیند در نمودار سایکرومتریک بررسی می‌شود.

شکل ۷: فرآیندهای مختلف تهویه مطبوع [2]

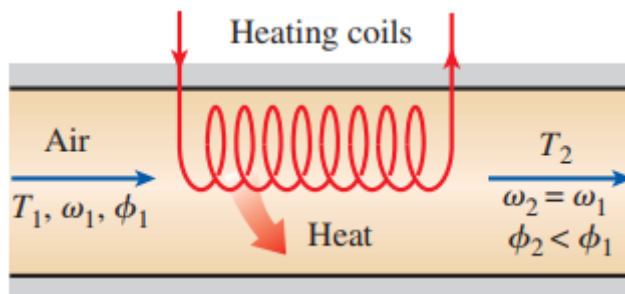


۱. گرمایش و سرمایش ساده:

در فرآیند گرمایش ساده دمای حباب خشک افزایش اما رطوبت نسبی کاهش می‌یابد و نسبت رطوبت ثابت می‌ماند. بسیاری از وسایل گرمایش ساختمان مانند بخاری و پمپ حرارتی از این فرآیند پیروی می‌کنند و

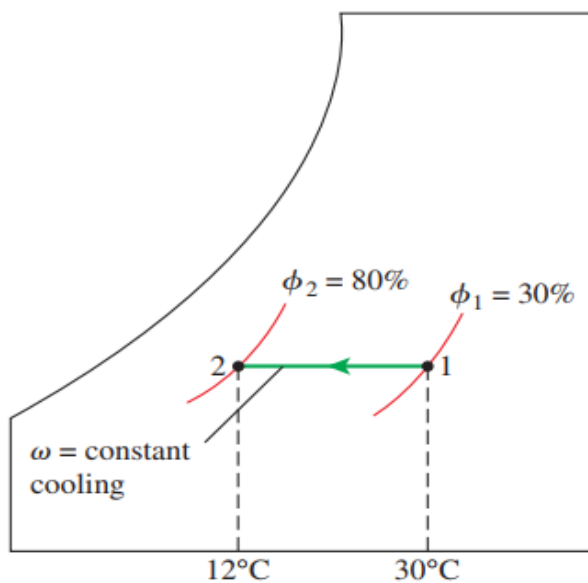
مانند شکل ۸ هوا با گردش در مجرای که از آن لوله‌های حامل گاز داغ یا المنت‌های الکتریکی می‌گذرد گرم می‌شود.

شکل ۸: فرآیند گرمایش ساده در تجهیزات گرمایشی [2]



فرآیند سرمایش را می‌توان با عبور هوا از روی کویل‌هایی که در آن‌ها مبرد یا آب سرد وجود دارد انجام داد. در این فرآیند نسبت رطوبت ثابت می‌ماند. دمای حباب خشک کاهش اما رطوبت نسبی افزایش می‌یابد.

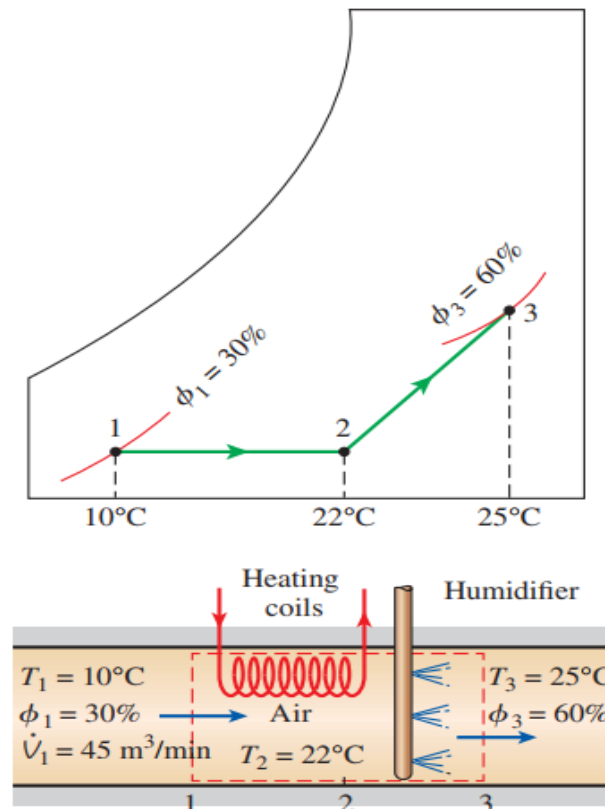
شکل ۹: فرآیند سرمایش ساده در نمودار سایکرومتریک [2]



۲. گرمایش با رطوبت‌زنی:

در این عمل مشکلات مربوط به رطوبت نسبی کم که از گرمایش ساده ناشی می‌شود را از بین می‌برند. ابتدا هوا در مجرای گرم‌کن گرم شده و سپس از مجرای رطوبت‌زن عبور داده می‌شود.

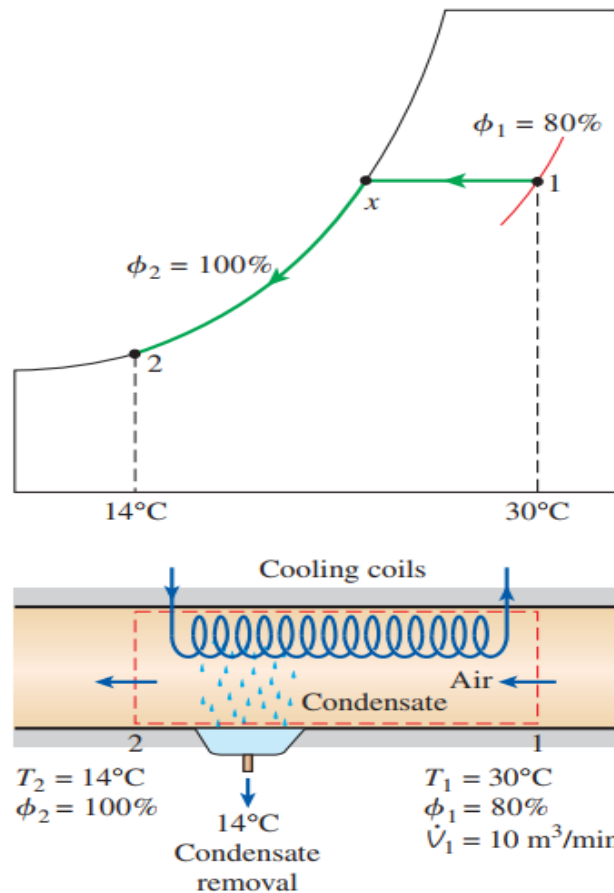
شکل ۱۰: فرآیند گرمایش با رطوبت‌زنی در نمودار سایکرومتریک [2]



### ۳. سرمایش با رطوبت‌گیری

اگر در فرآیند سرمایش ساده رطوبت نسبی به مقادیر زیاد و نامطلوبی برسد، باید مقداری از رطوبت را با رطوبت‌گیری حذف کرد. برای انجام این کار باید هوا را تا کمتر از دمای نقطه‌ی شبنم آن خنک کرد. ابتدا هوا وارد کویل‌های خنک‌کن شده و دمای آن کاهش می‌یابد، نسبت رطوبت ثابت می‌ماند و رطوبت نسبی افزایش می‌یابد. اگر طول مجرای خنک‌کن به اندازه‌ی کافی باشد هوا به نقطه‌ی شبنم (حالت اشباع) می‌رسد. هوا در تمام فرآیند چگالش به صورت اشباع می‌ماند تا اینکه حالت نهایی (حالت ۳) برقرار شود که نسبت رطوبت آن نسبت به حالت ۱ کاهش یافته است. معمولاً هوای خنک و اشباع به طور مستقیم وارد اتاق می‌شود. اما اگر دمای آن خیلی کم باشد قبل از ورود به اتاق از یک گرم‌کن عبور داده می‌شود.

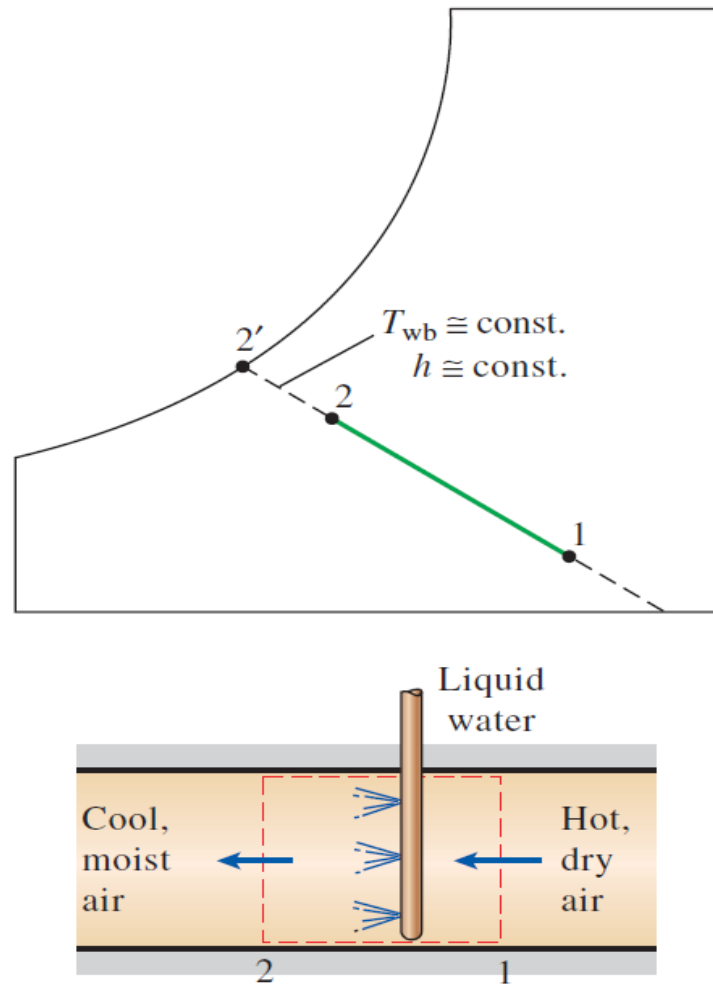
شکل ۱۱: فرآیند سرمایش با رطوبت‌گیری در نمودار سایکرومتریک [2]



#### ۴. سرمایش تبخیری

در مناطق گرم و خشک می‌توان از تجهیزات مبتنی بر فرآیند سرمایش تبخیری مانند کولر آبی استفاده کرد. در سرمایش تبخیری با تبخیر آب، گرمای نهان تبخیر از آب و هوای اطراف جذب شده و در نتیجه آب و هوا خنک می‌شوند. کولرهای تبخیری بر مبنای همین اصل کار می‌کنند. هوای گرم و خشک وارد کولر شده و به آن آب پاشیده می‌شود. قسمتی از این آب با جذب گرما از جریان هوا تبخیر می‌شود. در نتیجه دمای جریان هوا کاهش و رطوبت آن افزایش می‌یابد. در حالت حدی، هوا به صورت اشباع از کولر خارج می‌شود. فرآیند سرمایش تبخیری در نمودار سایکرومتریک از خط دمای حباب تر پیروی می‌کند. با توجه به اینکه خطوط دمای تر تقریباً بر خطوط آنتالپی ثابت منطبق هستند، آنتالپی جریان هوا را می‌توان ثابت فرض کرد.

شکل ۱۲: فرآیند سرمایش تبخیری در نمودار سایکرومتریک [2]



دو فرآیند دیگر در نمودار سایکرومتریک عبارتند از اختلاط آدیاباتیک جریان‌های هوا و برج‌های خنک‌کن خیس که جهت مطالعه‌ی ساز و کار حاکم بر این دو فرآیند منبع [2] پیشنهاد می‌شود.

## شاخص زیست اقلیمی ساختمان (سایکرومتریک)

در سال ۱۹۶۹ مکمل ارزشمندی توسط گیونی به کار اولگی اضافه شد که در آن حدود موثر بودن شیوه‌های ساختمان‌سازی در تامین نیازهای رفاهی انسان را مشخص نمود [7]. این جدول بعدها به بیوکلیماتیک ساختمانی معروف شد. در واقع این جدول نشان می‌دهد اگر شرایط دمایی و رطوبتی منطقه‌ای در محدوده‌ی آسایش باشد آنگاه اگر داخل ساختمان مطابق با شرایط اقلیمی طراحی شود راحت و مطبوع خواهد بود. با استفاده از جدول بیوکلیماتیک ساختمانی (سایکرومتریک) می‌توان اطلاعات مورد نیاز در طراحی ساختمان را از جدول استخراج کرد و با بررسی آن‌ها مناسب‌ترین روش کنترل هوای داخلی ساختمان را تعیین نمود.

روش گیونی بر دو اصل زیر استوار شده است [3]:

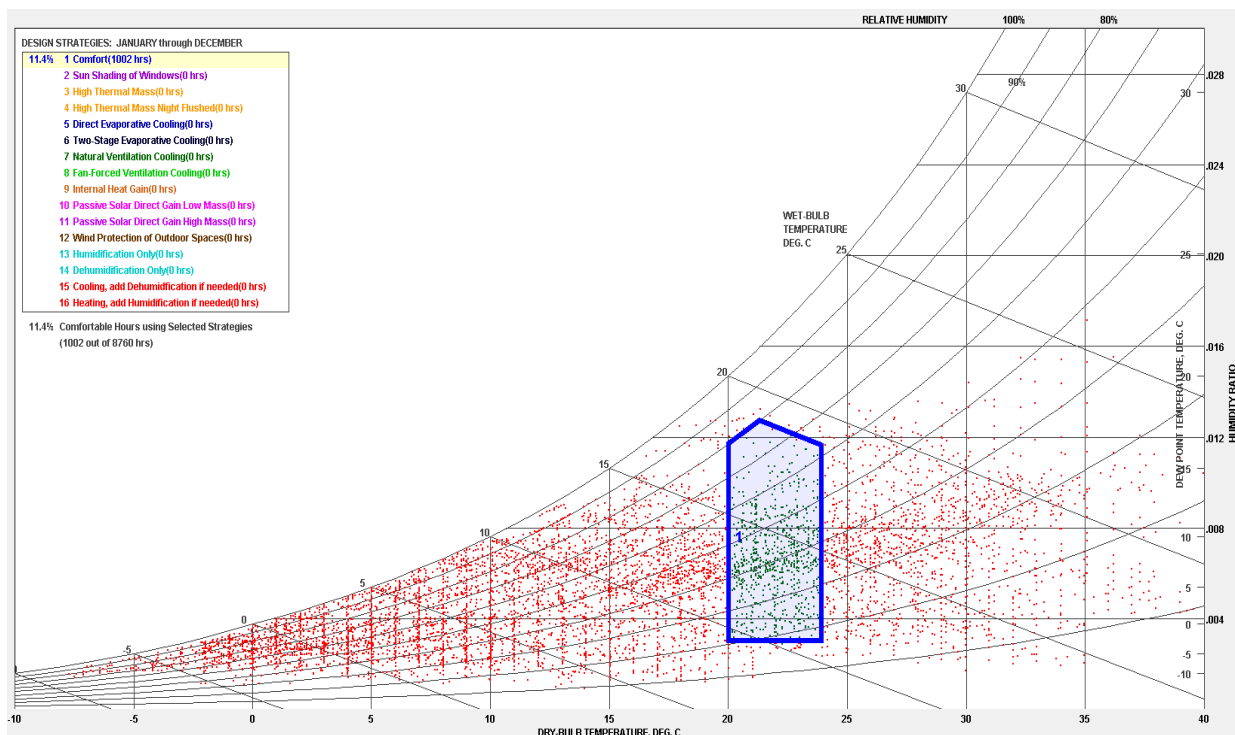
- (۱) در بعضی از اقلیم‌ها دسترسی به آسایش حرارتی به کمک برخی از پدیده‌های جوی امکان‌پذیر است. مانند تاثیر جریان محسوس هوا در اقلیم گرم و مرطوب و نوسان دمای شب و روز در اقلیم گرم و خشک.
- (۲) قابل محاسبه بودن تاثیر ساختمان بر پارامترهای موثر در تعیین احساس آسایش ساکنین. این تاثیر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: نوع و میزان تاثیر ساختمان بر پارامترهای موثر در احساس آسایش ساکنین

نوع و میزان تاثیر ساختمان بر پارامترهای موثر در احساس آسایش ساکنین	
پارامترهای موثر در احساس آسایش	میزان کارایی ساختمان
اشعه‌ی خورشیدی جذب شده در دیوار	۱۵ تا ۹۰ درصد اشعه‌ی اصابت کرده به دیوار
اشعه‌ی خورشیدی وارد شده از پنجره	۱۰ تا ۹۰ درصد اشعه‌ی خورشید
دامنه‌ی نوسان دمای داخل	۱۰ تا ۱۵ درصد دامنه‌ی نوسان دمای خارج
دمای بیشینه‌ی داخل	۱۰- تا ۱۰ درجه از دمای بیشینه‌ی خارج
دمای کمینه‌ی داخل	۰ تا ۷ درجه از دمای کمینه‌ی خارج
دمای سطح داخلی دیوارها	۸- تا ۳۰ درجه متفاوت از دمای بیشینه و کمینه‌ی خارج
سرعت متوسط هوای اتاق با پنجره‌های باز	۱۵ تا ۶۰ درصد سرعت باد محوطه
سرعت واقعی در هر نقطه‌ی معین	۱۰ تا ۱۲ درصد سرعت باد محوطه
فشار بخار آب داخل	۰ تا ۷ میلی‌متر جیوه بیش از فشار بخار آب خارج

با لحاظ حداکثر کارایی ساختمان در تبدیل وضعیت نامطلوب به مطلوب و با پیاده‌سازی شرایط آب‌وهوایی قابل تبدیل به وضعیت مطلوب بر روی نمودار سایکرومتریک، شاخص زیست اقلیمی ساختمانی حاصل می‌شود. این نمودار را می‌توان به نمودارهای مختلفی تجزیه کرد که در شکل‌های ۱۳ تا ۲۰ مشاهده می‌شوند.

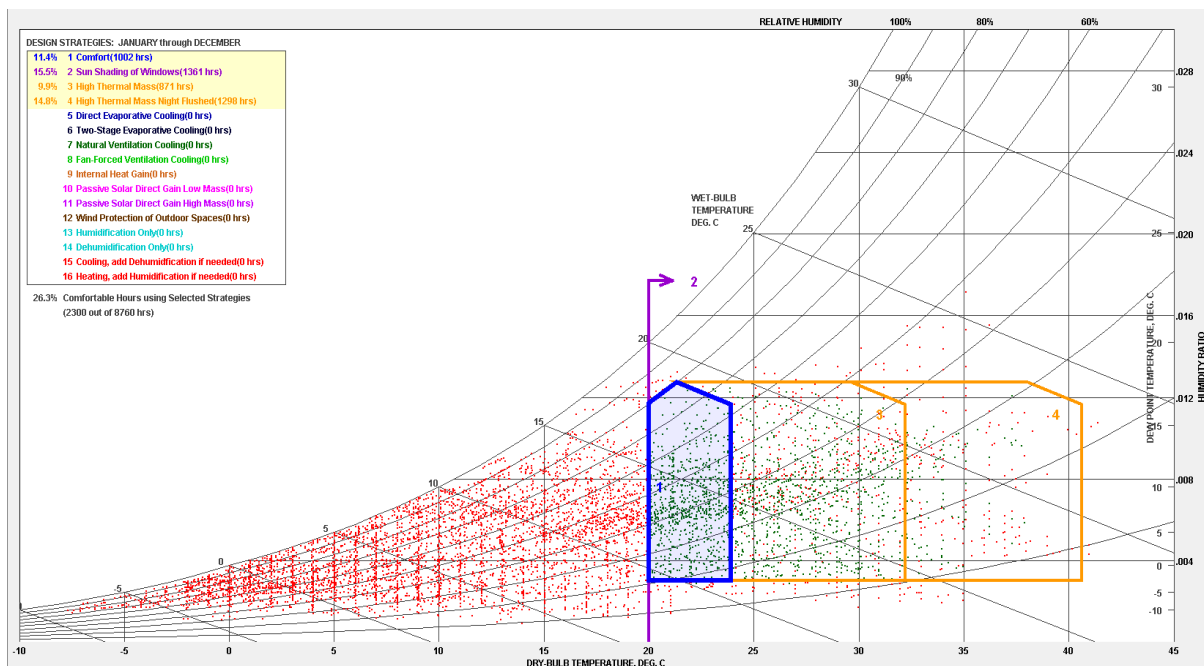
شکل ۱۳: محدوده آسایش در نمودار سایکرومتریک (شهر مشهد)



این نمودارها جهت بهره‌مندی از وضوح بهتر تصویر، از بارگذاری فایل آب‌وهوایی شهر مشهد در نرم‌افزار Climate Consultant استخراج شدند. محدوده‌ای که در پنج ضلعی آبی‌رنگ محصور شده منطقه‌ی آسایش شهر مشهد را نشان می‌دهد. دقت شود که مانند شکل ۲۳، در ناحیه‌ی آسایش با افزایش نسبت رطوبت باید دمای حباب خشک کاهش یابد و گوشه‌های بالایی پنج ضلعی به سمت چپ متمایل شوند اما این حساسیت در نمودار نرم‌افزار Climate Consultant وجود ندارد.

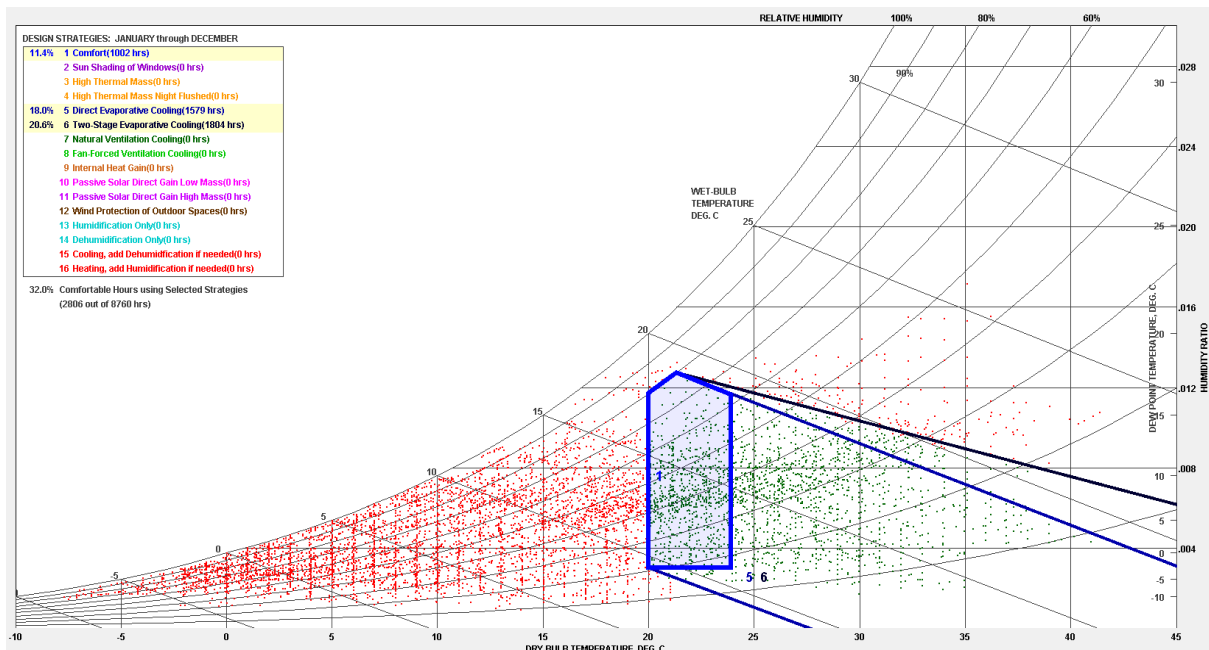


شکل ۱۴: پارامترهای سایه‌اندازی و جرم حرارتی بالا در نمودار سایکرومتریک



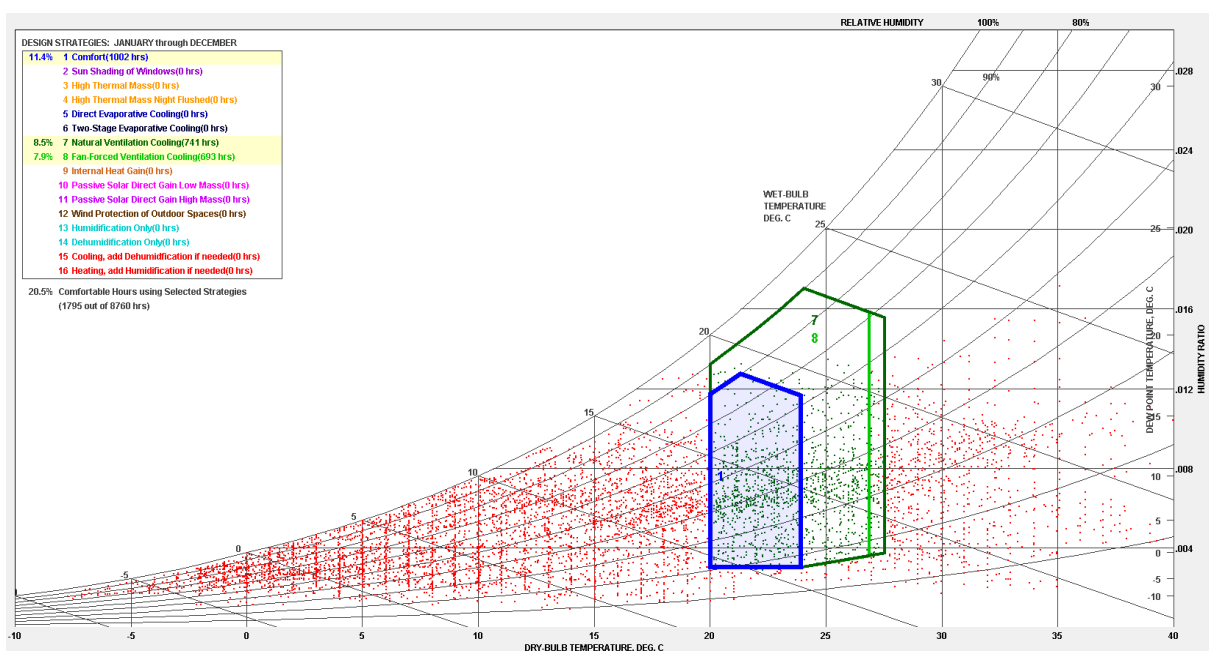
نمودار فوق پتانسیل استفاده از سایه‌اندازی و جرم‌های حرارتی و تهویه‌ی شبانه را به تصویر می‌کشد. خط بنفش (شماره ۲) بیانگر آن است که از دمای ۲۰ درجه به بالا (لبه‌ی سمت چپ منطقه‌ی آسایش) نیاز به سایه‌اندازی وجود دارد. چون تابشی که از این دما وارد ساختمان می‌شود کمکی به افزایش احساس آرامش ندارد و احتمال دارد که باعث افزایش بیش از حد حرارت فضا شود. محدوده‌های ۳ و ۴ نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ی شرایطی است که در آن جدار خارجی ساختمان می‌تواند باعث کاهش دمای هوای داخل ساختمان نسبت به خارج شود [3]. محدوده‌ی ۳ مربوط به جرم حرارتی بالا می‌باشد. کارایی آن برای زمانی است که دمای هوا بالاست اما رطوبت نسبی زیاد نیست. در تابستان و در آب‌وهوای گرم و خشک استفاده از جرم حرارتی بالا در فضای داخلی یک استراتژی طراحی خنک‌کننده‌ی خوب است. میزان تاثیر آن به ذخیره‌ی حرارتی، تاخیر زمانی و اثرات میرایی جرم بستگی دارد. بنابراین نوسانات بالای دمایی روزانه در بیرون به نوسانات دمایی پایین در داخل تبدیل می‌شود. در زمستان نیز به شرطی که دمای هوای بیرون در روز به منطقه‌ی آسایش برسد برخی از اثرات مثبت گرمایش ساختمان‌های با جرم بالا مشاهده می‌شوند. محدوده‌ی رطوبت آن نباید از محدوده‌ی منطقه‌ی آسایش خارج شود و حداکثر دمای آن حدود ۹ الی ۱۰ درجه بیشتر از حداکثر دمای محدوده‌ی آسایش می‌باشد. محدوده‌ی ۴ مربوط به جرم حرارتی بالا و تهویه‌ی شبانه می‌باشد. در اقلیم گرم و خشک تفاوت دمای روز و شب کمک‌کننده است. در شب و زمانی که دما زیر منطقه‌ی آسایش قرار دارد می‌توان با باز کردن پنجره‌ها (تهویه‌ی طبیعی) هوای خنک را وارد ساختمان کرد که در جداره‌ها ذخیره شده (یعنی حرارت اضافی را از دست می‌دهند) و دمای آن‌ها کاهش یافته و در شب و روز بعد می‌توان از این کاهش دما بهره برده و مصرف انرژی جهت سرمایش فضا کاهش می‌یابد. در صورتی که رطوبت هوا زیاد باشد تفاوت دمای روز و شب آنچنان نخواهد بود و جرم حرارتی کمک زیادی نخواهد کرد.

شکل ۱۵: سرمایش تبخیری مستقیم و دو مرحله‌ای در نمودار سایکرومتریک



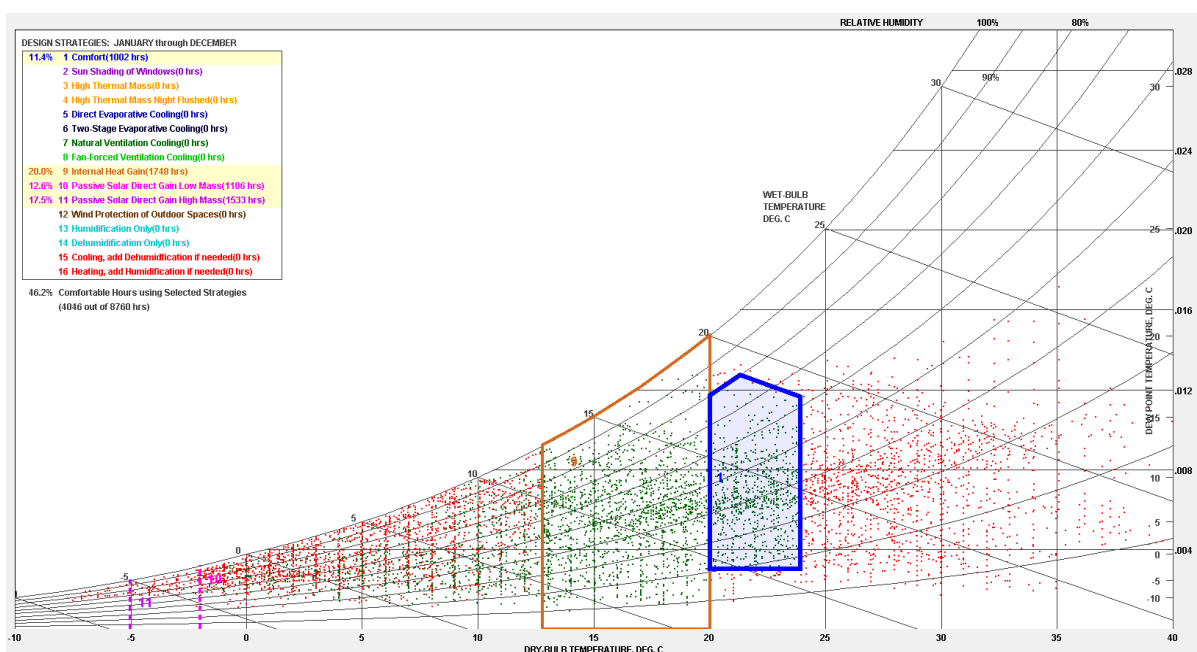
محدوده‌های ۵ و ۶ پتانسیل استفاده از سرمایش تبخیری را نشان می‌دهند. خطوط ناحیه‌ی ۵ موازی خطوط دمای مرطوب است. بنابراین سرمایش تبخیری متأثر از دمای مرطوب است (این از تعریف دمای مرطوب نیز استنباط می‌شود). در واقع تمام نقاطی که در این محدوده قرار دارند با استفاده از سرمایش تبخیری خنک‌تر و مرطوب‌تر و وارد منطقه‌ی آسایش می‌شوند. به همین دلیل یک سیستم سرمایش تبخیری (مانند کولر آبی) یک استراتژی خنک‌کننده‌ی خوب برای آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد. این ناحیه بین بالاترین و پایین‌ترین دمای حباب‌تر که در ناحیه‌ی آسایش قرار دارند محصور می‌شود.

شکل ۱۶: تهویه طبیعی و تهویه اجباری در نمودار سایکرومتریک



این قسمت در نمودار سایکرومتریک در بالا و سمت راست منطقه‌ی آسایش نمایش داده می‌شود و محدوده‌ای را نشان می‌دهد که پتانسیل استفاده از تهویه طبیعی و اجباری وجود دارد و در مناطق با رطوبت نسبی زیاد هم قابل استفاده است. مقاومت حرارتی متوسط یا زیاد دیوارهای خارجی یک ساختمان با روکار سفید می‌تواند باعث توسعه‌ی این ناحیه شود [3]. در آب‌وهوای گرم و مرطوب، حرکت هوا یکی از معدود راه‌های ایجاد یک اثر خنک‌کننده بر بدن انسان است و این کار را با افزایش سرعت تبخیر عرق و ایجاد حس روانی خنک‌کننده انجام می‌دهد (توجه داشته باشید که تهویه در واقع دمای حباب خشک را کاهش نمی‌دهد). ناحیه‌ی ۸ که مربوط به تهویه اجباری با پنکه و یا فن‌های مکانیکی متمرکز می‌باشد کمی محدودتر از ناحیه‌ی ۷ است. چون در محدوده‌ی ۸ عمل تهویه با کمک پنکه و با دمیدن هوای اتاق به بدن انجام می‌شود اما در ناحیه‌ی ۷ از هوای بیرون که احتمالاً خنک‌تر می‌باشد جهت تهویه استفاده می‌گردد.

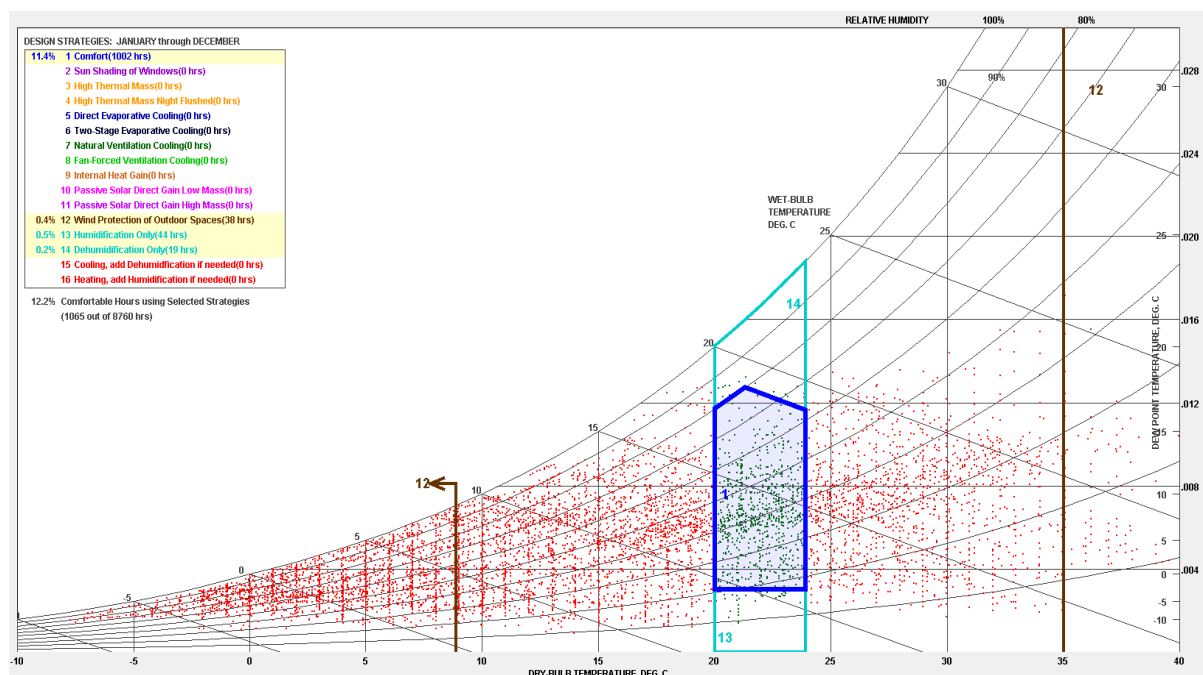
شکل ۱۷: افزایش حرارت داخلی و تابش غیرفعال خورشیدی در نمودار سایکرومتریک



در ساختمان دو نوع دریافت داریم. اولی از منبع خارجی که ناشی از تابش خورشید بوده و بسیار زیاد است. این منبع در دوره‌ی گرمایش مفید و در دوره‌ی سرمایش مضر است. دوم از منابع داخلی مانند تولید حرارت از انسان و پخت‌وپز و تجهیزات روشنایی و سایر لوازم برقی در ساختمان است. این مورد وابستگی زیادی به نوع ساختمان و طراحی آن دارد. این دمای تعادل، دمای هوای بیرون است که در آن بارهای داخلی به تنهایی ساختمان را در منطقه‌ی آسایش قرار می‌دهند. ساختمان‌های با طراحی ایده‌آل و عایق کاری مطلوب دمای تعادل پایین‌تری داشته و انرژی گرمایی کمتری مصرف می‌کنند. این محدوده برای ساختمان‌های مسکونی تا حدود ۱۵ درجه سلسیوس و برای کارخانه‌ها تا محدوده‌ی ۶- درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. محدوده‌ی ۹ نشان می‌دهد که با استفاده از حداکثر این پتانسیل در دمای کمتر از ۱۵ درجه نیز می‌توان بدون استفاده از

سیستم گرمایشی دمای داخل را در محدوده‌ی آسایش قرار داد. شماره‌های ۱۰ و ۱۱ مربوط به دریافت انرژی از سیستم غیرفعال خورشیدی است. این دو ناحیه با خطچین نشان داده شده‌اند. زیرا فقط می‌توانند یک تخمین تقریبی باشند و تابعی از طراحی ساختمان هستند. اگر ساختمان دارای مقدار مناسبی از شیشه‌های رو به خورشید باشد، گرمایش خورشیدی غیرفعال می‌تواند دمای داخلی را افزایش دهد. محدوده‌ی ۱۰ که بین دماهای ۰ و ۵- قرار دارد مربوط به جرم حرارتی کم می‌باشد و از طریق پنجره‌ها یا یک سیستم خورشیدی غیرفعال دیگر تابش دریافت می‌شود. به عبارت دیگر از این دما به سمت بالا امکان دریافت تابش و نزدیک شدن به منطقه‌ی آسایش وجود دارد. محدوده‌ی ۱۱ نیز مربوط به جرم حرارتی بالا می‌باشد.

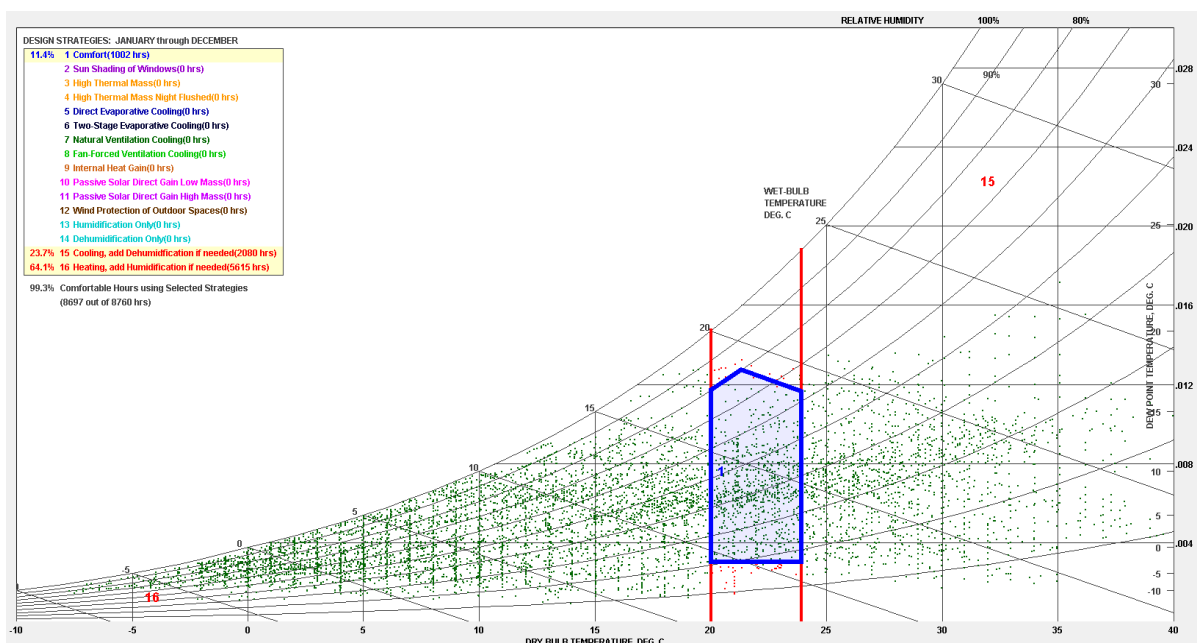
شکل ۱۸: محدوده‌های جلوگیری از وزش باد و رطوبت‌زنی و رطوبت‌گیری در نمودار سایکرومتریک



خط ۱۲ محدوده‌ی حفاظت فضاهای بیرونی در برابر باد می‌باشد. در هوای بسیار سرد، ساعتی وجود دارد که بادهای سرد در فضاهای بیرونی ناراحت‌کننده هستند. در هوای گرم نیز ساعتی وجود دارد که وزش بادهای گرم مطلوب نیست. این مرزها برای شرایطی است که سرعت باد حدوداً بیشتر از ۳۲ کیلومتر بر ساعت و دمای حباب خشک بیشتر یا کمتر از حد مشخصی باشد.

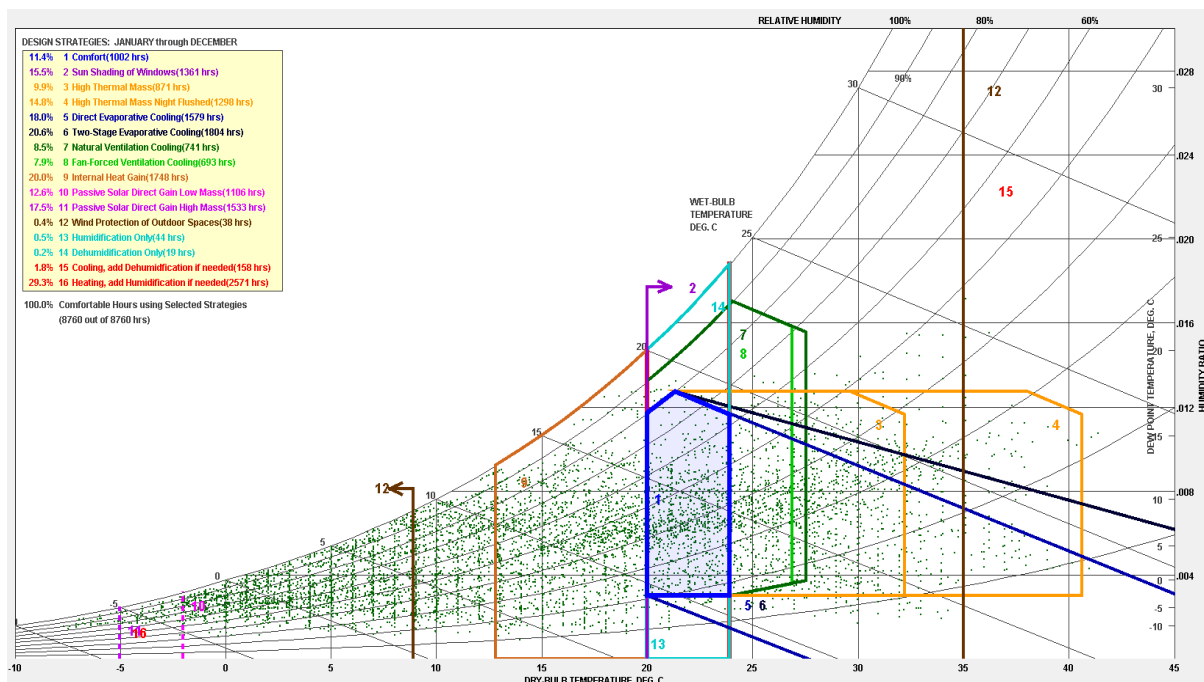
شماره ۱۲ (رطوبت‌زنی) مستقیماً زیر ناحیه‌ی آسایش قرار می‌گیرد و حالتی را نشان می‌دهد که هوای داخل در محدوده‌ی راحتی دمای حباب خشک قرار گرفته اما هوا خشک بوده و نیاز به اضافه شدن رطوبت احساس می‌شود. اغلب توسط ساکنین رطوبت کافی به هوا اضافه می‌شود (بازدم، تعریق، شستشو، پخت‌وپز و استحمام) به طوری که در ساختمان‌های مدرن که به خوبی آب‌بندی شده‌اند معمولاً نیازی به رطوبت مکانیکی نیست. شماره ۱۳ مربوط به رطوبت‌زدایی است. این ناحیه کاملاً بالای محدوده‌ی آسایش قرار می‌گیرد. در حالت کلی فرآیند رطوبت‌زدایی سخت‌تر از رطوبت‌زنی است.

شکل ۱۹: محدوده‌های سرمایش و گرمایش مصنوعی (متداول) در نمودار سایکرومتریک



این قسمت برای حالتی است که از تمام راهکارهای غیرفعال ممکن جهت گرمایش و سرمایش بهره بردیم اما همچنان نیاز به انرژی گرمایشی و یا سرمایشی داریم. دقت شود که در این دو ناحیه سرمایش و یا گرمایش الزامی است. اما فرآیندهای رطوبت‌زدایی و رطوبت‌گیری در صورت نیاز انجام می‌شوند. ناحیه‌ی ۱۵ مربوط به سرمایش می‌باشد و آن ساعت در محدوده‌ای قرار می‌گیرد که هیچ استراتژی خنک‌کننده‌ی دیگری وجود ندارد و سیستم خنک‌کننده‌ی مصنوعی (کولر گازی، اسپلیت، چیلر و ...) مورد نیاز است. دقت شود که در این ناحیه اگر هوا هنوز خیلی مرطوب است (یعنی بالای منطقه‌ی آسایش قرار دارد) نوعی رطوبت‌زدایی ضروری خواهد بود. رطوبت‌زدایی در صورتی امکان‌پذیر است که هوای داخل خانه تا رسیدن به خط اشباع (رطوبت ۱۰۰ درصد) خنک شود و سپس به خنک شدن در پایین خط اشباع ادامه دهد. به این معنی که رطوبت از هوا رسوب می‌کند تا زمانی که به سطح بالای منطقه‌ی آسایش برسد. این سیستم خنک‌کننده معمولاً یک تهویه‌ی مطبوع یا پمپ حرارتی معمولی سیکل مبرد است و یا می‌توان یک کولر جذبی را تعریف کرد. دقت شود که در اقلیم مرطوب و بسیار گرم راهکارهای اقلیمی زیادی نداریم که بتواند ما را به منطقه‌ی آسایش برساند. البته می‌توان از اقدامات کمک‌کننده‌ای مانند تهویه‌ی طبیعی، سایه‌اندازی، شادونه (معماری سنتی دزفول) و ... استفاده کرد اما اثرگذاری آن به اندازه‌ی اقلیم‌های دیگر نیست. در ناحیه‌ی ۱۶ نیاز به گرمایش مصنوعی مانند بخاری، بویلر، پکیج و در صورت نیاز، رطوبت‌زنی داریم. در ساعاتی از سال نیز ممکن است هوا خیلی مرطوب و خیلی سرد باشد. یعنی هم به رطوبت‌زدایی و هم گرمایش نیاز است اما به دلیل اینکه در ساعات کمی از سال این پدیده رخ می‌دهد ممکن است که به سیستم HVAC خاصی نیاز نباشد. در این شرایط ممکن است شبنم منجمد و یا یخ تشکیل شود.

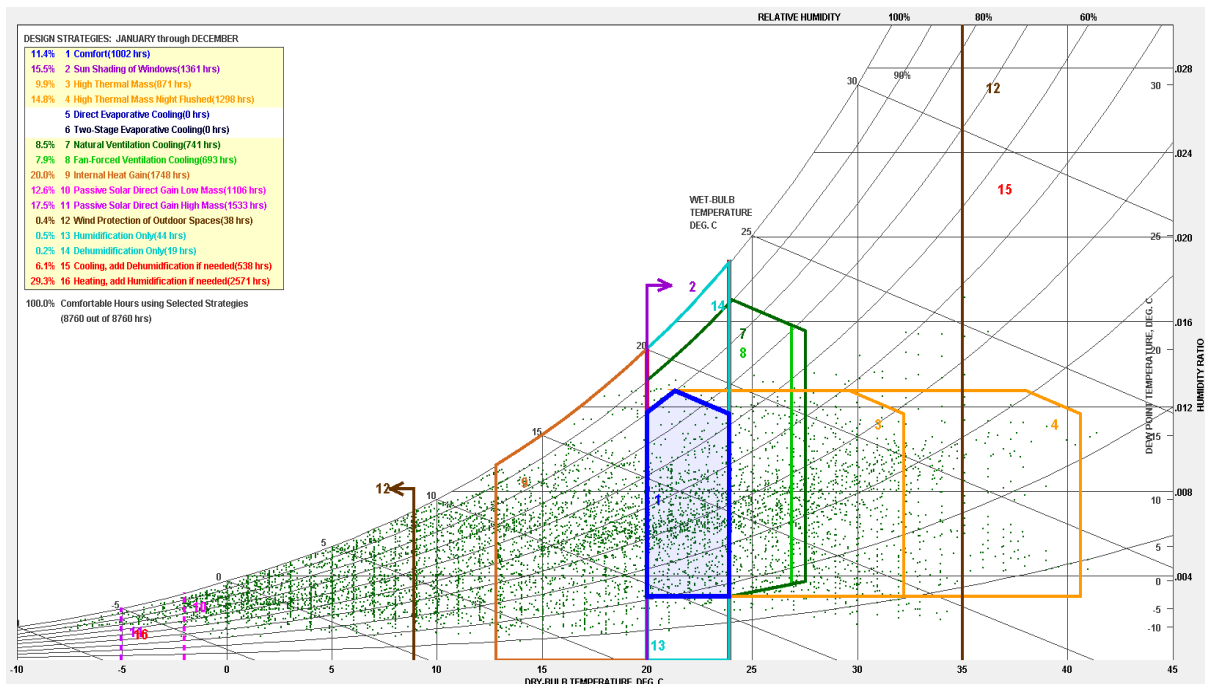
شکل ۲۰: نمودار سایکرومتریک شهر مشهد



این نمودار که از ترکیب نمودارهای قبلی تشکیل شده نشان‌دهنده‌ی شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی (سایکرومتریک) شهر مشهد در نرم‌افزار Climate Consultant می‌باشد. این نمودار پتانسیل استفاده از هر کدام از راهکارهای غیرفعال را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه ۱۱/۴ درصد از سال (معادل ۱۰۰۲ ساعت) شرایط در داخل منطقه‌ی آسایش قرار دارد و نیاز به هیچ راهکار غیرفعال و فعالی وجود ندارد. شماره‌ی ۲ بیان می‌کند که در ۱۵/۵ درصد از سال (معادل ۱۳۶۱ ساعت) نیاز به سایه‌اندازی وجود دارد. شماره‌ی ۷ نشان می‌دهد که در ۸/۵ درصد از سال (معادل ۷۴۱ ساعت) پتانسیل استفاده از تهویه‌ی طبیعی وجود دارد. بقیه‌ی موارد هم در جدول سمت چپ نمودار مشخص است. در نهایت شماره‌های ۱۵ و ۱۶ بیان می‌کنند که اگر از تمام پتانسیل راهکارهای غیرفعال اشاره شده در شماره‌های ۲ تا ۱۴ استفاده شود، در ۱/۸ درصد از کل سال (معادل ۱۵۸ ساعت) نیاز به سرمایش مصنوعی و در ۲۹/۳ درصد از سال نیاز به گرمایش مصنوعی وجود دارد. دقت شود که در نرم‌افزار و معمولاً در طراحی‌های معماری استفاده از سرمایش تبخیری را به عنوان راهکار غیرفعال در نظر می‌گیرند. دلیل این امر مصرف پایین انرژی الکتریکی این سیستم‌ها می‌باشد. اما در واقعیت ۱۰۰ درصد غیرفعال نیست و استفاده از تکنولوژی در آن وجود دارد و می‌توان به عنوان یک سیستم هیبریدی در نظر گرفت. لازم به ذکر است که سیستم سرمایش تبخیری شامل استفاده از پتانسیل تبخیر آب در گل و گیاه و درختان و حوض آب نیز می‌باشد. شکل ۱۵ نشان می‌دهد که اگر سرمایش تبخیری را از روش‌های غیرفعال حذف کنیم استفاده از سرمایش مصنوعی به ۶/۱ درصد از سال افزایش می‌یابد.



شکل ۲۱: نمودار سایکرومتریک شهر مشهد با حذف سرمایش تبخیری از راهکارهای غیرفعال



شکل ۲۲: راهکارهای کلی ارائه شده توسط نرم افزار Climate Consultant

Assuming only the Design Strategies that were selected on the Psychrometric Chart, 100.0% of the hours will be Comfortable.  
This list of Residential Design guidelines applies specifically to this particular climate, starting with the most important first. Click on a Guideline to see a sketch of how this Design Guideline shapes building design (see Help).

19	For passive solar heating face most of the glass area south to maximize winter sun exposure, but design overhangs to fully shade in summer
20	Provide double pane high performance glazing (Low-E) on west, north, and east, but clear on south for maximum passive solar gain
35	Good natural ventilation can reduce or eliminate air conditioning in warm weather, if windows are well shaded
3	Lower the indoor comfort temperature at night to reduce heating energy consumption (lower thermostat heating)
11	Heat gain from lights, people, and equipment greatly reduces heating needs so keep home light, well insulated
37	Window overhangs (designed for this latitude) or operable sunshades (awnings that extend in summer) can reduce summer heat gain
31	Organize floorplan so winter sun penetrates into daytime use spaces with specific functions that coincide with sun path
42	On hot days ceiling fans or indoor air motion can make it seem cooler by 5 degrees F (2.8C) or more, thus less heating is needed
18	Keep the building small (light-sized) because excessive floor area wastes heating and cooling energy
8	Sunny wind-protected outdoor spaces can extend living areas in cool weather (seasonal sun rooms, enclosed porches)
45	Flat roofs work well in hot dry climates (especially if light colored)
15	High Efficiency furnace (at least Energy Star) should prove cost effective
1	Tiles or slate (even on wood floors) or a stone-faced fireplace provides enough surface mass to store winter heat
14	Locate garages or storage areas on the side of the building facing the coldest wind to help insulate
16	Trees (neither conifer or deciduous) should not be planted in front of passive solar windows, but are OK beyond
62	Traditional passive homes in temperate climates used light weight construction with slab on grade and operable windows
61	Traditional passive homes in hot dry climates used high mass construction with small recessed shaded operable windows
4	Extra insulation (super insulation) might prove cost effective, and will increase occupant comfort by keeping indoor temperatures stable
33	Long narrow building floorplan can help maximize cross ventilation in temperate and hot humid climates
43	Use light colored building materials and cool roofs (with high emissivity) to minimize conducted heat gain

**Design Guideline 20**

**DOUBLE PANE LOW - E**

TYPICAL SOLAR HEAT GAIN COEFFICIENT = .42

TYPICAL VISIBLE LIGHT TRANS = .43

TYPICAL CONDUCTION U-FACTOR = .45

**DOUBLE PANE CLEAR**

TYPICAL SOLAR HEAT GAIN COEFFICIENT = .52

TYPICAL VISIBLE LIGHT TRANS = .57

TYPICAL CONDUCTION U-FACTOR = .45

**20** Provide double pane high performance glazing (Low-E) on west, north, and east, but clear on south for maximum passive solar gain

Link to 2030 | Print | Close | Copyright (c) 2008, 2014 Regents of the University of California

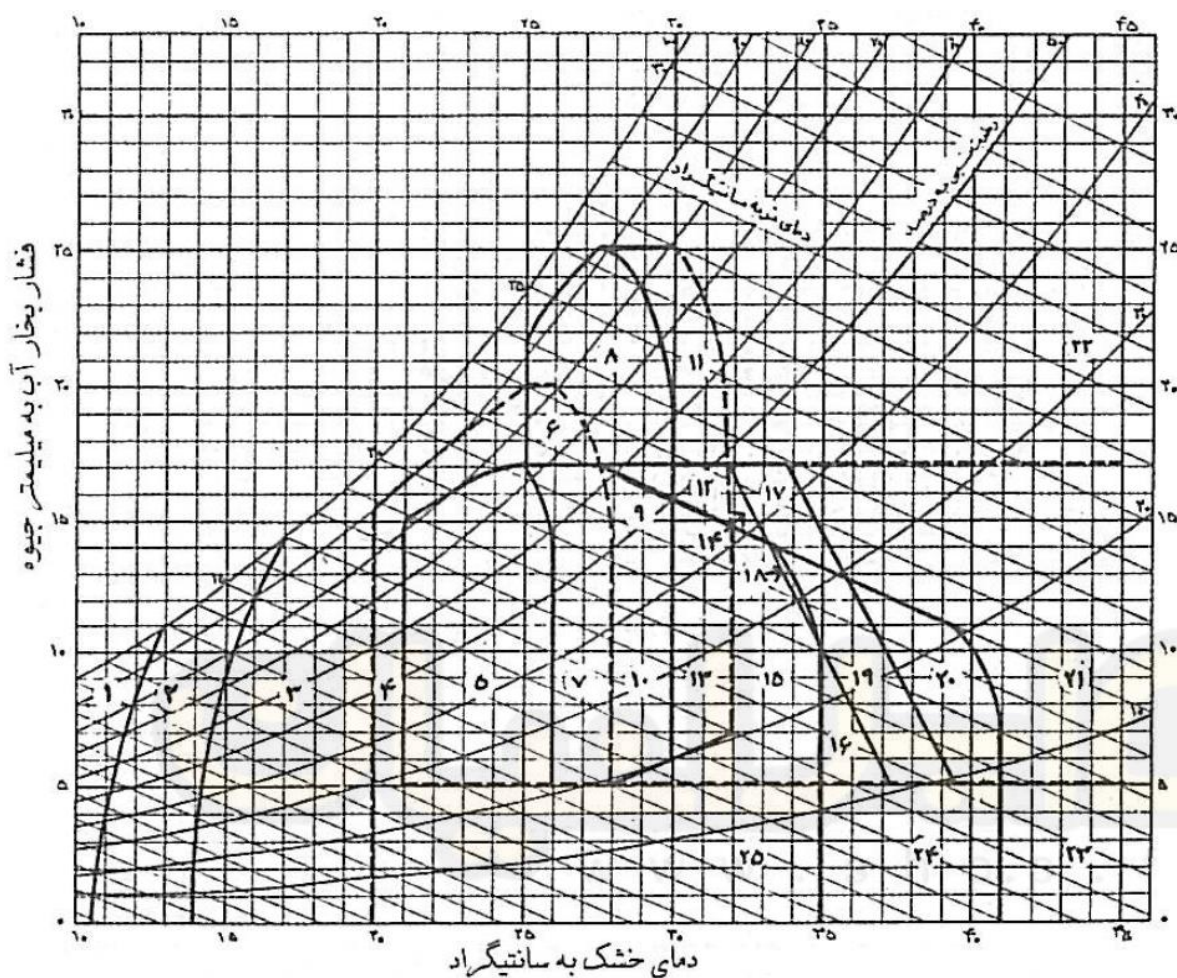
در نهایت نرم افزار راهکارهای کلی را جهت استفاده ی معماران معرفی می کند. مانند استفاده از پنجره های پرفورمنس دوجداره ی LOW-E برای جبهه های شمال و شرق و غرب تا از اتلاف حرارت به صورت تابشی از داخل به بیرون جلوگیری شود. اما برای سمت جنوب و جهت افزایش استفاده از تابش خورشیدی باید از

شیشه‌های شفاف استفاده شود. دقت شود که این موارد راهکارهای کلی است و در نهایت معمار با توجه به سایت ساختمان و محدودیت‌های موجود در صورت صلاحدید، از برخی از این رهنمودها استفاده می‌کند.

## احکام معماری

گیونی ۲۵ منطقه را روی نمودار سایکرومتریک مشخص کرد. این مناطق در شکل ۱۵ مشخص شدند.

شکل ۲۳: مناطق ۲۵ گانه‌ی شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی [3]



در این نمودار قطعه‌ی ۵ منطقه‌ی آسایش را نشان می‌دهد و نواحی ۴، ۶ و ۷ نیز توسعه‌های قابل قبول برای احساس آسایش هستند. جدول ۲ احکام معماری مورد نیاز در قسمت‌های ۲۵ گانه‌ی نمودار فوق را ارائه می‌دهد. همان‌طور که مشخص است برای بعضی از قطعات چند حکم متفاوت وجود دارد. اینجا معمار باید با حساسیت و هنر خود از بین احکام متفاوت و شاید متغایر بهترین راه‌حل را انتخاب کند. این مستلزم شناخت صحیح و آگاهی از رفتار ساختمان در مقابل سرما و گرما و نقش آن در تنظیم شرایط محیطی است.



جدول ۲: احکام معماری مناطق ۲۵ گانه‌ی شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی [3]

قطعه	احکام معماری برای هر قطعه در نمودار
۱-۳، ۸-۲۵	به حداقل رساندن تبادل حرارت از جدار ساختمان
۱-۳، ۲۲-۲۵	جلوگیری از نفوذ هوا از درز پنجره، درب و اتصالات ضعیف
۴-۲۵	به حداقل رساندن گرمای خورشیدی موثر بر ساختمان
۱-۳	بهره‌گیری از گرمای خورشید
۸-۱۳	استفاده از تهویه (کوران) طبیعی برای اتاق‌ها
۱۰-۱۶، ۱۳، ۹-۲۰، ۱۵-۱۸	استفاده از برودت ناشی از تبخیر سطحی آب
۹-۱۰، ۱۲-۱۹	استفاده از برودت ناشی از تشعشع حرارت جدار ساختمان
۲۱، ۲۳	استفاده از سیستم سردکننده‌ی مکانیکی
۲۲	استفاده از سردکننده‌ی مکانیکی و رطوبت‌زدایی
۴-۲۵	جلوگیری از ورود آفتاب به ساختمان

در ادامه چند راهکار معماری در مورد هر کدام از احکام ارائه می‌شود [3].

\* حکم ۱: به حداقل رساندن تبادل حرارت از جدار ساختمان:

الف) سطح خارجی ساختمان: ضمن کوچک کردن سطوحی مانند درب و پنجره که مقاومت حرارتی پایینی دارند، باید نسبت مجموع سطوح خارجی ساختمان به حجم آن را به حداقل رساند. به اصطلاح باید ساختمان را متراکم طراحی کرد.

ب) مقاومت گرمایی جدار ساختمان: زمانی که به دلیل استفاده از مناظر طبیعی و یا نیاز به تهویه‌ی طبیعی امکان طراحی متراکم مقدور نباشد، باید دیوارهای خارجی ساختمان را به طور مناسب عایق‌کاری کرد.

ج: اختلاف دمای داخل و خارج: توجه کافی به انتخاب مکان ساختمان و طراحی محیط اطراف آن و حتی با توجه به شرایط و در صورت امکان، احداث ساختمان در داخل زمین.

\* حکم ۲: جلوگیری از نفوذ هوا از درز پنجره، درب و اتصالات ضعیف:

توجه به انتخاب مکان، طراحی محیط و جهت‌گیری ساختمان نسبت به باد و درز بندی کامل اتصالات ساختمانی.

\* حکم ۳: به حداقل رساندن گرمای خورشیدی موثر بر ساختمان:

الف: جلوگیری از نفوذ اشعه‌ی مستقیم خورشید از قسمت‌های شفاف جدار (درب و پنجره و ...) با کاشت درخت در جلو پنجره و یا نصب سایه‌بان‌های ثابت و متحرک

ب: جلوگیری از جذب اشعه‌ی خورشید توسط قسمت کدر ساختمان (دیوار و سقف) با به حداکثر رساندن مقدار اشعه‌ی بازتابشی. رنگ سفید و مصالح ساختمانی روشن به این مهم کمک می‌کنند.

ج) کاهش شدت تابش اشعه‌ی خورشید بر جدار ساختمان که به زاویه‌ی تابش بستگی دارد. برای این کار باید ساختمان را در جهتی احداث کرد که در مواقع گرم روز امکان تابش عمود بر اتاق‌های زندگی نباشد.

\* حکم ۴: به حداقل رساندن گرمای خورشیدی موثر بر ساختمان:

راهکارهای این حکم مخالف راهکارهای حکم ۳ می‌باشند.

\* حکم ۵: استفاده از تهویه (کوران) طبیعی برای اتاق‌ها:

این راهکار مخصوص مناطقی است که رطوبت هوا بالا و اختلاف دمای روز و شب کم است. باید اجزای ساختمان از قبیل سقف و دیوار سبک ساخته شوند و با ایجاد سایه‌بان بزرگ در اطراف ساختمان اجزا را در مسیر جریان دائم هوا قرار داد. اگر امکان ایجاد سایه‌بان وجود نداشته باشد باید ساختمان مرتفع و با ایوان‌های رو به باد باشد و از ایجاد فضاهای تودرتو که باعث کاهش سرعت جریان هوا می‌شود خودداری کرد.

\* حکم ۶: استفاده از بروود ناشی از تبخیر سطحی آب:

الف) روش ساده: استفاده از جابجایی هوای خنک با عبور توده‌ی هوا از روی آب، سطوح قائم و افقی مرطوب، باغچه‌های پوشیده از گیاه و پاسیوهای مشجر و مجهز به حوض و فواره و هدایت هوای خنک شده به داخل اتاق‌ها.

ب) روش مرکب: استفاده‌ی همزمان از بروود تبخیری و هدایت حرارت. در این روش سطح بام هنگام گرمای هوا آب‌پاشی شده و مرطوب نگه داشته می‌شود تا با تبخیر قطرات آب گرمای هوای اطراف گرفته شده و لایه‌های خارجی سقف، خنک شده و این هوای خنک از طریق هدایت به لایه‌های زیری و داخل اتاق‌ها منتقل می‌شود.

\* حکم ۷: استفاده از بروود ناشی از تشعشع حرارت جدار ساختمان:

بدین منظور در مناطق گرم و خشک باید از مصالح ساختمانی با ظرفیت حرارتی بالا استفاده شود تا به کندی گرم شوند. همچنین اگر محل اسکان شب با روز متفاوت است باید قابلیت انتقال حرارت اجزای ساختمانی بخش شب زیاد باشد تا به محض فرا رسیدن شب گرمای روز را به بیرون منتقل کند.

### محاسن و معایب شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی (سایکرومتریک) [3]

به دلیل آن‌که شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی بر بستر نمودار سایکرومتریک (که روابط پدیده‌های آب‌وهوایی مختلف را نشان می‌دهد) تشکیل شده است و با پارامترهای مختلف آب‌وهوایی عمل می‌کند، نسبت به دو شاخص دمای موثر و شاخص زیست‌اقلیمی برتری دارد. شاخص دمای موثر و شاخص زیست‌اقلیمی تنها با یک زوج داده (اولی با دماهای خشک و تر و دومی با دمای خشک و رطوبت نسبی) کار می‌کنند.

ایراد اصلی این شاخص پیچیدگی و شلوغی آن است. زیرا باید کل اطلاعات آب‌وهوایی سالانه را بر روی نمودار پیاده کرد و تحلیل آن وقت‌گیر و دشوار است. برای طراحی که بنا به هر دلیلی برای آن‌ها امکان تحلیل منحنی‌های پیچیده وجود ندارد شاخص ماهانی پیشنهاد می‌شود که به روشنی احکام معماری را در قالب جدول‌های چندگانه ارائه می‌کند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا به معرفی شاخص زیست‌اقلیمی پرداخته شد. سپس در مورد نمودار سایکرومتریک و پارامترهای تاثیرگذار و فرآیندهای درون آن توضیحاتی ارائه گردید. پس از آن شاخص زیست‌اقلیمی ساختمانی معرفی گردید و در مورد تاثیر آن در طراحی ساختمان و انتخاب گزینه‌های غیرفعال طراحی و محاسبه‌ی بارهای سرمایشی و گرمایشی بحث شد. پس از آن برای مناطق مختلف نمودار، راهکارهای معماری ارائه شد و در پایان نقاط قوت و ضعف این شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها معرفی گردید. این شاخص به دلیل آنکه بر بستر نمودار سایکرومتریک تشکیل شده با پارامترهای مختلف آب‌وهوایی عمل می‌کند و از این جهت نسبت به سایر شاخص‌ها برتری دارد. اما استفاده از آن به دلیل پیاده‌سازی کل اطلاعات آب‌وهوایی سالانه در نمودار پیچیدگی‌هایی دارد.

## References:

1. 2022 Global status report for buildings and constructions. "2022 United Nations Environmental Programme".
2. Cengel, Y.A.; Boles, M.A. "Thermodynamics: an engineering approach", 8<sup>th</sup> edition 2015.
۳. رازجویان، محمود. "آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم". ویراست دوم ۱۳۹۴.
4. Koeinigsberger, et al. "Manual of Tropical Housing & Building". India, Orient Longman 1973.
۵. کسمایی، مرتضی. "اقلیم و معماری"، ویراست دوم ۱۳۸۲.
6. [https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Applied/Chapt.7\\_11/Chapter10b.html](https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Applied/Chapt.7_11/Chapter10b.html)
7. Givoni, B. "Man, Climate & Architecture". New York, Elsevier 1969.