اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع
ایران، تهران، خرداد ۱۳۸۸

بررسی تاثیر نرخ تهویه هوا بر تغییرات رطوبت نسبی هوای داخل ساختمان

فرید تقی پور اهل [۱]، فرزاد ویسی [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک دانشگاه رازی ؛ farid_taghipoorahl@yahoo.com
[۲] استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه رازی کرمانشاه ؛ veysi@razi.ac.ir

چکیده

تامین رطوبت نسبی هوای داخل ساختمان در یک محدوده مناسب، بعد از درجه حرارت مهمترین عامل در تامین شرایط آسایش داخل ساختمان است. نرخ تهویه علاوه بر اینکه بر بار حرارتی ساختمان و در نتیجه درجه حرارت هوای داخل تاثیر دارد، بطور غیر مستقیم رطوبت نسبی هوا را نیز تغییر می دهد. به همین خاطر بررسی تاثیر نرخ تهویه هوای داخل بر تغییرات رطوبت نسبی مستلزم در نظر گرفتن تمام عوامل مذکور در یک مدل واحد است. در این مقاله یک مدل ریاضی برای تحلیل رفتار حرارتی و رطوبتی ساختمان در حالت گذرا ارائه شده است. مدل بر اساس نوشتن معادلات توازن انرژی برای اجزای مختلف ساختمان یعنی دیوارها، سقف، کف و نیز منبع گرمایی تشکیل شده است. هم چنین معادله توازن جرم برای تغییرات رطوبت هوای داخل ساختمان نوشته شده است. معادلات بدست آمده به شکل موسوم به فضای حالت نوشته شده و با روش عددی تحلیل گردیده‌اند. از نتایج حل برای پیش بینی رفتار حرارتی و رطوبتی هوای داخل استفاده شده است. مدل ریاضی قادر است راههای کنترل رطوبت نسبی داخل اتاق را در محدوده شرایط آسایش بررسی کند. این مدل توانایی بررسی احتمال میعان بر روی سطوح داخل ساختمان را تحت تاثیر شرایط مختلف هوای خارج و خارج در شرایطی که این عوامل نسبت به زمان بطور پیوسته تغییر می کنند را دارد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی دینا میکی، ساختمان، تهویه، رطوبت نسبی، میعان

مقدمه

در تامین شرایط آسایش هوای داخل ساختمان ۳ عامل اساسی را می توان برشمرد: درجه حرارت، رطوبت نسبی، تامین هوای تازه. تهویه هوا به منظور تامین هوای تازه از اجزاء محاسبات بار حرارتی ساختمان است و درجه حرارت خشک هوای داخل را تحت تاثیر قرار می دهد. تهویه هوای اتاق با توجه به اختلاف میزان رطوبت هوای داخل و خارج ساختمان بطور مستقیم مقدار رطوبت نسبی هوای داخل را نیز تغییر می دهد. انتخاب نرخ مناسب تهویه هوا تابع عوامل مختلفی است. این عوامل شامل کاربری ساختمان، تعداد افراد حاضر، سطح آلودگی و ... هستند. با توجه به اینکه اساساً انتخاب نرخ تهویه بر اساس داده های تجربی صورت می گیرد و معمولاً در محدوده ای با دامنه تغییرات زیاد پیشنهاد می شود، طراحان سیستم های تهویه مطبوع در انتخاب یک نرخ مناسب تهویه در محدوده های پیشنهادی عموماً تجربیات مهندسی خود را بکار می گیرند. واضح است که انتخاب نرخ تهویه در حداقل مقدار خود با توجه به تاثیر در بار حرارتی ساختمان، ضمن تامین شرایط آسایش، مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. اما این مسئله که این مقدار حداقل نرخ تهویه، رطوبت نسبی ساختمان را در چه محدوده ای قرار خواهد داد، مسئله ای است که باید مورد توجه قرار گیرد. پیچیدگی مسئله زمانی است که شرایط محیطی هوای بیرون از نظر درجه حرارت و رطوبت در طول شبانه روز مرتباً در حال تغییر است. به همین دلیل پیش بینی شرایط دما و رطوبت داخل ساختمان مستلزم تحلیل در حالت ناپایدار زمانی و یا به عبارتی تحلیل دینامیکی است. مطالعات وسیعی در راستای مدلسازی انتقال حرارت ورطوبت در ساختمان و نیز پیش بینی و کنترل دما و رطوبت صورت گرفته است. نتیجه این مطالعات ارائه روشهایی برای مدلسازی و تعیین معادلات حاکم بر تغییر دما و رطوبت در ساختمان بوده است [1],[2] .

Hudsun &Underwood درسال ۱۹۹۹ برای اولین بار معادلات مدل حرارتی را با نوشتن به شکل معادلات فضای حالت در محیط برنامه Simulink حل کردند [3]. سپس در سال ۲۰۰۴ برای مدلسازی انتقال حرارت در یک ساختمان مفروض از مدل سه لایه برای دیوارها استفاده کردند. آنها با در نظر گرفتن هوای داخل اتاق بصورت یک ناحیه با ظرفیت حرارتی متمرکز معادلات بالانس انرژی را در ساختمان نوشته و یک دسته معادلات در فضای حالت بدست آوردند[4]. در سال ۲۰۰۱ Mendes معادلات توازن انرژی در ساختمان را تحت شرایط گذرا نوشت و به روشهای عددی حل کرد برای تعیین میزان دقت پاسخهای حاصل از این روش یک اتاق آزمایشی با شرایط آب و هوایی کنترل شده طراحی گردید. مقایسه نتایج تجربی و تئوری نشان می دهد که نتایج حاصل از حل انجام شده به واقعیت نزدیک است[5] . در سال ۲۰۰۵ Kunzen & Holm مطالعه ای در زمینه رفتار حرارتی و رطوبتی ساختمان انجام دادند که درآن معادلات بقای انرژی و رطوبت را برای یک اتاق نمونه نوشته و رطوبت نسبی هوای داخل را بر حسب ساعتهای روز برای پوششهای مختلف ساختمان به دست آوردند [6].

در این مقاله مدل ریاضی برای پیش بینی رفتار حرارتی و رطوبتی ساختمان با تکیه بر سادگی مدل و سرعت محاسبات کامپیوتری ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

مدل ریاضی

با توجه به تغییرات پیوسته درجه حرارت و رطوبت هوای بیرون در طول شبانه روز و یا در روزهای مختلف سال، تحلیل رفتار حرارتی و رطوبتی ساختمان مستلزم یک مدل ریاضی ناپایدار زمانی و یا به عبارتی دینامیکی است.در کار حاضر از یک مدل دینامیکی برای آنالیز رفتار حرارتی و رطوبتی در یک اتاق استفاده شده است. منظور از مدل حرارتی ورطوبتی یک ساختمان تعیین مدلی است که بتواند نحوه تغییرات دما ورطوبت هوای داخل و نیز دیگر اجزای ساختمان(در صورت لزوم) را نسبت به زمان و تحت تاثیر تغییرات عوامل ورودی به سیستم نظیر دمای هوای بیرون، رطوبت هوای بیرون نوع سیستم گرمایش و .. پیش بینی نماید. در مدلسازی رفتار حرارتی و رطوبتی یک ساختمان مهمترین بخش، تعیین تعداد اجزاء و عناصر موثر در تبادل انرژی وجرم در ساختمان است. تولید رطوبت و مصرف آن در داخل اتاق ، ورود رطوبت از پوششها به سبب اثر موئینگی، پخش و جذب بخار در هوای داخل و دیوارها، تولید حرارت و مصرف آن در داخل اتاقل، حرارت ورودی از پوششها، انرژی خورشیدی ورودی از دیوارها و پنجره ها و تهویه طبیعی یا مکانیکی منابع رطوبتی و حرارتی از مهمترین عوامل رطوبتی و حرارتی در ساختمان به شمار می‌آیند. هوا و رطوبت درون ساختمان بصورت یک ناحیه متمرکز با دما و رطوبت واحد گرفته می‌شوند. برای نوشتن سیستم معادلاتی که انتقال حرارت ورطوبت از جداره های خارجی ساختمان راتشریح می کند، دیوارهای خارجی، سقف و کف هر کدام متشکل از سه لایه مختلف که دقت کافی در مدل سازی دما و رطوبت را در حالت ناپایدار دارد در نظر گرفته می شود. مدلهایی با تعداد لایه های بیشتر تاثیر زیادی در افزایش دقت محاسبات نخواهد داشت ضمن اینکه حجم محاسبات را زیاد میکنند.[4],[5] .

معادله توازن انرژی برای هر لایه از دیوارها، سقف و کف ساختمان نوشته شده که این معادلات در حالت کلی بصورت زیرند:

$$\rho_i c_i V_i \frac{dT_i}{dt} = U_{i,i+1}(T_{i+1} - T_i) - U_{i-1,i}(T_i - T_{i-1}) \qquad (۱)$$

که در این رابطه :

(۲)

$$U_{i-1,i} = \frac{1}{\frac{L_{i-1}}{2k_{i-1}A_{i-1}} + \frac{L_i}{2k_i A_i}} \quad U_{i,i+1} = \frac{1}{\frac{L_i}{2k_i A_i} + \frac{L_{i+1}}{2k_{i+1}A_{i+1}}}$$

برای منبع تولید انرژی گرمایی در داخل فضا که در اینجا یک منبع با دمای ثابت فرض شده است معادله توازن انرژی بصورت زیر خواهد بود :

$$\rho_h c_h V_h \frac{dT_h}{dt} = U_h(T_a - T_h) \qquad (۳)$$

که $U_h = A_h h_h$ ضریب انتقال حرارت کلی منبع تولید انرژی گرمایی است .

معادله توازن انرژی برای دما هوای داخل اتاق بصورت زیر نوشته می شود :

$$\rho_a c_a V_{room} \frac{dT_{in}}{dt} = \sum_i Q_i + Q_{gen} \qquad (۲)$$

که $\sum_i Q_i$ نرخ انتقال حرارت از پوششهای ساختمان (دیوار، سقف و کف) است که با دمای داخل تبادل گرما دارند و Q_{gen} نرخ تولید حرارت های اضافی ناشی از تجهیزات داخل ساختمان است.

حالت رطوبت در هر نقطه داخل ساختمان تابعی ترکیبی از ویژگیهای حرارتی و رطوبتی آن است. انتقال رطوبت در اجزای ساختمان با انتقال حرارت در ساختمان کاملاً وابسته است. رطوبت می‌تواند بوسیله هوای تولیدی ، هوای نفوذی، منابع داخلی از قبیل انسان، پخت و پز ، شستشو و نفوذ از دیوارهای داخلی اتاق به هوای اتاق اضافه شود. همچنین رطوبت، هوای اتاق را ازطریق هوای خروجی و جذب سطحی از سطوح داخلی دیوارها ترک می‌کند. بنا براین معادله توازن جرم برای رطوبت نسبی هوای داخل اتاق بصورت زیرنوشته می شود :

$$\rho_{air} V_{room} \frac{d\omega_{in}}{dt} = N\rho_{air} V_{room}(\omega_{out} - \omega_{in}) + \dot{m}_b + \dot{m}_{gen} + W \qquad (۴)$$

$$W = \sum A_{wall} U_{vap} \rho_{air} \times \frac{R}{M}(T_{in}\omega_{in} - T_{out}\omega_{out}) \qquad (۵)$$

$$U_{vap} = \frac{1}{\sum Z} \qquad (۶)$$

که ω نسبت رطوبت ، $\dot{m}_b$ جریان بخار آب حاصل از تنفس ساکنان ، $\dot{m}_{gen}$ نرخ تولید بخار آب داخل، N دفعات تعویض هوا در ساعت ، $\frac{R}{M}$ ثابت گازی برای بخار آب وW نرخ انتقال رطوبت از پوششهای ساختمان است. معادله انتقال رطوبت در اجزای ساختمان به انتقال حرارت درساختمان بستگی دارد. در نتیجه معادلات(۱)، (۳) ، (۴) و(۵) بایستی بصورت هم زمان حل شوند. به این ترتیب مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل با مشتقات زمانی بدست می آید که بیانگر چگونگی تبادل انرژی وجرم بین اجزای مختلف ساختمان هستند. با حل معادلات مذکور می توان تحلیل درستی از چگونگی تغییرات دما و رطوبت در اجزاء مختلف ساختمان پیدا کرد. معادلات دیفرانسیل بدست آمده برای اجزای ساختمان که در کار حاضر ۱۲ معادله می باشند (سه معادله برای دیوار، سه معادله برای کف، سه معادله برای سقف، هوای داخل ، دیواره های داخلی و نیز توازن رطوبتی هر کدام یک معادله) را می توان بصورت یک معادله ماتریسی در فضای حالت[۱] بصورت زیر نوشت:

$$\dot{X} = AX + BU \qquad (۷)$$

که در این رابطه X ماتریسی است که درایه های آن دما و رطوبت نقاط مختلف ساختمان هستند و درآیه های ماتریسهای ضرایب A و B اثرات خواص فیزیکی ومشخصات هندسی اجزای تشکیل دهنده سیستم را بر دما و رطوبت نقاط مختلف ساختمان بیان می کنند. مشخصات فیزیکی اجزای سیستم در مدلسازی ریاضی بصورت

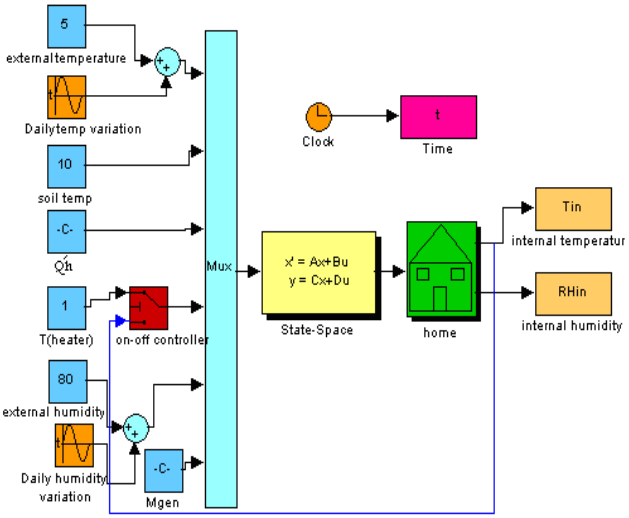
[۱] State space

Archive of SID

www.SID.ir

مقادیر ثابتی ظاهر می شوند که این مقادیر به مصالح بکار رفته در مدل واقعی مربوط هستند مانند دانسیته، ظرفیت حرارتی، ابعاد هندسی و.... درایه ها ی ماتریس U متشکل از ورودیهای معلوم شامل دما و رطوبت هوای بیرون اتاق و دمای عمق زمین است. معادله فضای حالت بدست آمده را می توان با استفاده از بلوک فضا-حالت از توابع کتابخانه ای MATLAB/Simulink بسادگی حل کرد. با طراحی بلوک دیاگرام مناسب می توان معادلات بدست آمده در فضای حالت را حل نمود بگونه ای که با گذشت زمان بطور لحظه ای نحوه تغییرات دما و رطوبت هوای داخل و نیز لایه های مختلف دیوار، کف و سقف ساختمان را مشاهده نمود.

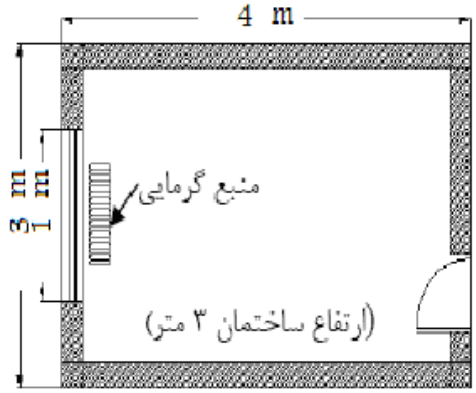
در شکل ۱ نمودار بلوک دیاگرام طراحی شده جهت حل مدل در شرایطی که دمای سطح تجهیزات گرمایشی ثابت است نمایش داده شده است. در این نمودار دمای سطح تجهیزات گرمایشی یکی از ورودیهای مدل محسوب می گردد و علاوه بر آن دمای عمق زمین ، دماو رطوبت نسبی هوای بیرون اتاق و گرمای تولید شده توسط تجهیزات موجود در اتاق و نرخ تولید بخار آب داخل ورودیهای دیگر هستند که همگی اطلاعاتی هستند که به بلوک فضا – حالت داده می شوند. یک رله زمانی جهت کنترل زمان روشن و خاموش شدن تجهیزات گرمایشی قرار داده شده که دمای سطح این تجهیزات را کنترل کرده و دمای هوای داخل اتاق را دریک محدوده آسایش از قبل تعیین شده نگه می دارد. این بلوک دیاگرام هم چنین می تواند میزان مصرف انرژی را در مدت زمان اجرای برنامه محاسبه کند.



شکل۱: نمودار بلوکی طراحی شده در محیط برنامه Simulink برای پیش بینی رفتار حرارتی و رطوبتی ساختمان

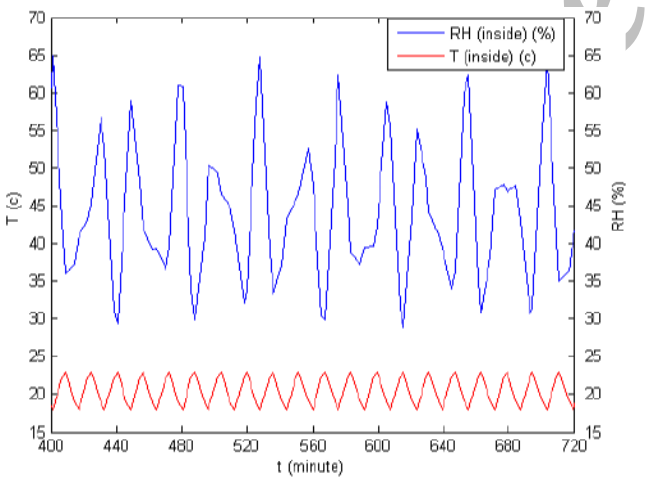
محاسبات و نتایج برای یک ساختمان نمونه

به منظور ارائه قابلیتهای مدل ریاضی وبرنامه کامپیوتری تهیه شده، با انتخاب یک ساختمان نمونه محاسبات رفتار حرارتی و رطوبتی ساختمان در شرایط مختلف انجام شده است. ساختمان مورد نظر با کاربری اداری و با ۴ دیوار که در معرض هوای بیرون است در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲: پلان ساختمان بکار رفته در محاسبات نمونه

مدل ارائه شده قادر است دما و رطوبت اجزاء و نقاط مختلف ساختمان را در شرایط کاری مختلف پیش بینی کند. توسط این مدل می توان تغییرات دما و رطوبت نسبی هوای داخل اتاق نسبت به زمان را در طول یک شبانه روز یا هر دوره زمانی دلخواه نشان داد. بعنوان نمونه در شکل ۳ نوسانات دما ورطوبت نسبی هوای اتاق در یک محدوده خاص زمانی رسم شده اند. در این حالت دما و رطوبت نسبی خارج ثابت و به ترتیب برابر $T_{ext} = 5^o C$ و $\phi_{ext} = 80\%$ در نظر گرفته شده است. دمای زمین نیز در عمق ۵ متری ثابت و برابر $T_f = 10^o C$ فرض شده است .



شکل ۳: نوسانات دما و رطوبت نسبی هوای داخل اتاق در یک محدوده خاص زمانی

اثر نرخ تهویه هوا بر رطوبت نسبی ساختمان

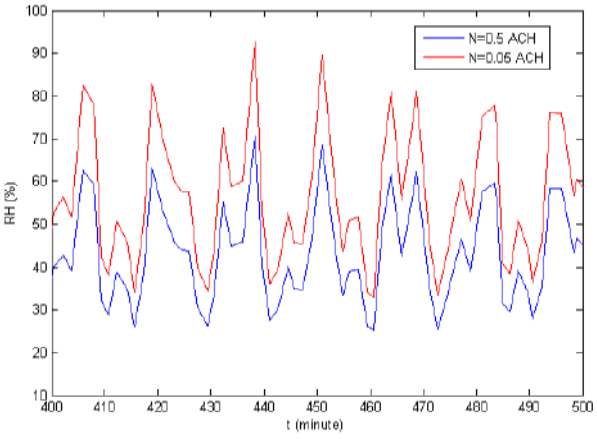
رطوبت در فضاهای داخل یکی از مهمترین فاکتورها برای تعیین کیفیت هوای داخل است و برخی از مشکلات مرتبط با سلامتی در محیط داخل ساختمان به رطوبت زیاد داخل مربوط می شود.کنترل رطوبت در تمامی اشکالش برای داشتن ساختمان بادوام و راحت بسیار مهم است. رطوبت زیاد داخل از جمله مهمترین دلایل برای تجمع رطوبت در پوششهای ساختمان که بسیار هم مضر است می

Archive of SID

www.SID.ir

باشد و می تواند یک دلیل هم برای مصرف انرژی اضافی برای گرمایش ساختمانها باشد. شرایط رطوبت بدون شناخت شرایط گرمایی نمی تواند پیش بینی شود. راههای کنترل رطوبت در شرایط گرمایش اغلب با شرایط سرمایش متفاوت است. بنابراین انتخاب گزینه های کنترل رطوبت به آب و هوای محل و همچنین نوع گرمایش و سرمایش بستگی دارد. برای کنترل رطوبت ابتدا شرایط گرمایش و سرمایش را بررسی کرده و سپس پتانسیل انتقال رطوبت را شناخته و درنهایت استراتژی کنترل رطوبت انتخاب می شود. از جمله این استراتژی ها می توان از خارج کردن رطوبت اضافی بوسیله تهویه نام برد. یکی از مهمترین مکانیزم های جا به جایی بخار آب ، جابه جایی هوا است. یک دلیل متداول برای مشکلات رطوبت در طول فصل زمستان (گرمایش) رطوبت بیش از حد داخل است که این دلیل بعلت یک توازن نامناسب بین رطوبت تولیدی و رطوبت جابه جا شده است .این توازن می تواند بوسیله کاهش منابع رطوبت یا افزایش نرخ جابه جایی هوا تغییر کند، که معمولاً بوسیله تهویه یا رطوبت زدایی این کار انجام می شود . شیوه تهویه کوتاه مدت از قبیل بازکردن پنجره و در ممکن است بطور لحظه ای میزان رطوبت را پایین بیاورد ولی پس از مدتی که پنجره و در بسته شوند میزان رطوبت دوباره بالا می رود .

نرخ تعویض هوا در داخل خانه به عواملی چون نشت هوای طبیعی و استفاده از تهویه مکانیکی از قبیل فنهای آشپزخانه و حمام بستگی دارد . برای نشان دادن اثر تغییرات نرخ تعویض هوا (ACH) بر رطوبت نسبی هوای داخل دو حالت تغییر نرخ تعویض هوا در نظر گرفته می شود. توانایی مدل در کنترل رطوبت نسبی برای تامین شرایط لازم برای آسایش در اتاق بوسیله افزایش و یا کاهش نرخ تهویه در نمودار شکل ۴ بررسی شده است. برای شکل۴ دمای هوای خارج ثابت و ۵ درجه سانتیگراد فرض می شود. در این دما رطوبت نسبی بیرون ۸۰٪ است و دمای زمین در عمق ۵ متری ثابت و برابر $T_f = 10^o$ در نظر گرفته می شود. رطوبت نسبی اتاق تحت شرایط $N = 0.05ACH$ و $N = 0.5ACH$ محاسبه و با هم مقایسه شده اند.



شکل ۴ تغییرات رطوبت نسبی داخل در دو حالت نرخ تهویه

همانطور که در نمودار شکل فوق مشاهده می شود رطوبت نسبی هوا در شرایط $N = 0.05ACH$ بسیار بالاتر از حد شرایط آسایش بوده و باید با افزایش نرخ تهویه و رساندن نرخ تعویض به 0.5 این مشکل حل شود و رطوبت نسبی اتاق در محدوده ۳۰ تا۶۵٪ قرار گیرد. همانگونه که ملاحظه می گردد با استفاده از مدل ارائه شده می توان نرخ تهویه مناسب را برای تامین شرایط رطوبتی دلخواه پیش بینی نمود.

جلوگیری از میعان سطحی بر روی سطوح دیوارها

از توانایی های این مدل مطالعه بر روی شرایط مطلوب محیط داخل و خارج برای جلوگیری از احتمال میعان بر روی سطوح داخل ساختمان است. احتمال وقوع میعان برروی سطوح اساساً به توازن انرژی و محتوای رطوبت هوای محیط بستگی دارد. پدیده میعان روی سطوح موردی است که مکرر در ساختمانهایی با پوششهای زیاد عایق شده در شرایط مرطوب محیط رخ می‌دهد. در حالت میعان بر روی دیوار، بخار نزدیک سطح دیوار ساختمان اشباع شده و بخار اضافی در این شرایط تبدیل به مایع می شود. اساساً درجه حرارت هوای داخل باید محدود به مقداری باشد که قطرات بخار آب بر روی سطوح داخلی دیوارها که سردتر از هوای داخل است ظاهر نگردد. این محدودیت باتوجه به نقطه شبنم هوای داخل باید تعیین گردد. با داشتن دما ورطوبت نسبی هوای داخل می توان نقطه شبنم هوای داخل را تعیین کرد.

در ASHRAE رابطه ای برای محاسبه نقطه شبنم بر حسب دما و فشار بخار آمده است [7]:

$$t_d = c_1 + c_2\alpha + c_3\alpha^2 + c_4\alpha^3 + c_5(P_w)^{0.1984} \quad (۹)$$

که :

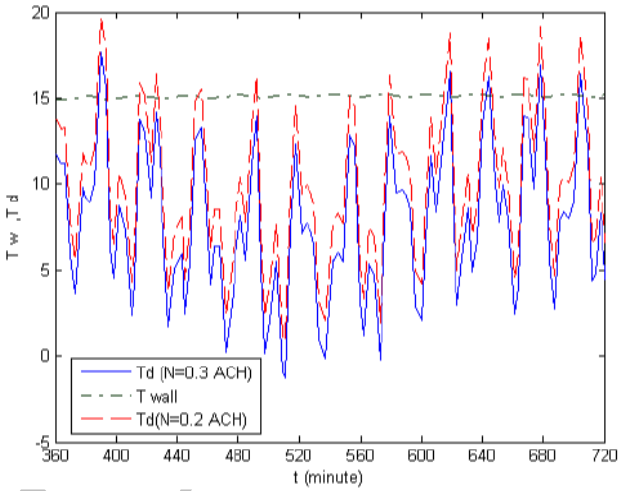
$$\alpha = \ln(P_w) \quad (۱۰)$$

و P_w فشار جزیی بخار آب بر حسب kPa و دمای نقطه شبنم بر حسب سانتیگراد است. با داشتن دمای هوای داخل و دمای لایه اول دیوار می توان دمای سطح دیوار را با دانستن مقاومت گرمایی بین آنها به دست آورد. حال با داشتن دمای سطح و دمای نقطه شبنم محیط می‌توان در هر لحظه امکان وقوع میعان را بر روی سطح دیوار بررسی کرد. با توجه به اینکه که اگر دمای سطوح دیوارهای اتاق کمتراز دمای نقطه شبنم هوای محیط داخل شود بر روی سطوح داخلی میعان رخ می دهد، با اجرای مدل ریاضی و بلوک دیاگرام مناسب به منظور بررسی وقوع میعان بر روی سطوح دیوار می توان راهکارهایی برای حل مشکلات رطوبت در اتاق وحذف تشکیل قطرات آب بر روی سطوح ارائه داد .از جمله این راهکارها افزایش نرخ تعویض هوا ست که در ادامه نشان داده می شود. یافتن کمترین مقدار تهویه طبیعی (نرخ تهویه) که محدوده رطوبت را در رنج قابل قبول قرار دهد، برای طراحی سیستمهای تهویه مطبوع بسیار مهم است.

Archive of SID

www.SID.ir

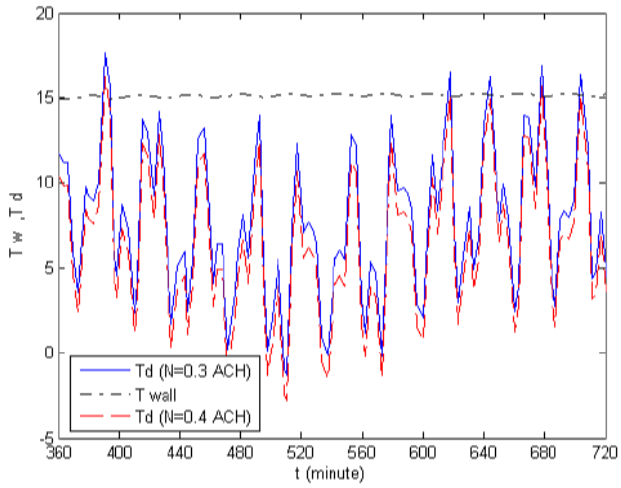
برای بررسی موضوع، نرخ تعویض هوا در حالت اولیه $N = 0.3ACH$ در نظر گرفته می شود. شرایط ورودی محیط به ترتیب T_{ext} =5^oC ، ϕ_{ext} = 80% می باشد. شکل۵ احتمال وقوع میعان را در دو حالت $N = 0.3ACH$ و $N = 0.2ACH$ نشان می دهد.



شکل۵ بررسی احتمال وقوع میعان بر روی سطوح داخلی دیوارها با تغییر نرخ تعویض هوا

در شکل۵ دمای نقطه شبنم داخل و دمای سطح دیوار در دو حالت مختلف N در یک نمودار رسم شده اند. در این حالت تعداد در زمانهای مختلفی برخورد دو منحنی مشاهده می شود که حاکی از این است که دمای سطح دیوار از دمای نقطه شبنم هوای اتاق کمتر بوده و در نتیجه میعان اتفاق خواهد افتاد. بنابر این برای رفع مشکل فوق می بایست N افزایش یابد ولی مقدار این افزایش نیز مهم است زیرا با افزایش نرخ تهویه نرخ تعویض هوا تلفات گرمایی و در نتیجه مصرف انرژی ساختمان افزایش می یابد.

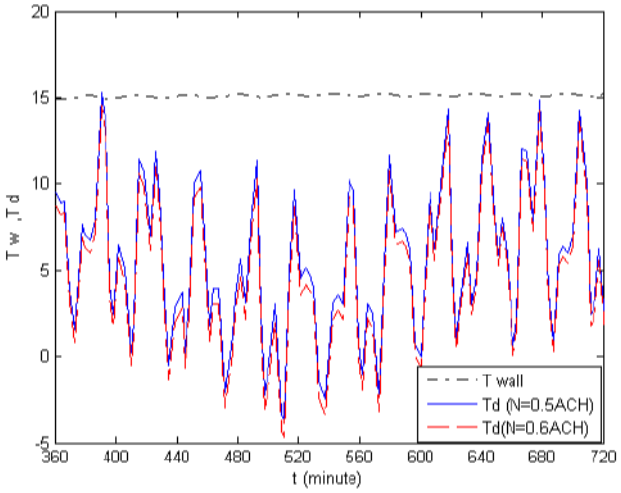
برای یافتن مقدار مناسب نرخ تهویه جهت رفع مشکل میعان بر روی جداره های ساختمان باید مقدار تهویه را تا جایی افزایش داد که دمای سطح دیوار از دمای نقطه شبنم همواره بالاتر باشد. به همین منظور در حالت بعد احتمال وقوع میعان را در $N = 0.4ACH$ در بررسی کرده و با $N = 0.3ACH$ مقایسه شده است. (به شکل۶ توجه کنید.)



شکل۶ بررسی احتمال وقوع میعان با تغییر نرخ تعویض هوا

همانطور که از شکل ۶ پیداست با $N = 0.4ACH$ نیز مشکل حل نشده و در چند لحظه زمانی خاص احتمال وقوع میعان وجود دارد. بنابراین در حالت بعدی دمای نقطه شبنم داخل و دمای سطح دیوار در دو حالت $N = 0.5ACH$ و $N = 0.6ACH$ در نمودار شکل ۷ رسم کرده و با هم مقایسه می شوند.

با توجه به شکل ۷ می توان گفت که در حالت $N = 0.5ACH$ فقط در یک لحظه زمانی احتمال وقوع میعان وجود دارد اما درحالت $N = 0.6ACH$ در هیچ زمانی میعان رخ نمی دهد. بنابراین با توجه به نمودارهای فوق می توان نتیجه گرفت که $N = 0.6ACH$ کمترین مقدار تهویه ثابت برای شرایط ورودی T_{ext} =5^oC و ϕ_{ext} = 80% است تا از میعان بر روی دیوارها جلوگیری کند.



شکل۷ بررسی احتمال وقوع میعان با تغییر نرخ تعویض هوا

نتیجه‌گیری

پیش بینی تغییرات درجه حرارت و رطوبت هوای داخل ساختمان و نیز بررسی احتمال میعان در جداره ها از نظر تامین شرایط آسایش در داخل ساختمان بسیار مهم است. در این مقاله اثر نرخ تهویه هوا

Archive of SID

www.SID.ir

بر رطوبت نسبی اتاق بررسی شده است. مدل ریاضی ارائه شده در این مقاله قادر است یک تحلیل دینامیکی از رفتار حرارتی و رطوبتی ساختمان با توجه به اعمال هر نوع شرایط متغیر بیرونی و نیز شرایط مختلف بهره برداری ساختمان ارائه نماید. راهکارهایی برای حل مشکلات رطوبت بوسیله تهویه پیشنهاد شده است. این مدل توانایی یافتن نرخ تعویض هوای بهینه جهت رفع مشکل میعان بر روی جداره های ساختمان را دارد. مدل در مقایسه با مدلهای ارائه شده توسط دیگران از نظر ریاضی ساده و از نظر محاسباتی کارآمد است. از نتایج بدست آمده از این مدل می‌توان به منظور ارائه پیشنهادهایی در خصوص چگونگی کارکرد سیستمهای گرمایش و سیستمهای کنترل دما و رطوبت با هدف تامین همزمان شرایط آسایش و نیز مصرف انرژی حداقل استفاده نمود.

فهرست علائم

گرمای ویژه،	$j/kg.k$	C
دمای نقطه شبنم ،	c^o	t_d
زمان،	s	t
ضریب انتقال حرارت جابجایی،	$w/m^2.k$	h
ضریب رسانایی گرما ،	$w/m.k$	k
ضخامت لایه،	m	L
دفعات تعویض هوا در ساعت،	h^{-1}	N
فشارجزیی بخار آب ،	pa	P_w
درجه حرارت،	k	T
ضریب کلی انتقال حرارت،	w/k	U
نفوذ پذیری بخار،	$kg/s.m^2.pa$	U_{vap}
حجم اتاق ،	m^3	**V**
مقاومت بخار ،	(m^2spa/kg)	Z

علائم یونانی

دانسیته ،	kg/m^3	ρ
محتوای رطوبت هوای داخل،	kg_{vapour}/kg_{dryair}	ω
گرمای نهان تبخیر آب،	j/kg	λ
رطوبت نسبی و٪		ϕ

مراجع

[1]- Athienitis A.K., Stylianou M. and Shou J., " A Methodology for Building Thermal Dynamics Studies and Control Applications", ASHRAE Transactions - SL-90-14-4., 1990.

[2]- Mendes N., Ridley I., Lamberts R., Philppi P.C. and Budag K., 1999, UMIDUS: " A PC Program for the Prediction of Heat and Moisture Transfer in Porous Building Elements", Building Simulation Conference" IBPSA 99, p. 277-283,Kyoto, Japan.

[3]- Hudson G. and Underwood C.P., " A Simple building modelling procedure for MATLAB/Simulink" ,Proceedings of the 6th International Conference on Building Performance Simulation (IBPSA99),Kyoto-japan,pp.777-783,sep 1999.

[4]- Hudson G. and Underwood C.P.,Pre-design analysis of energy conservation options for a multi-story demonstration office building,National Bureau of standards,Washington,2004.

[5]-Mendes N ,Gerson H.dos Santons , "Dynamic analysis of building hygrothermal behavior "proceeding of the IBPSA building simulation ,Rio de janiro ,Brazil ,2001.

[6]-Holm A,and HartWig A "The hygrothermal behaviour of rooms:combining thermal building simulation and hygrothermal envelope calulation''Eight international IBPSA conference ,Netherlands, 2003

[7]-ASHRAE -,American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning", Engineering Handbook, Fundamentals,2001.

[8]-ASHRAE,"American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning", Engineering Handbook HVAC, systems and equipment ",2000.

Archive of SID

www.SID.ir