7th National Energy Congress هفتمین همایش ملی انرژی ۱ و ۲ دی ماه ۱۳۸۸ December 22, 23 - 2009

B02186

عملکرد حرارتی‌رطوبتی جدارهای ساختمانی در اقلیم گرم و مرطوب

مهدیه آب‌روش- بهروز محمد کاری

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن- بخش طراحی محیط و انرژی

m_abravesh@yahoo.com – kari@bhrc.ac.ir

واژه‌های کلیدی: اقلیم گرم و مرطوب- پوسته ساختمان- رطوبت- عملکرد حرارتی و رطوبتی- مصرف انرژی

چکیده

رطوبت در اجزای ساختمانی تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر تبادل حرارت در ساختمان دارد. یکی از مهم‌ترین این موارد، تأثیر رطوبت در کاهش مقاومت حرارتی جدارهای ساختمانی می‌باشد. مضافاً به این‌که، نفوذ رطوبت در جدارهای ساختمان می‌تواند موجب تخریب مصالح و بروز مشکلات جدی عملکردی و حرارتی در ساختمان گردد. بنابراین، کنترل رطوبت در ساختمان تأثیر بسزایی بر روی مصرف انرژی ساختمان، هزینه اولیه و نگهداری آن خواهد داشت و یکی از ملاحظات مهم در طراحی ساختمان‌ها محسوب می‌شود. مکانیسم‌های پیچیده انتقال رطوبت در داخل پوسته ساختمان بیشتر تحت‌تأثیر شرایط اقلیمی قرار دارند. در اقلیم‌های گرم و مرطوب، مکانیسم‌های انتقال رطوبت نسبت به سایر اقلیم‌ها پیچیده‌تر می‌باشد. این امر، به دلیل رطوبت بسیار بالای هوای خارج، هم‌زمان با آن، منابع ایجاد رطوبت در داخل ساختمان است. در اقلیم‌های گرم و مرطوب، بارهای حرارتی-رطوبتی داخلی و خارجی که پوسته ساختمان باید در برابر آن‌ها مقاومت نماید نسبت به سایر اقلیم‌ها بیشتر است. بنابراین، پژوهش در این زمینه در مناطق گرم و مرطوب امری ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس این ضرورت و با هدف جلوگیری از ایجاد مشکلات رطوبتی و کاهش مصرف انرژی، در این مقاله، پس از بررسی عوامل ایجاد رطوبت و مشکلات ناشی از آن، به معرفی روشی علمی و دقیق برای بررسی عملکرد حرارتی-رطوبتی جدراها با هدف حل مشکلات رطوبتی در اقلیم گرم و مرطوب پرداخته شده است.

مقدمه

رطوبت، عامل بالقوه‌ای در ساختمان است که می‌تواند سلامتی و آسایش ساکنین آن را به مخاطره اندازد و به زیبایی و عملکرد جدارهای ساختمان لطمه وارد کند.

از سال ۱۹۷٤ میلادی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی به عنوان انتظاری مهم و اساسی از ساختمان‌ها مطرح شده است. برخی اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی، نظیر کاهش نفوذ هوا و محدود کردن میزان تهویه فضای داخل، بدون توجه به عملکرد کلی ساختمان، می‌تواند باعث ایجاد مشکلات رطوبتی گردد. بنابراین، ممیزین انرژی، در کنار انجام اقدامات بهینه‌سازی، ملزم به حل مشکلات رطوبتی در ساختمان‌ها نیز می‌باشند. مسلماً، اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی در

ساختمان‌های موجود یا جدید نباید باعث ایجاد مشکلات ناشی از رطوبت گردد.

رطوبت کنترل‌نشده باعث خرابی سازه نظیر تغییر ابعاد و پوسیدگی مصالحی نظیر چوب، نرم شدن اندودهای گچی و آهکی و خوردگی فلزات می‌گردد. همچنین، این پدیده تأثیر مستقیم بر روی سلامت ساکنین دارد، زیرا، محیطی مناسب برای تولید و رشد موجودات زنده زیان‌آور فراهم می‌کند. در نتیجه، عمر مفید ساختمان به دلیل خرابی‌های زودهنگام اجزای مختلف آن کاهش می‌یابد. به طور کلی، می‌توان گفت رطوبت کنترل‌نشده تأثیر منفی روی ویژگی‌های مهم و حیاتی ساختمان دارد.

از طرفی، بالا بودن میزان رطوبت در اجزای ساختمانی تأثیرات قابل ملاحظه‌ای بر افزایش تبادل حرارت در ساختمان دارد، خصوصاً اگر با تغییر فاز نیز همراه باشد. بنابراین، کنترل رطوبت در جدارهای ساختمان تأثیر بسزایی بر روی مصرف انرژی ساختمان، هزینه اولیه و نگهداری آن خواهد داشت و یکی از ملاحظات مهم در طراحی ساختمان‌ها محسوب می‌شود. لذا، در کنار انجام اقدامات بهینه‌سازی، لازم است توجه خاصی به مشکلات رطوبتی معطوف شود.

تأثیرات مخرب رطوبت و طبقه‌بندی مشکلات ناشی از آن

مشکلات ناشی از رطوبت سبب کاهش عملکرد یا تخریب مصالح ساختمانی می‌شود. به طور کلی، این پدیده سبب ایجاد مشکلات عملکردی یا تخریب مصالح ساختمانی می‌شود. این مشکلات هنگامی افزایش می‌یابد که انتقال رطوبت در لایه‌های جدار در فاز مایع آغاز شود. از طرفی، میزان رطوبت موجود در هوای داخل ساختمان تأثیر قابل‌توجهی بر روی آسایش ساکنین ساختمان و خصوصیات مصالح گوناگون می‌گذارد. بنابراین، کنترل فرآیند انتقال رطوبت از طریق جدارهای ساختمان یکی از ملاحظات مهم در طراحی ساختمان‌ها محسوب می‌شود. در این مطالعه، به بررسی حادترین مشکلات رطوبتی مربوط به ساختمان‌های درگیر با میعانات پنهان مجموعه‌های ساختمانی در اقلیم گرم و مرطوب پرداخته می‌شود.

مشکلات رطوبتی گوناگون می‌باشند. برخی از آن‌ها سطحی هستند و سبب ایجاد خرابی‌های قابل رویت در مصالح می‌شوند، در حالی‌که، برخی دیگر، عمقی هستند و شرایط نامساعدی را در داخل فضا ایجاد می‌کنند و نشان‌دهنده خساراتی هستند که به‌سهولت قابل رویت نمی‌باشند. به طور کلی، این دلایل در هفت دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

- خمش و کمانش
- افت مشخصات مکانیکی مصالح
- افزایش رطوبت نسبی
- بوهای نامطبوع
- ایجاد لکه
- زنگ‌زدگی
- رشد میکروارگانیسم‌های مخرب

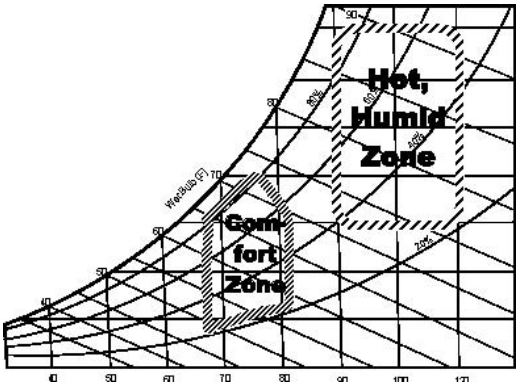
فرآیند انتقال رطوبت در اقلیم گرم و مرطوب

انتقال رطوبت در ساختمان‌ها، پدیده‌ای ناپایدار و پیچیده است. در نتیجه، غالباً، یک اقدام منفرد برای جلوگیری از مشکلات رطوبتی کافی نمی‌باشد. هنگامی‌که رطوبت روی سطوح یا در داخل مصالح و اجزای ساختمانی انباشته می‌شود، عوامل زیادی باعث این عدم تعادل رطوبت می‌گردند و در نتیجه، یافتن راه‌حل‌های قطعی برای پیش‌گیری، مشکل می‌باشد.

فرآیندهای پیچیده انتقال رطوبت در داخل پوسته ساختمان بیشتر تحت‌تأثیر شرایط اقلیمی قرار دارند. منابع رطوبت در داخل ساختمان شامل گرمایش، پخت و پز، شستشو، استحمام و ... می‌باشد. در اقلیم‌های سردتر، معمولاً انتقال رطوبت از این منابع در فضاهای داخل به فضای سردتر و خشک‌تر خارج است. بارندگی نیز نقش مهمی را در انتقال رطوبت از خارج به داخل فضا ایفا می‌کند. بنابراین، چاره‌سازی به منظور کاهش خسارات ناشی از رطوبت در ساختمان‌های مسکونی به طور وسیع بر روی جلوگیری از ورود رطوبت به داخل مصالح ساختمانی به کار رفته در پوسته متمرکز شده است.

در اقلیم‌های گرم و مرطوب، مکانیسم‌های انتقال رطوبت نسبت به سایر اقلیم‌ها پیچیده‌تر است. این امر به دلیل رطوبت بسیار بالای هوای خارج و همزمان با آن، منابع ایجاد رطوبت در داخل ساختمان است. در اقلیم‌های گرم و مرطوب، بارهای حرارتی- رطوبتی داخلی و خارجی که پوسته ساختمان باید در برابر آن‌ها مقاومت نماید نسبت به سایر اقلیم‌ها بیشتر می‌باشد. همچنین، به دلیل دماهای شبنم بالا در این اقلیم، مسیرهای انتقال رطوبت به جریان هوای مرطوب خارج و شرایطی که در ایجاد میعان دخیل هستند، وابسته می‌باشند. مسیرهای انتقال رطوبت، از طریق جریان هوا از درون شکاف‌ها و درزهای موجود در پوسته ساختمان و از طرفی، از طریق انتشار رطوبت از درون خلل و فرج مصالح ساختمانی رخ می‌دهد [۱]. عوامل محرک انتقال رطوبت، اختلاف فشار کل و فشار جزئی بخار آب بین هوای فضای کنترل‌شده داخل و هوای مرطوب خارج است. رطوبت نسبی، مقیاسی برای حجم رطوبت موجود در هوا به عنوان تابعی از حداکثر ظرفیت رطوبتی آن است. با افزایش دمای هوا، ظرفیت آن بیشتر می‌شود. برعکس، هنگامی‌که دمای هوای مرطوب و گرم کاهش یابد، رطوبت نسبی آن افزایش می‌یابد. زمانی‌که رطوبت نسبی به ۱۰۰ درصد برسد، روی سطوحی که دمای آن‌ها کمتر از دمای نقطه شبنم هوا است، میعان رخ می‌دهد. این پدیده، هنگام عبور هوای گرم و مرطوب از درون پوسته ساختمان اتفاق می‌افتد. اگرچه، اکثر مصالح ساختمانی ظرفیتی برای جذب و ذخیره رطوبت دارند، اما، با گذشت زمان این مصالح از ظرفیت رطوبتی خود تجاوز می‌کنند و دچار مشکلات رطوبتی می‌گردند. به طور طبیعی، مصالح ساختمانی، دارای ظرفیت رطوبتی متعادل با محیط اطراف خود هستند، برای مثال، هوا با رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد، با چوب، با ۳۰ درصد رطوبت، در تعادل است [۲] . اما، به دلیل تغییرات مداوم در شرایط محیطی ناشی از چرخه‌های فصلی و روزانه، این شرایط تعادل به ندرت در دوره‌های زمان‌های طولانی حفظ می‌شود و رطوبت دائماً از مصالحی به مصالح دیگر انتقال می‌یابد.

پیچیدگی‌های انتقال رطوبت در اقلیم‌های گرم و مرطوب به این موضوع اشاره دارد که راه‌حل‌های پیش‌گیری از مشکلات رطوبتی در اقلیم‌های سرد نمی‌تواند در این شرایط آب و هوایی به کار گرفته شود. در شکل ۱، نمودار سایکرومتریک، شرایط معمول در اقلیم‌های گرم و مرطوب را در مقایسه با محدوده آسایش در دوره گرما نشان می‌دهد. این نمودار، خصوصیات ترمودینامیکی هوای مرطوب را به صورت گرافیکی نمایش می‌دهد و تمامی ترکیبات دما، میزان رطوبت، چگالی و انرژی هوا را در یک زمان خاص نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار سایکرومتریک، نشان‌دهنده محدوده آسایش و اقلیم گرم و مرطوب [۳]

عوامل تعیین‌کننده در ایجاد میعان در اقلیم گرم و مرطوب

عوامل زیادی در ایجاد پدیده میعان در اقلیم گرم و مرطوب دخیل هستند. آن‌چه که در این بخش مورد توجه قرار می‌گیرد، عوامل مشکل‌ساز در برقراری عدم تعادل رطوبت در منازل مسکونی و شناخته‌شده توسط متخصصین ساختمانی است. در ادامه، به بررسی این عوامل پرداخته می‌شود:

عدم توازن فشار: عدم توازن در توزیع هوای تهویه‌شده و نشت کانال‌ها به خارج، عوامل مشکل‌زا فرض می‌شوند که به توازن فشار کلی پوسته ساختمان وابسته است. اختلاف فشار بین فضای داخل و خارج تأثیر قابل‌توجهی روی مشکلات رطوبتی در ساختمان‌های مسکونی می‌گذارد.

فشارهای داخلی، اصولاً تحت‌تأثیر پیامدهای توزیع هوا نظیر، توازن در لوله‌های تأمین‌کننده هوا، طراحی سیستم بازگشت هوا، طراحی سیستم تهویه و نشت کانال‌ها قرار دارند. به طور

کلی، در ساختمان‌هایی که دارای عدم توازن فشار هستند، خرابی‌های ناشی از رطوبت به صورت جدی‌تری مطرح می‌شود.

بخاربندها و هوابندهای ناپیوسته: محل بخاربند و هوابند، پل‌های حرارتی، نوع تهویه هوای داخل و بسیاری عوامل دیگر در روند انتقال رطوبت در ساختمان‌ها دخیل هستند. در اقلیم گرم و مرطوب، در صورتی که از بخاربند در کف یا سایر اجزای ساختمانی به شیوه مناسب استفاده شود، می‌تواند به صورت چشمگیری مانع از ایجاد مشکلات رطوبتی گردد.

موارد مربوط به آسایش ساکنین: اختلاف دما، عامل بسیار مهمی برای ایجاد میعان به شمار می‌رود. در مناطق گرم و مرطوب، کاهش بی‌رویه دمای فضاهای داخل ساختمان می‌تواند سبب ایجاد مشکلات رطوبتی گردد.

جدول ۱: عوامل تعیین‌کننده در ایجاد میعان

عوامل تعیین‌کننده در ایجاد میعان	توضیحات
عدم توازن فشار	
عدم توازن در توزیع هوای تهویه‌شده	اختلاف فشار بین فضای داخل خارج یا در داخل ساختمان به دلیل عملکرد سیستم تهویه
نشت کانال‌های هوا به خارج	نشت کانال‌های هوا که باعث رانده شدن هوا به فضای خارج و در نتیجه آن ورود هوای ناخواسته از راه درزها به داخل می‌گردد.
بالا بودن میزان نشت هوا از پوسته ساختمان	نشت هوا به داخل یا خارج ساختمان از درون شکاف‌ها و درزهای موجود در پوسته
بخاربندها و هوابندهای ناپیوسته	
عدم یکپارچگی بخاربند کف	ناپیوسته بودن بخاربند یا وجود سوراخ و حفره در زمین پوشیده‌شده زیر ساختمان
خرابی‌های کف	پدید آمدن سوراخ یا هرگونه پارگی در پوشش انعطاف‌پذیر کف
عدم قرارگیری لایه بخاربند در محل مناسب	قرارگیری بخاربند در طرف داخلی دیوارهای خارجی
عدم توجه به هوابندی پوسته ساختمان	عدم قرارگیری هوابند در طرف خارجی جدار جهت جلوگیری از ورود هوای گرم و مرطوب خارج به داخل فضا
نوع تهویه اتاق زیرشیروانی	تهویه اتاق زیرشیروانی از طریق باز کردن بازشوها یا سیستم‌های مکانیکی
موارد مربوط به آسایش ساکنین	
تنظیم ترموستات روی دماهای پایین	کاهش دمای هوای داخل
ایجاد نقاط سرد	سطوح داخلی ساختمان که دمای آن‌ها پایین‌تر از دمای هوای داخل است
تجهیزات با توانی بالاتر از توان حداکثر موردنیاز	تجهیزات سرمایشی با توانی بیشتر از حد موردنیاز و ایجاد توقف‌های طولانی در سیستم سرمایی

مدلی برای پیش بینی انتقال حرارت و رطوبت به طور همزمان در پوسته ساختمان‌ها

به منظور ارزیابی رفتار رطوبت در اجزای ساختمانی، تقاضای رو به افزایشی برای کاربرد روش‌های گوناگون محاسبه وجود دارد. به عنوان مثال، در آمریکای شمالی، هزینه برآوردشده برای مصرف انرژی بیش از حد ناشی از حضور رطوبت به تنهایی، تقریباً سالانه یک بیلیون دلار است. اقدامات متداول، نظیر حفاظت از بناهای تاریخی یا تعمیر و عایق‌کاری ساختمان‌های موجود به شدت به دامنه تغییرات رطوبت در سازه ساختمان وابسته است. امروزه، تحلیل‌های عددی، به دلیل زمان‌بر بودن تحقیقات تجربی و محدودیت‌های انطباق آن با شرایط واقعی طرح، به طور فزاینده‌ای مهم تلقی می‌شوند. به همین منظور، آزمایشگاه بین‌المللی اُک‌ریج[۱] (مرکز تکنولوژی ساختمان[۲]) و مؤسسه فرانهوفر در زمینه فیزیک ساختمان[۳] در یک همکاری بین‌المللی، مشترکاً، مدلی برای برآورد فنی مشکلات رطوبت که انتقال ناپایدار حرارت و رطوبت را پیش‌بینی می‌کند، ایجاد کرده‌اند [۴].

در این مقاله، به منظور پیش‌بینی انتقال حرارت و رطوبت به طور همزمان، از مدل ووفی[۴] استفاده گردیده است که اثر همزمان عناصر اقلیمی متغیر مانند تابش آفتاب، دمای هوا، بارش باران، رطوبت هوا و ... در آن محاسبه شده است. زیرا، در واقعیت، شرایط جوی و وضعیت فضاهای داخلی در طول زمان متغیر و ناپایدار می‌باشند.

نرم‌افزار ووفی یک برنامه رایانه‌ای برای تحلیل مشخصات حرارتی- رطوبتی پوسته ساختمان در شرایط ناپایدار است. شبیه‌سازی با این نرم‌افزار، امکان دستیابی به تحلیل‌ها در شرایط ناپایدار، با در نظر گرفتن عوامل جوی را فراهم می‌نماید و می‌تواند برای برآورد توزیع حرارت و رطوبت

---

۱ Oak Ridge National Laboratory

۲ Building Technology Center

۳ Fraunhofer Institute for Building Physics

۴ WUFI

برای انواع متنوع مصالح ساختمانی و شرایط گوناگون آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرد.

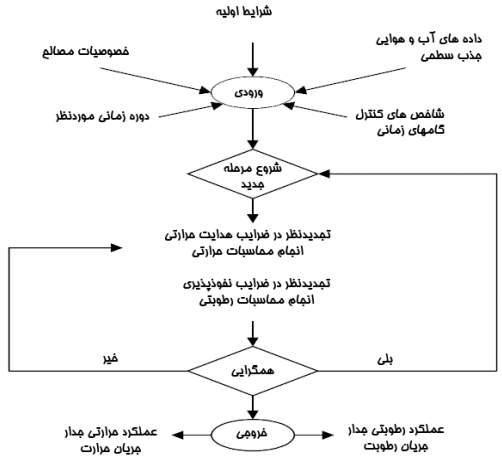
از آن‌جایی‌که تحلیل عملکرد حرارتی- رطوبتی پوسته ساختمان در شرایط ناپایدار نیازمند انجام محاسبات بسیار پیچیده می‌باشد، این برآورد تنها با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای ممکن می‌شود. در نرم‌افزاری که به این منظور مورد استفاده قرار گرفته است، داده‌های آب و هوایی سالانه ساعت به ساعت محل استقرار ساختمان به عنوان ورودی دریافت می‌شود و عملکرد اجزای مختلف ساختمان در طول زمان و نسبت به شرایط متغیر کلیه عناصر اقلیمی شبیه‌سازی می‌گردد. صحت نتایج مربوط به این نرم‌افزار توسط مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی تولیدکننده آن اعلام گردیده است و امروزه این نرم‌افزار به عنوان یک مرجع معتبر در زمینه تحقیقات و طراحی جدارهای نوین ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل از سال ۱۹۹٤ یک مدل حرارتی-رطوبتی مبنا به شمار می‌رود[٤].

به کمک این نرم‌افزار می‌توان به برآورد زمان‌های خشک شدن سازه‌های سبک و سنگین با رطوبت‌های نهان یا به دام افتاده، بررسی خطر میعان عمقی یا مطالعه تأثیر کج‌باران‌ها روی اجزای خارجی پوسته ساختمان پرداخت. همچنین، می‌توان با توجه به واکنش‌های اجزای ساختمانی نسبت به اقلیم‌های گوناگون، راه‌حل‌هایی برای بهبود آن‌ها پیدا کرد. این کار امکان مقایسه و اولویت‌بندی طراحی‌های گوناکون را بر اساس مناسب‌ترین عملکرد حرارتی- رطوبتی را فراهم می‌سازد [٤].

روند محاسباتی مدل ارائه‌شده

روند محاسباتی نرم‌افزار ووفی در شکل ۲ به صورت شماتیک نشان داده شده است. داده‌های ورودی ضروری این نرم‌افزار شامل لایه‌های مختلف جدار ساختمانی موردنظر، جهت‌گیری ساختمان، شرایط اولیه دما و رطوبت و همچنین دوره زمانی مدنظر است. مصالح و شرایط آب و هوایی را می‌توان از پایگاه داده‌های موجود که ضمیمه این نرم‌افزار است یا از دیگر منابع موجود انتخاب نمود [٤]. با معین نمودن مقادیر پیش‌فرض برای دما و توزیع میزان رطوبت اولیه در لایه‌های مختلف جدار موردنظر، معادلات تبادل حرارت و رطوبت و بقای انرژی و رطوبت باید برای تمامی مراحل زمانی دوره تعیین‌شده محاسبات حل شود. هر دوی این معادلات دربردارنده جملات مربوط به ذخیره‌سازی رطوبت در طرف چپ و جملات مربوط به انتقال رطوبت در طرف راست معادله هستند.

در معادلات مربوط به انتقال رطوبت لازم است منحنی‌های جذب و دفع رطوبت و انتشار رطوبت تحت گرادیان دما و رطوبت برحسب دما و رطوبت نسبی به عنوان ورودی به نرم‌افزار وارد گردد. آنتالپی رطوبت و بدنه صلب برای تعیین ذخیره‌سازی در معادله بقای انرژی تعیین‌کننده هستند. جریان حرارت شامل انتقال[۱] حرارتی و گرمای نهان ناشی از میعان و تبخیر رطوبت است. حل معادلات انتقال ممزوج[۲] به روش حجم محدود[۳] انجام می‌شود [٤]. نتیجه حاصل از آن، شامل توزیع دما و رطوبت محاسبه‌شده و شار جریان حرارت و رطوبت برای هر گام زمانی است. نتایج می‌توانند به عنوان نمودارهای دما و رطوبت در سرتاسر مقطع جدار ساختمانی یا به عنوان نمودارهایی از تغییر آنی متغیرها در طول زمان نمایش داده شوند.



شکل ۲: دیاگرام روند محاسباتی مدل

[۱] Tranmittance

[۲] Coupled transfer equations

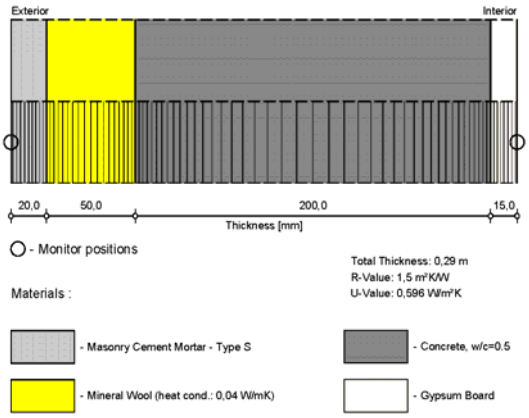
[۳] Finite volume

در هر گام زمانی، معادلات انتقال حرارت و رطوبت به صورت متناوب و با تغییرات لحظه‌ای مداوم ضرایب انتقال و ضرایب ذخیره‌سازی حل می‌شوند تا معیارهای موردنظر حاصل گردند. در داده‌های خروجی، این دماها و رطوبت‌های محاسبه‌شده علاوه بر سرعت‌های جریان‌های حرارت و رطوبت در سطح لایه‌های جدار ساختمانی جای می‌گیرند.

بررسی عملکرد رطوبتی یک نمونه موردی با مدل ارائه‌شده

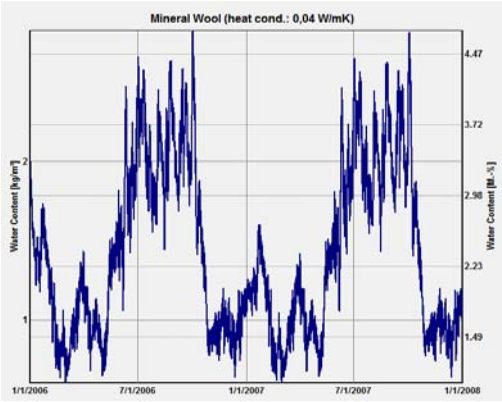
در این نمونه موردی، که لایه‌های تشکیل‌دهنده آن مطابق شکل ۳ می‌باشد، تأثیر کاربرد لایه بخاربند بر روی عملکرد رطوبتی عایق حرارتی در اقلیم گرم و مرطوب نشان داده شده است. این موضوع در شرایط گوناگون زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

- بدون لایه بخاربند؛
- با یک لایه بخاربند در طرف خارج عایق حرارتی؛
- با دو لایه بخاربند در دو طرف عایق حرارتی.

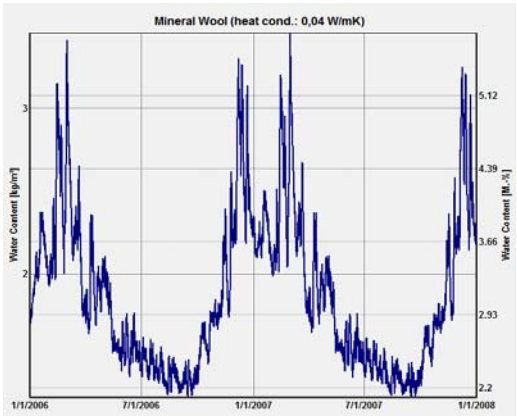


شکل ۳: لایه‌های تشکیل‌دهنده جدار موردنظر

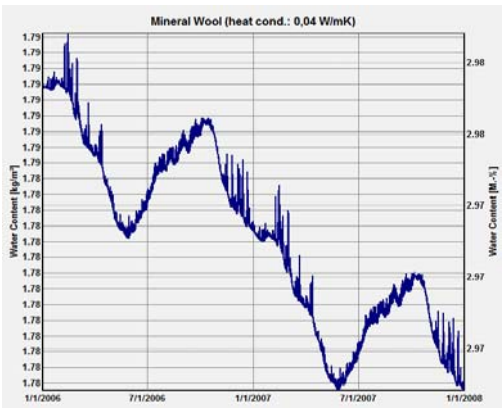
این شبیه‌سازی‌ها برای دو سال متوالی به صورت ساعت به ساعت انجام شده است و در شکل ٤ تا شکل ٦ مشاهده می‌گردد. در این محاسبات، دمای فضای داخل بین ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی داخل بین ٤٠ تا ٦٠ درصد می‌باشد. این مقادیر در طول زمان شبیه‌سازی بسته به شرایط خارج متغیر می‌باشند. برای شرایط خارج نیز تمامی عوامل اقلیمی و تغییرات ناشی از آن در طول زمان شامل دما، رطوبت نسبی، بارندگی، تابش آفتاب و وزش باد در نظر گرفته شده است.



شکل ٤: تغییرات میزان رطوبت در لایه عایق حرارتی (پشم معدنی) بدون لایه بخاربند



شکل ٥: تغییرات میزان رطوبت در لایه عایق حرارتی (پشم معدنی) با یک لایه بخاربند در طرف خارج عایق حرارتی



شکل ٦: تغییرات میزان رطوبت در لایه عایق حرارتی(پشم معدنی) با دو لایه بخاربند

نتایج شبیه‌سازی‌ها در این اقلیم نشان می‌دهد که در صورت کاربرد یک لایه بخاربند در طرف خارج عایق حرارتی، عملکرد رطوبتی عایق نامناسب‌تر می‌گردد و میزان رطوبت آن نسبت به حالتی که از لایه بخاربند استفاده نشده است، افزایش می‌یابد. این میزان مطابق شکل ۵ برابر با ۳/۵ کیلوگرم بر مترمکعب است و در صورت عدم استفاده از لایه بخاربند، حداکثر میزان رطوبت عایق حرارتی به ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش می‌یابد. البته لازم به توضیح است که افزایش میزان رطوبت در لایه عایق حرارتی با یک لایه بخاربند تنها مربوط به دوره سرد سال است و در بقیه اوقات سال میزان رطوبت این لایه در مقایسه با حالت اول کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که در دوره سرد، میزان رطوبت نسبی و فشار جزئی بخارآب فضای داخل نسبت به فضای خارج بیشتر می‌باشد و انتقال رطوبت در جهت عکس دوره گرم می‌باشد. لذا، پیش‌بینی دو لایه بخاربند در این اقلیم در دو طرف عایق حرارتی (از جنس پشم معدنی) لازم می‌باشد. همان‌طور که در شکل ٦ مشاهده می‌گردد، با کاربرد دو لایه بخاربند در دو طرف عایق حرارتی، میزان متوسط رطوبت در لایه عایق کاهش می‌یابد و مقدار آن به ۱/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌رسد. طبق نمودار مذکور ملاحظه می‌گردد که میزان رطوبت در طول زمان روند کاهشی طی می‌کند. تأثیر بررسی‌های انجام‌شده در زمینه عملکرد رطوبتی و کاهش انتقال حرارت از جدار مذکور نشان می‌دهد در صورت کاربرد نامناسب لایه بخاربند و به تبع آن افزایش میزان رطوبت در لایه عایق حرارتی در طول زمان، میزان ضریب انتقال حرارت کل جدار حدود ۵ درصد افزایش می‌یابد. این میزان در شرایط اقلیمی حادتر، می‌تواند بسیار بیشتر از این مقدار نیز باشد، و سبب کاهش مقاومت حرارتی اجزای ساختمان و در نتیجه افزایش مصرف انرژی گردد. لازم به توضیح است در این تحقیق، اقلیم در نظر گرفته‌شده به گونه‌ای است که حداکثر دما حدود ٤٠ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

انباشتگی رطوبت هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان رطوبت ورودی به داخل یک مجموعه، فراتر از میزان رطوبت خارج‌شده از آن باشد. به طور کلی، مشکلات رطوبتی سبب ایجاد مشکلات عملکردی یا تخریب مصالح ساختمانی می‌شود. این مشکلات هنگامی رخ می‌دهند که انتقال رطوبت در لایه‌های جدار در فاز مایع آغاز شود. از طرفی، میزان رطوبت موجود در هوای داخل ساختمان تأثیر قابل‌توجهی بر روی آسایش ساکنین ساختمان و خصوصیات مصالح گوناگون می‌گذارد. بنابراین، کنترل فرآیند انتقال رطوبت یکی از ملاحظات مهم در طراحی ساختمان‌ها محسوب می‌شود.

تدابیر گوناگونی برای به حداقل رساندن خطرات ناشی از رطوبت وجود دارد. این تدابیر به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- کنترل رطوبت ورودی؛
- کنترل رطوبت ذخیره‌شده؛
- خارج کردن رطوبت.

در صورتی که این راه‌کارها تواماً به کار گرفته شوند، بسیار مؤثرتر خواهند بود. در حالتی که اجزای ساختمان در حالت خیس باشند، راه‌کارهای مؤثر برای کنترل رطوبت ورودی به جدار زیان‌بخش است. در این حالت، روش‌های جلوگیری از ورود رطوبت می‌تواند مانع از خروج آن نیز بگردد. مهمترین مکانیسم‌هایی که باعث مرطوب شدن لایه‌های جدارهای ساختمانی می‌گردند، آب مصرفی در زمان ساخت، جذب رطوبت در اثر پدیده مویینگی و همچنین رطوبت ناشی از بارندگی می‌باشند.

تمامی نقل و انتقالات رطوبت و بنابراین مشکلات مربوط به آن در ساختمان نتیجه یکی از این مکانیسم‌ها یا ترکیب چند مکانیسم می‌باشد.

به‌طور کلی، شیوه‌های مؤثر کنترل رطوبت در ساختمان‌ها، بر پایه راه‌کارهای زیر قرار دارد:

- جلوگیری از مرطوب‌شدن سطوح خارجی جدار؛
- جلوگیری از مرطوب‌شدن سطوح داخلی جدار؛
- ایجاد امکان خشک‌شدن لایه‌های مرطوب جدارهای ساختمانی از طریق فضای داخل یا خارج.

در تمامی اقلیم‌ها، اجزای ساختمانی به طریق مشابه به وسیله جریان رطوبت و جذب آب از طریق مویینگی مرطوب می‌شوند. بنابراین، روش‌های کنترل حرکت آب و جذب آب از طریق مویینگی در تمامی اقلیم‌ها مشابه است، اما مرطوب شدن اجزای ساختمانی از طریق انتقال هوا و انتشار بخار با توجه به نوع اقلیم و در اوقات مختلف سال، دارای روش‌های متفاوتی است. در نتیجه، شیوه‌های کنترل جریان رطوبت برای هر اقلیم متفاوت می‌باشد.

دوطرفه بودن جریان رطوبت، با توجه به قابلیت آن‌ها برای حرکت رطوبت هم از داخل و هم از خارج ساختمان از داخل پوسته، هم به شرایط داخلی و هم به شرایط آب‌وهوایی محل بستگی دارد که اغلب توسط سازندگان و طراحان نادیده گرفته می‌شود.

همان‌طور که در نمونه مورد بررسی مشاهده گردید، بالا رفتن میزان رطوبت در لایه‌های جدار، علاوه بر ایجاد مشکلات رطوبتی و کاهش عمر مفید عایق حرارتی، باعث افزایش ضریب انتقال حرارت و کاهش مقاومت حرارتی کل جدار نیز می‌گردد. این موضوع باعث افزایش مصرف انرژی، هزینه اولیه و نگهداری ساختمان می‌گردد.

پیش‌بینی و رفع خطر میعان در لایه‌های جدار، نه تنها در جهت تضمین عملکرد مطلوب اجزای ساختمان‌ها حائز اهمیت است، بلکه به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده در تأمین شرایط حداقل بهداشت ساکنان نیز تلقی می‌گردد.

مراجع

[1] Cammalleri, V., Lyon, E., (2003), "Condensation in the Building Envelope: Expectations and Realities". SSPC 2003: The Industrial Protective Coatings Conference and Exhibit, Ernest N. Morial Convention Center, New Orleans, LA, 26 – 29 October 2003, p 210 – 219.

[2] Trechsel, H.R. (1994), "Moisture Control in Buildings", Philadelphia, American society for Testing and Materials (ASTM).

[3] "Alternatives for Minimizing Moisture Problems in Homes Located in Hot, Humid Climates" (2003), U.S. Department of Housing and Urban Development, Washington DC.

[4] Karagiozis, A., Kunzel, H. and Holm, A., (2001), "WUFI-ORNLB/IBP Hygrothermal Model", Proceedings of Eight Conference on Building Science and Technology, Solutions to Moisture Problems in Building Enclosures, Feb. 22-23, Torento, PP.158-183.

[5] Trechsel H.R. (2001), "Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes", Philadelphia, ASTM Manual.

[6] TenWolde, A. (2008), "Criteria for Moisture Control Design Analysis in Buildings" ASHRAE Standard, Vol. 114, Part 1, pp 167-169.