



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۴۷ تا ۵۷
Vol. 47, No. 1, Summer 2015, pp. 47-57



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی مکانیک)
Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)
(AJSR - ME)

پیش بینی جریان هوا، توزیع دما و توزیع رطوبت در یک ساختمان با استفاده از روش ناحیه ای هوا

محمد رضا قدرتی^۱، عزیز عظیمی^{۲*}، مهدی معرفت^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۳- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت ۱۳۹۱/۰۸/۲۷، پذیرش ۱۳۹۴/۴/۲۸)

چکیده

طراحی سیستم های تهویه مطبوع برای بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ها به روشهای سریع و دقیقی نیاز دارد که بتوانند جزئیات هوا در داخل ساختمان را پیش بینی کنند. در این مقاله نشان می دهیم که روش ناحیه ای هوا می تواند کیفیت هوا در محیط های داخلی را با سرعت و دقت مناسب بصورت منطقه ای محاسبه کند. مدل ناحیه ای هوا براساس بالانس جرم و انرژی در حجم های ماکروسکوپی توصیف می شود. این مدل از معادلات بالانس، معادله حالت، معادله افت فشار هیدرواستاتیک و معادله نیرو (که از معادله بالانس اندازه حرکت بدست می آید) در شبکه های درشت استفاده می کند.

در این مقاله یک فضای نمونه شامل دو اتاق که توسط یک دریچه افقی با هم ارتباط دارند و بصورت طبیعی و اجباری تهویه می شوند، با استفاده از روش ناحیه ای هوا شبیه سازی شده و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از روش عددی و تجربی با هم مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که برای هندسه های ساده این روش توزیع دما و رطوبت در محیط های داخلی را با دقت قابل قبول در طراحی های مهندسی حتی برای مدت یک سال پیش بینی می کند.

کلمات کلیدی

مدل ناحیه ای هوا، شبیه سازی، توزیع دما، رطوبت، دریچه افقی.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: aazimi@asme.org

۱- مقدمه

پیش بینی ویژگی های هوای داخل ساختمان ها برای تحلیل مصرف انرژی و کیفیت هوای داخل از اهمیت ویژه ای برخوردار است. می دانیم که در نواحی مختلف یک اتاق تغییرات دما وجود دارد. دمای هوا در جایی که ساکنین اغلب اوقات خود را در آن جا می گذرانند با دمای هوای ورودی و خروجی سیستم تهویه مطبوع متفاوت است. روش های دینامیک سیالات محاسباتی ابزار قوی برای پیش بینی جزئیات شرایط محیط داخل می باشند. این روش ها برای مطالعه عملکرد سیستم های تهویه، مخصوصا برای انجام محاسبات در مدت زمان یک سال، هزینه و زمان زیادی لازم دارند. مدل های ساده تر مثل مدل ناحیه ای هوا، روش های ارزان تر و بهتری برای طراحی های مهندسی فراهم می کنند.

ایده اصلی مدل ناحیه ای هوا تقسیم حجم هوای اتاق به چندین سلول است که فرض می شود دما، رطوبت و غلظت آلودگی ها در هر سلول همگن است. این مدل بر اساس بالانس جرم و انرژی در حجم های ماکروسکوپی توصیف می شود. لبران [۱] در سال ۱۹۷۰ ایده اولیه این مدل را مطرح کرد و خیلی از محققان این روش را برای شبیه سازی توزیع دما در یک محیط [۲] بکار بردند. این روش برای حل مسائل مختلف در ساختمان استفاده شد. به عنوان مثال در تحلیل مصرف انرژی [۳]، پیش بینی شرایط حرارتی هوای اتاق [۴]، شبیه سازی و کنترل هوا [۵]، مطالعه پارامترهای مختلف در فضاهای بزرگ [۶]، و شبیه سازی چند پارامتری [۷] از این روش استفاده شده است.

رطوبت نسبی نه تنها بر آسایش حرارتی بلکه بر انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش ساختمان اثر مهمی می گذارد. علاوه بر این میزان رطوبت بر مواد بکار رفته در ساختمان نیز تاثیر می گذارد.

در رابطه با احساس رضایت افراد رطوبت نقش مهمی ایفا می کند. رطوبت در ایجاد احساس خنکی به دلیل تبخیر تعرق از بدن نقش دارد. و رطوبت بالا در جلوگیری از تعرق از سطح پوست نقش موثری دارد. رطوبت بیش از اندازه می تواند باعث رشد میکرو ارگانیسمها، فاسد شدن و بوی نامطبوع شود. برعکس رطوبت کم می تواند عفونت سیستم تنفسی را افزایش دهد. به دلیل کم شدن هدایت الکتریسیته لباس ها، زمین و فرش در رطوبت های پایین، شوک های الکتریکی برای انسان ممکن است رخ دهد.

توزیع رطوبت در میان یک اتاق در بسیاری از پژوهش ها با استفاده از مدل های عددی انجام شده است. اولین مطالعات انجام شده توسط کلکترونی [۸] صورت گرفته که یک منبع رطوبت در یک اتاق کوچک در نظر گرفته و این اتاق کوچک با یک اتاق بزرگ توسط یک دریچه به هم مرتبطند و توزیع رطوبت در حالت گذرا در اتاق بزرگ با استفاده از نرم افزار فلوئنت مدل شد.

لیو [۹] از یک مدل توربولانس $k - \epsilon$ استاندارد [۱۰] برای بررسی توزیع رطوبت در یک اتاق کوچک با در نظر گرفتن تبخیر سطحی از دیواره ها استفاده کرد. هوهات [۱۱] توزیع رطوبت را با استفاده از مدل توربولانس $k - \epsilon$ واقعی [۱۲] با وجود تبخیر از سطوح دیواره و بدون منبع رطوبت و در شرایط هوایی ورودی متفاوت شبیه سازی کرد. هوهات همچنین اثر رطوبت هوای داخل بر آسایش حرارتی [۱۳] و اثر رطوبت بر شرایط آب و هوایی فضای بین کابینت و دیوار [۱۴] را بررسی کرد. استیمن [۱۵] با ترکیب مدل عددی و مدل نفوذ موثر کونینکام [۱۶] اثر سیستم رطوبت گیری را بر مقدار رطوبت هوای داخل مورد مطالعه قرار داد. همه این موارد یک توزیع یکنواخت از منبع رطوبت را بررسی کردند.

مطالعه واقعی انتقال و توزیع رطوبت در ساختمان های چند ناحیه ای بسیار کم صورت گرفته که اکثر آنها با استفاده از روش های عددی انجام شده است. در مطالعات انجام شده بر مقدار جریان عبوری از دریچه های بین اتاق ها بیشتر موارد، دریچه های عمودی بزرگ را در نظر می گیرند. تعداد کمی از مقالاتی که دریچه ی افقی را تحلیل کردن فقط نیروی شناوری را محاسبه کردند. ریف و شوا [۱۷] جریان عبوری از دریچه ی افقی بین دو اتاق که بر اثر نیروی شناوری اختلاف دمای دیواره های گرم و سرد ایجاد می شد را با استفاده از روش عددی و بصورت دو بعدی و گذرا تحلیل کردند. و نشان دادند که جریان هوای عبوری از دریچه افقی بسیار بی نظم و ناپایدار است. لی [۱۸] اثر نسبت طول به عرض یک دریچه افقی به مقدار جریان را بصورت عددی و مدل $k - \epsilon$ استاندارد و مدل LES در حالت سه بعدی و گذرا تحلیل کرد.

تعریف مسئله در این روش برای کاربر نسبتا ساده است و می توان به آسانی آن را به همراه نرم افزارهای تحلیل حرارتی ساختمان اجرا کرد. این روش می تواند لایه های دمایی هوا را با دقت راضی کننده ای پیش بینی کند [۱۹].

با توجه به این که جریان عبوری از یک دریچه افقی بین دو ناحیه و در نتیجه جریان حرارتی ناشی از آن توسط این روش تا

فضای داخل اتاق، نیروهای فشاری هستند. بدین معنی که اختلاف فشار بین دو ناحیه کم سرعت، جریانی را تولید می کند که رابطه ی مستقیم با این اختلاف فشار و هم چنین یک ضریب تخلیه دارد. این ضریب تخلیه، با ثابت گرفتن تعدادی از جملات معادله مونتوم بدست می آید، یعنی معادله ی مونتوم به شکل بسیار ساده تری بررسی شده است. این ضریب تخلیه را می توان به صورت تجربی تعیین کرد.

بنابر این نرخ جریان جرمی عبوری از یک سطوح مشترک بین سلول های i, j به اختلاف فشار متوسط، مساحت مشترک بین آن سلول ها، چگالی هوا و یک ثابت تجربی مرتبط است. بنابر این می توان دبی عبوری از ناحیه ی j به ناحیه ی i که یک مرز مشترک عمودی دارند، (همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود) را به صورت زیر بیان کرد:

$$\dot{m}_{i,j} = \varepsilon_{i,j} \sqrt{2\rho} C_d A_{i,j} |p_i - p_j|^{0.5} \quad (1)$$

که در آن p فشار هر ناحیه، A مساحت مشترک دو ناحیه مجاور، $\dot{m}$ دبی جرمی بین دو ناحیه مجاور، ε نیز وابسته به جهت جریان است، در صورتی که جریان از سلول i به سلول j جریان یابد $\varepsilon_{i,j}$ مثبت است اگر جریان از سلول j به سلول i جریان یابد $\varepsilon_{i,j}$ منفی است ρ چگالی ناحیه ایست که سیال از آن به ناحیه ی دیگر جریان پیدا می کند اگر جریان از ناحیه ی j به ناحیه ی i باشد $\rho = \rho_j$ و اگر جریان از ناحیه ی i به ناحیه ی j باشد $\rho = \rho_i$ می باشد و C_d ضریب تخلیه است.

برای وارد کردن اثرات ارتفاع بر فشار هد سلول، برای سلول های با جریان عمودی، اختلاف فشار هیدرواستاتیکی در ترم فشار باید وارد شود، بنابر این ترم دبی جرمی برای سلول هایی که دارای مرز مشترک افقی هستند، از رابطه زیر بدست می آید:

$$\dot{m}_{i,j} = \varepsilon_{i,j} \sqrt{2\rho_i} C_d A_{i,j} \left| p_i - p_j - \frac{1}{2}(\rho_i g h_i + \rho_j g h_j) \right|^{0.5} \quad (2)$$

شکل زیر، قسمت (الف) موقعیت دو سلول با مرز مشترک عمودی و قسمت (ب) دو سلول با مرز مشترک افقی نسبت به هم را نشان می دهد:

به حال بررسی نشده است در این مقاله جهت مطالعه توزیع دما در یک محیط، هندسه ی مورد مطالعه توسط ورا و همکارانش [۲۰ و ۲۱]، که شامل یک دریچه افقی بین دو ناحیه است مبنای مطالعه قرار گرفته، که در آن شبیه سازی توزیع دما در این محیط با استفاده از روش تجربی و روش عددی انجام شده است.

در این مقاله به مدل سازی توزیع دما در هندسه مذکور با استفاده از روش ناحیه ای هوا می پردازیم و در انتها نتایج حاصل از سه روش را با هم مقایسه می کنیم. نشان می دهیم که مدل ناحیه ای هوا با توجه به زمان انجام محاسبات روش مناسبی برای طراحی سیستم های تهویه مطبوع به شمار می رود.

۲- مدل ناحیه ای هوا

مدل ناحیه ای هوا یک روش میانگین بین مدل های توده ای و میکروسکوپی است. این مدل فضای مورد نظر را به چند ده سلول تقسیم می کند که این سلول ها بر اساس فشار نسبی هوا در هر بخش توصیف می شوند، دما و گونه های مختلف موجود در هوا در هر سلول همگن فرض می شود. جریان هوا از میان سطوح بین سلول های مجاور با معادلات بقا و ساده سازی معادله مونتوم که در آنها بعضی فرضیات و ثابت های تجربی هم وجود دارد، مدل می شوند. دقت این روش برای محاسبه بار حرارتی ساختمان و بررسی آسایش حرارتی افراد کافی است و زمان انجام محاسبات مناسب می باشد.

یک موضوع مهم در مدل ناحیه ای، محاسبه نرخ تغییر هوای بین سلول ها است. اینارت مدل ناحیه ای بر اساس معادلات مکانیک سیالات ارائه داد. در این مدل، نواحی ای را که مونتوم آنها کم است به عنوان سلول های معمولی در نظر گرفته و نرخ جریان بین این سلول ها با کمک پروفیل فشار محاسبه می شود و نواحی دیگر بر اساس مدل های مناسب مثل مدل جت هوا برای سلول هایی که سرعت هوا در آنها زیاد است توصیف می شوند.

۲-۱- رابطه بین سرعت و فشار در جریان داخل اتاق

در محیط هایی که هوا با سرعت پایین جریان دارد، این امکان را برای ما میسر می سازد تا بتوان معادله مونتوم را به گونه ای ساده کرد که خطای قابل توجهی در نتایج بررسی ایجاد نگردد. در این مدل فرض می شود که تنها عامل ایجاد جریان در

استفاده از فرمول های تجربی می باشیم.

۲-۳- مدل رطوبت

در این مدل انتقال حرارت و انتقال جرم بر اساس تئوری تبخیر و چگالش بیان می شود. با توجه به این که در بعضی فضاها مکانیزم جذب و دفع رطوبت وجود دارد، در این مدل سازی علاوه بر استفاده از معادلات بقا برای هوا، می بایست این معادلات را برای جرم آب هم لحاظ نمود. با فرض همگن بودن هوای مرطوب در هر ناحیه، معادله تعادل جرم را بصورت زیر در نظر می گیریم:

$$\sum_{j=1}^n \dot{m}_w + \dot{m}_{w,source} = 0 \quad (4)$$

ویژگی های فیزیکی هر ناحیه با کمک قانون گاز ها بدست می آید:

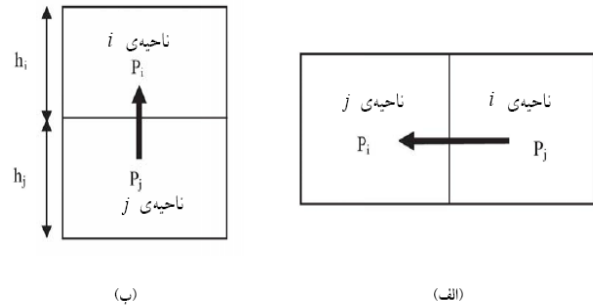
$$\rho_{ma} = \rho_a + \rho_w \quad (5)$$

$$P_{ma} = (\rho_a R_a + \rho_w R_w) T_{ma} \quad (6)$$

برای شبیه سازی نسبت رطوبت با استفاده از روش ناحیه ای هوا، این روابط به همراه روابط مربوط به جریان هوا و دما بکار رفته است [۲۲].

۳- فضای نمونه

ساختمان مورد آزمایش همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده از دو طبقه تشکیل شده است، که هر اتاق به طول ۳/۶۲m، عرض ۲/۴۴ m و ارتفاع ۲/۴۳ m می باشد. مشخصات دقیق هندسی و حرارتی این ساختمان در مرجع [۲۰ و ۲۱] موجود می باشد.



شکل (۱): جریان بین دو ناحیه با سطوح مشترک

علاوه بر معادلات بقای جرم و انرژی و معادله فشار هیدرواستاتیکی و رابطه بین سرعت و فشار، از رابطه قانون گازها برای بدست آوردن چگالی در این مدل استفاده می شود. برای استفاده از این رابطه باید فرض کنیم که هوا بصورت گاز کامل رفتار می کند که این رابطه بصورت زیر است:

$$\rho_i = \frac{P_i}{RT_i} \quad (3)$$

که در آن T دمای هر ناحیه و R ثابت گازها است. هنگام استفاده از روش ناحیه ای هوا باید به چند نکته ی زیر توجه شود:

سلول های درشت و گردایان زیاد دما ممکن است فرض همگن بودن دما در هر سلول را به یک فرض نادرست تبدیل کند.

دما و سرعت در لایه مرزی محاسبه نمی شود.

تقریب فشار هیدرواستاتیکی فقط برای جریان با خطوط موازی درست است.

تنها یک نقطه طبیعی در سطوح عمودی وجود دارد که جریان عبوری از آن وابسته به اختلاف فشار نواحی است.

۲-۲- مدل جت هوا

سلول های جت با دو زیر سلول بگونه ای توصیف می شوند که یک قسمت از این زیر سلول ها توسط معادلات ویژه برای جت و در حالتی که سرعت جریان هوا بالا باشد استفاده می شود و قسمت دیگر از این زیر سلول با مدل استاندارد شبیه سازی می گردد. زیر سلول ها رفتار جت افقی را مشابه سلول استاندارد توصیف می کنند.

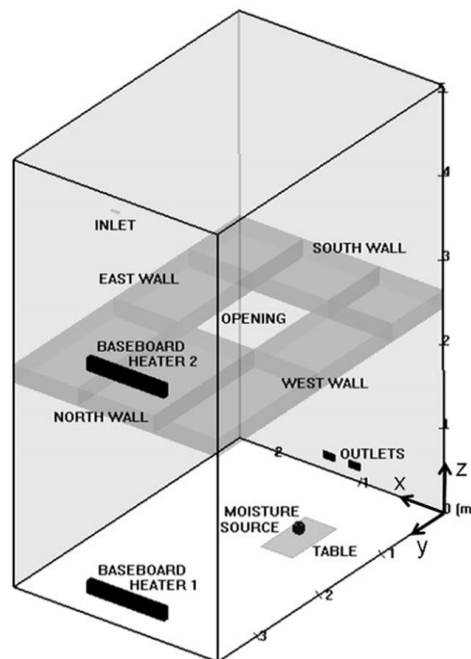
در این زیر سلول ها همه مشخصات هوا بجز فشار ثابت فرض می شوند بنابراین معادلات بقا جرم و انرژی برای جت مشابه سلول های استاندارد است. از آنجایی که این مدل با استفاده از معادلات مومنوم ساده توصیف می شود به درستی نمیتوان جریان در ناحیه جت را شبیه سازی نمود. در نتیجه ملزم به

های مختلف تغییر می کنند. کار حاضر که با استفاده از روش ناحیه ای هوا انجام شده نسبت به روشهای عددی و تجربی مزایا و معایبی دارد، از جمله مزایای این روش سرعت بالای رسیدن به نتایج در محاسبه بار حرارتی ساختمان می باشد و از معایب این روش می توان به دقت نسبتاً پایین نتایج (نسبت به دو روش دیگر) اشاره کرد. با این وجود این روش توزیع دما و رطوبت در محیط های داخلی را با دقت مورد نیاز در طراحی های مهندسی پیش بینی می کند و نیازی به دقت بالای روش های عددی و تجربی نمی باشد. اختلاف نتایج و درصد خطای نتایج سه روش تجربی در ادامه بصورت نمودار نشان داده شده است. نتایج روش تجربی نشان می دهد که جریان هوا از میان دریچه از دو جهت صورت می گیرد ولی در این روش هیچ تصویر فضایی از الگوی جریان و به تبع آن از توزیع دما بدست نمی آید و این یکی از محدودیت ها و نقاط ضعف روش تجربی به حساب می آید.

نتایج نشان می دهد که اختلاف دمای بین دو اتاق و نرخ جریان سیستم تهویه اتاق ها، زمانی که دمای اتاق بالایی کمتر از دمای اتاق پایینی است بر مقدار جریان عبوری از دریچه شدیداً اثر می گذارد و حتی ممکن است تحت شرایطی گرما از اتاق پایینی به اتاق بالایی انتقال پیدا کند. بنابر این برای تحلیل توزیع دما در این دو اتاق، بررسی جریان هوای عبوری از دریچه لازم است.

برای تحلیل الگوی جریان هوا و توزیع دما در دو اتاق مورد مطالعه با استفاده از روش ناحیه ای هوا، فضای دو اتاق را به سلول های مستطیلی تقسیم کردیم با این فرض که دما در هر سلول ثابت باشند. برای رسیدن به جواب های بهتر ابعاد این سلول ها را با توجه به گرادیان دما و سرعت هوا در قسمت های مختلف فضای نمونه، تغییر می دهیم.

با تقسیم فضای نمونه به ۳۰ قسمت، همان طور که در شکل زیر مشاهده می شود الگوی جریان مورد انتظار بدست آمد.



شکل (۲): شماتیک اتاق های مورد مطالعه

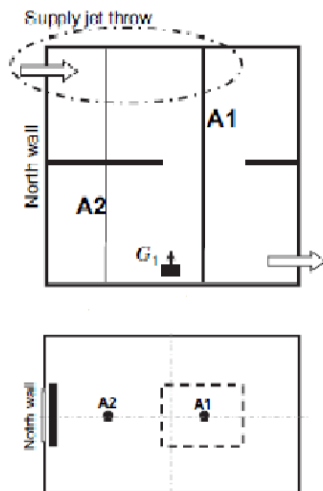
یک دریچه به طول ۱/۱۹ m، عرض ۰/۹۱ m و ضخامت ۰/۲۲ m که مساحت آن ۱۲/۳٪ مساحت کل کف اتاق بالایی می باشد دو اتاق را به هم متصل کرده و امکان عبور جریان هوا بین دو اتاق از این دریچه فراهم می شود.

دریچه ورود هوا به عرض ۹۶/۵ mm و ارتفاع ۲۱/۸ mm بصورت مستطیلی در اتاق بالایی قرار دارد. از دریچه ی ورودی، هوا با دبی ۶/۹۳ gr/s وارد اتاق بالایی می شود و از دریچه ی خروجی در اتاق پایین خارج می شود که دمای هوای ورودی ۱۷/۹ می باشد و دریچه خروجی هوا در اتاق پایین قرار دارد. یک منبع حرارتی در هر دو اتاق همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده نصب شده که در این مقاله تنها از منبع حرارتی اتاق پایین استفاده شده است.

دمای سطح دیوار ها در دو اتاق ثابت فرض شده است. به این ترتیب که در اتاق پایینی دمای کف ۱۹/۶ درجه، دمای سقف ۲۳/۲ درجه، دمای دیوار شمالی ۲۲/۲ درجه، دمای دیوار جنوبی ۲۰/۲ درجه و در اتاق بالایی دمای کف ۱۷/۹ درجه، دمای سقف ۱۷/۸ درجه، دمای دیوار شمالی ۱۷ درجه و دمای دیوار جنوبی ۱۷/۱ درجه ثابت فرض شده است.

۴- پیش بینی الگوی جریان هوا در محیط

دقت محاسبات و مدت زمان انجام محاسبات معمولاً دو پارامتری هستند که با یکدیگر در تضادند و غالباً رسیدن به یکی باعث فاصله گرفتن از دیگری می شود. و این دو پارامتر در مدل

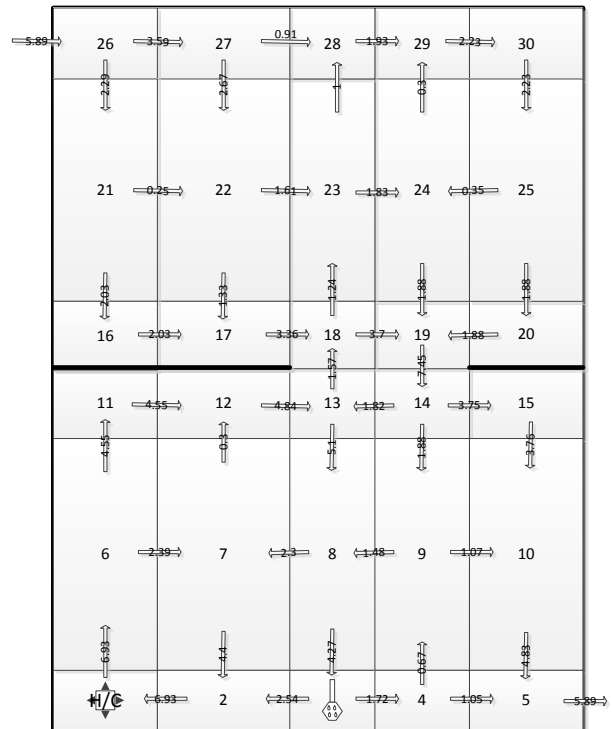


شکل (۴): هندسه نقاطی که پروفیل دما و رطوبت در آن رسم شده

در روش تجربی سنسورهای دما و رطوبت از کف اتاق پایینی تا سقف اتاق بالایی نصب شده اند و دما را در ارتفاع های مختلف در راستای دو محور مذکور مشخص می کنند. در روش عددی از مدل توربولانس صفر معادله ای استفاده شده به دلیل اینکه این مدل پیش بینی خوبی از الگوی جریان، توزیع دما و گونه ها را فراهم می کند و زمان محاسبات آن نسبت به مدل های توربولانسی دیگر بسیار کمتر است. روش عددی با استفاده از نرم افزار ایرپک انجام شد. فضای نمونه به ۳۵۶۰۰۰ گره تقسیم شده و زمان انجام محاسبات بدون در نظر گرفتن زمان مش بندی در این روش بین ۲ تا ۴ ساعت می باشد.

برای شبیه سازی همین مسئله با استفاده از روش ناحیه ای هوا تنها از ۳۰ سلول استفاده شد و زمان انجام آن هم ناچیز می باشد.

همان طور که انتظار می رود به علت وجود منبع حرارتی، در دو اتاق لایه های دمایی وجود دارد که در اتاق پایینی نزدیک کف اتاق به دلیل این که دمای سطح ثابت است، دما کمتر و در میانه اتاق دمایی قسمتی که به منبع حرارتی نزدیک تر است گرمتر، و دمای قسمتی که متاثر از جریان هوای ورودی از اتاق بالایی است خنک تر می باشد. در اتاق بالایی به دلیل این که منبع حرارتی وجود ندارد گرادیان دمایی ناچیزی مشاهده می شود که ناشی از جریان هوا از اتاق پایینی می باشد.



شکل (۳): مقدار جریان عبوری از هر سلول به لیتر بر ثانیه

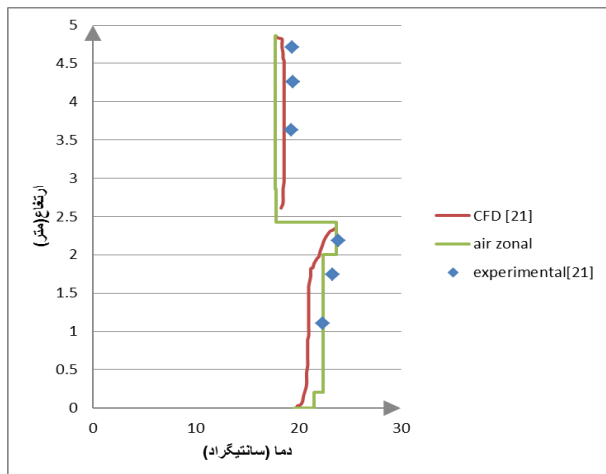
هوا از سلولی که در آن منبع حرارتی وجود دارد یعنی سلول ۱، به سمت سلول بالایی یعنی سلول ۶ جریان پیدا می کند که این جریان بخاطر گرمتر بودن هوای سلول ۱ نسبت به سلول ۶ می باشد. این جریان تا سلول ۱۱ ادامه پیدا می کند. این جریان تا نواحی مختلف اتاق بالایی هم ادامه پیدا می کند و باعث می شود که هوای در ناحیه ی بالای منبع حرارتی در دو اتاق، گرمتر شود.

استفاده از روش ناحیه ای هوا نشان داد که هوای گرم از اتاق پایینی از میان دریچه به سمت اتاق بالایی حرکت می کند و هوای سرد بصورت عکس از اتاق بالایی به اتاق پایینی جریان پیدا می کند.

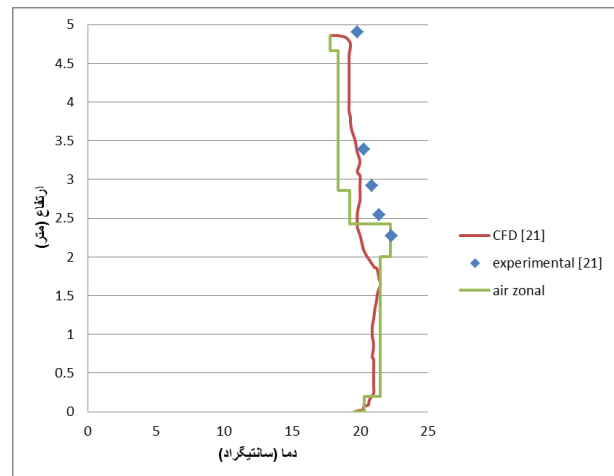
۵- نتایج پیش بینی پروفیل دما در محیط

شکل ۵ و شکل ۶ مقایسه ای بین پروفیل دمای بدست آمده از سه روش تجربی، عددی و ناحیه ای هوا در راستای محورهای A1 و A2 را نشان می دهند. موقعیت محورهای A1 و A2 در فضای دو اتاق در شکل ۴ نشان داده شده است. محور A1 از مرکز دریچه عبور می کند و محور A2 بین دریچه و درب ورود قرار دارد.

پروفیل ثابت و بدون تغییر دما را نشان می دهند که در این قسمت اختلاف دمای ۱ درجه با روش عددی و اختلاف حدود ۱/۵ درجه با روش تجربی مشاهده می شود. که نسبتاً خطای کمی می باشد.



شکل (۵): پروفیل دما در محور A1 که از سه روش عددی، تجربی و ناحیه ای محاسبه شده



شکل (۶): پروفیل دما در محور A2 که از سه روش عددی، تجربی و ناحیه ای محاسبه شده

این نتایج نشان می دهد که همان طور که انتظار می رود در قسمت هایی که گرادیان دما بیشتر است خطای روش ناحیه ای زیاد می شود و در صورتی که به جوابهای دقیق تری نیاز داشته باشیم می توان با افزایش تعداد تقسیم ها و کم کردن ابعاد سلول ها در نواحی ای که تغییرات دما زیاد است به هدف مورد نظر رسید.

پروفیل دما بدست آمده در محور های A1 و A2 نشان می دهد که روش ناحیه ای هوا، دما را بخوبی پیش بینی کرده است. خطاهای موجود در این روش می تواند بخاطر شرایط مرزی دیواره ها و منبع حرارتی موجود و تقریب های بکار رفته در این مدل باشد که برای بهبود نتایج در صورت نیاز می توان با افزایش تعداد سلول ها به جواب های دقیق تری دست پیدا کرد.

از آنجایی که در مدل ناحیه ای فرض می شود که دما در هرسلول همگن است و لایه مرزی را در نظر نمی گیرد بنابر این توزیع دما بدست آمده در این مدل نسبت به نتایج مدل عددی واضح تر است و تغییرات کلی را نشان می دهد. مدل ناحیه ای برای محاسبه جریان و دما در نزدیکی دیواره ها، به دلیل در نظر نگرفتن لایه مرزی مدل ضعیفی به شمار می رود.

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود در طول محور A1 تا ارتفاع ۲ متر نتایج عددی و ناحیه ای کاملاً با هم مطابقت دارند و اختلاف دما در این قسمت کمتر از ۰/۵ درجه می باشد. که خطای کمتر از ۲٪ را نشان می دهد. در این قسمت نتایج روش تجربی ارائه نشده تا مقایسه ای بین داده ها انجام شود.

در ارتفاع بین ۲ تا ۲/۵ متر بیشترین اختلاف دما در کل محور با نتایج عددی مشاهده می شود که این اختلاف حدود ۲ درجه می باشد که خطای حدود ۱۰٪ را نشان می دهد. در این قسمت نتایج تجربی نیز وجود دارد که نتایج روش ناحیه ای و تجربی در این قسمت کاملاً با هم مساوی می باشند.

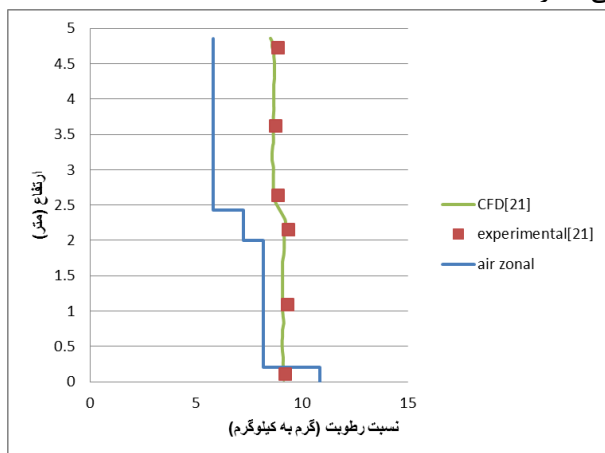
در ارتفاع بین ۲/۵ تا ۳ متر اختلاف دما با روش عددی حدود ۰/۶ درجه و با روش تجربی حدود ۱/۵ درجه می باشد. برای ارتفاع های بیشتر از ۳ متر پروفیل دمای بدست آمده از هر سه روش بصورتی است که تغییرات کمی را نشان می دهد. در این قسمت حداکثر خطا با نتایج عددی ۵٪ و با نتایج تجربی ۷٪ می باشد.

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود در طول محور A2 تا ارتفاع ۲ متر نتایج به دلیل گرادیان شدید دمای ناشی از منبع حرارتی نسبت به بقیه قسمت ها خطای بیشتری را دارند این اختلاف با نتایج عددی حدود ۳/۵ درجه و با نتایج تجربی حدود ۱/۵ درجه می باشد که بیانگر ۱۶٪ خطا نسبت به روش عددی و ۷٪ خطا نسبت به روش تجربی است.

در ارتفاع بین ۲ تا ۲/۵ متر خطا به حداقل رسیده و بهترین جواب ها در طول این محور با روش ناحیه ای هوا بدست آمده که خطای بسیار کمی را نسبت به هر دو روش دیگر نشان می دهد. در اتاق بالایی و در ارتفاعات ۲/۵ به بالا هر سه روش

با وجود این که جریان اصلی در دو اتاق به این صورت است که هوا از قسمت بالا سمت چپ اتاق بالایی وارد می شود و از قسمت پایین سمت راست اتاق پایینی خارج می شود ولی لایه هوای گرم تشکیل شده سبب می شود که هوای گرم از اتاق پایینی به اتاق بالای انتقال پیدا کند و حتی در اتاق بالایی هم به بخش های فوقانی اتاق نیز جریان پیدا کند و این جریان هوا به سمت بالا توزیع رطوبت اتاق بالایی را تحت تاثیر قرار می دهد و با وجود این که سیستم های تولید رطوبت در اتاق پایینی قرار دارند، رطوبت اتاق بالایی افزایش می یابد، که این نتیجه در نمودارهای مربوط به پروفیل رطوبت نشان داده شده است.

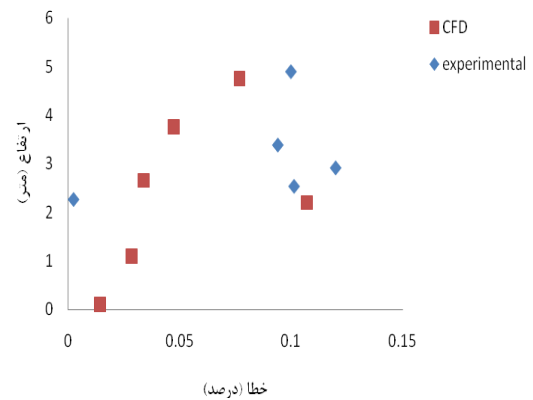
بنابر این همان طور که از نتایج روش های عددی و تجربی بدست آمد، استفاده از روش ناحیه ای هوا نیز نشان داد که هوای گرم از اتاق پایینی از میان دریچه به سمت اتاق بالایی حرکت می کند و هوای سرد بصورت عکس از اتاق بالایی به اتاق پایینی جریان پیدا می کند و این جریان بر توزیع رطوبت در فضا تاثیر می گذارد.



شکل (۹): پروفیل رطوبت در محور A1 که از سه روش عددی، تجربی و ناحیه ای محاسبه شده

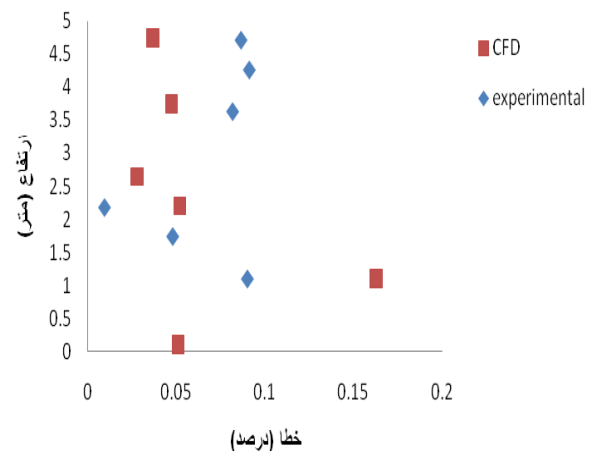
همان طور که در شکل ۹ مشاهده می شود روش ناحیه ای هوا رطوبت نزدیک محور A1 در اتاق پایینی را بهتر از اتاق بالایی پیش بینی می کند. تا ارتفاع ۲ متر در این راستا، خطا نسبت به دو روش دیگر حدود ۱ واحد می باشد که اختلاف حدود ۱۱٪ را نشان می دهد. در نواحی نزدیک دریچه این خطا به حدود ۲۲٪ می رسد. ولی در اتاق بالایی رطوبت به خوبی پیش بینی نمی شود و ما شاهد اختلاف ۳ واحدی و خطای حدود ۳۳٪ در نواحی بالای دریچه هستیم.

در نزدیک محور A2 همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود رطوبت در اتاق پایینی حدوداً ۲۰٪ بیشتر از مقادیر بدست آمده توسط دو روش دیگر محاسبه شده که این می تواند بخاطر



شکل (۷): خطای حاصل از نتایج دما در محور A1 با روش ناحیه ای هوا

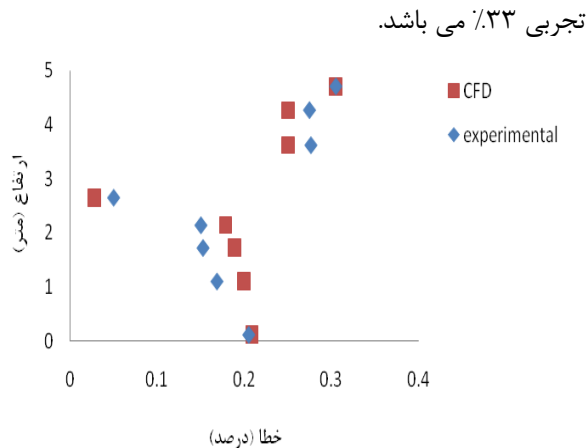
خطای نتایج پروفیل دمایی بدست آمده از مدل ناحیه ای هوا نسبت به نتایج مدل عددی و روش تجربی در ارتفاعات مختلف روی محور های A1 و A2 به ترتیب در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود بیشترین خطا در محور A1 با روش عددی ۱۲٪ و با روش تجربی حدود ۱۱٪ و در محور A2 با روش عددی ۱۶٪ و با روش تجربی ۹٪ می باشد.



شکل (۸): خطای حاصل از نتایج دما در محور A2 با روش ناحیه ای هوا

۶- نتایج پیش بینی پروفیل رطوبت در محیط

همان طور که از نتایج قبل مشاهده می شود، هوا از سلولی که در آن منبع حرارتی وجود دارد، به سمت سلول بالایی، جریان پیدا می کند که این جریان بخاطر اختلاف دما می باشد. این جریان تا سلول های بالایی ادامه پیدا می کند و باعث می شود که هوای در ناحیه ی بالای منبع حرارتی در اتاق پایینی، گرمتر شود.



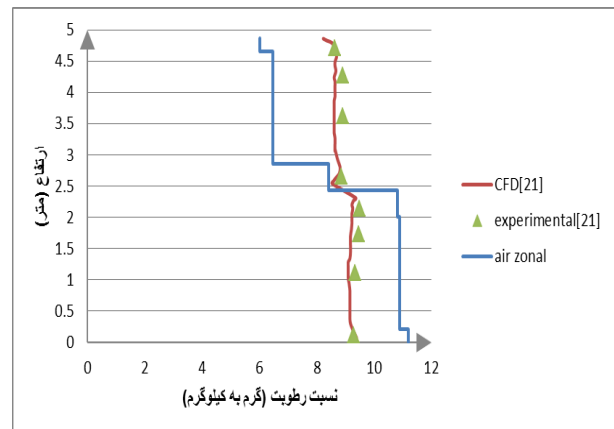
شکل (۱۲): خطای حاصل از نتایج رطوبت در محور A2 با روش ناحیه ای هوا

۷- نتیجه و جمع بندی

با توجه به اهمیت مصرف انرژی در صورت ایجاد شرایط آسایش حرارتی در ساختمان ها، می توان با شبیه سازی محیط مورد نظر و بررسی ناحیه ای آن محیط، تنها شرایط آسایش حرارتی را برای بخشی از فضا که مورد استفاده قرار می گیرد ایجاد نمود تا انرژی اضافی برای قسمت های دیگر مصرف نشود. برای این کار به محاسبه توزیع پارامترهای موثر بر آسایش نیاز داریم. با استفاده از روش ناحیه ای هوا می توان با هزینه های محاسباتی ناچیز، توزیع این پارامترهای را با دقت مورد نیاز برای تحلیل حرارتی ساختمان ها بدست آورد. این مدل می تواند الگوی جریان و توزیع دما و همچنین رطوبت نسبی و سایر پارامترهای موثر بر آسایش حرارتی در یک اتاق که بصورت مکانیکی یا طبیعی تهویه می شود را پیش بینی کند. بررسی نتایج بدست آمده از روش ناحیه ای هوا، روش های عددی و تجربی نشان می دهد که مدل ناحیه ای هوا برای شبیه سازی حرارتی از نقطه نظر مهندسی روش مناسبی می باشد. بررسی توزیع رطوبت در یک فضا با استفاده از روش ناحیه ای هوا انجام نشده بود که در این پروژه به بررسی آن و توزیع دما و مقایسه نتایج با روش های دیگر پرداختیم.

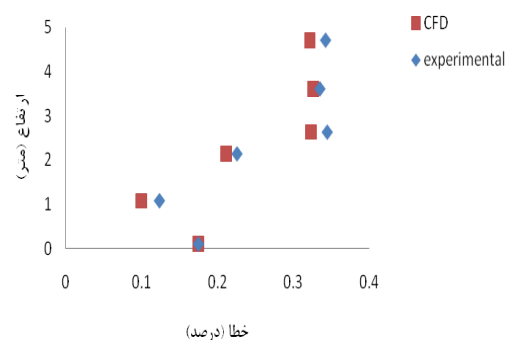
بررسی توانایی این مدل برای تحلیل سیستم های سرمایشی و گرمایشی تابشی، در صورت وارد کردن روابط دمایی متوسط تابش در معادلات، یکی از موضوعات قابل بررسی می باشد.

نزدیکی محور A2 به منبع رطوبت باشد. در اتاق بالایی رطوبت محاسبه شده حدود ۳۰٪ کمتر است این نیز بخاطر نزدیکی این محور به دریچه ی ورودی هوا است که هوا با رطوبت کمتر از این بخش، وارد فضا می شود.



شکل (۱۰): پروفیل رطوبت در محور A2 که از سه روش عددی ، تجربی و ناحیه ای محاسبه شده

این نتایج نشان می دهد که همان طور که انتظار می رود از آنجایی که محور A2 به منبع رطوبت نزدیک تر است در راستای نزدیک محور A2 نسبت به محور A1 تغییرات رطوبت شدیدتر می باشد که این باعث شده در راستای نزدیک محور A2 رطوبت نسبی نسبت به محور A1 بخوبی پیش بینی نشود.



شکل (۱۱): خطای حاصل از نتایج رطوبت در محور A1 با روش ناحیه ای هوا

خطای نتایج رطوبت نسبی پیش بینی شده توسط مدل ناحیه ای هوا نسبت به مدل عددی و نتایج تجربی در ارتفاعات مختلف روی محور های A1 و A2 به ترتیب در شکل ۱۱ و شکل ۱۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود بیشترین خطا در محور A1 با روش عددی ۳۲٪ و با روش تجربی حدود ۳۳٪ و در محور A2 با هر دو روش عددی و روش

- ۸- مراجع
- [۱۱] R.Hohota, “Modelisation de l’Humidite dans un code CFD (basses vitesses engrande cavite): comparaison avec L’experimental, Ph.D. thesis”, CETHIL-INSA deLyon, France, 2003.
- [۱۲] T.Shih, W. Liou, A.Shabbir, Z.Yang, J.Zhu., “A new k-3 eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows”, Computers & Fluids,24(3): 227-38, 1995.
- [۱۳] C.Teodosiu, R.Hohota, G.Rusaou, M.Woloszyn, “Numerical prediction of indoor air humidity and its efect on indoor Environment”, Building and Environment ,38 655 – 664, 2003.
- [۱۴] L.Mortensen, M.Woloszyn, C.Rode, R.Peuhkuri, “Investigation of microclimatesby CFD modeling of moisture interaction between air and constructions”, Journal of Building Physics, 30(4):279-315, 2007.
- [۱۵] H.Steeman, A. Janssens, J.Carmeliet, M.De Paepe, “Modelling indoor air and hygrothermal wall interaction in building simulation: comparison between CFD and a well-mixed zonal model”, Building and Environment, 44(3):572-83, 2008.
- [۱۶] MJ.Cunningham, “Effective penetration depth and effective resistance in moisture transfer”, Building and Environment; 27(3):379-86, 1992.
- [۱۷] SB.Riffat, L. Shao, “Characteristics of buoyancy-driven interzonal airflows via horizontal openings”, Building Services and Engineering Research Technology,16(3):149-52, 1995.
- [۱۸] Z.Li, “Characteristics of buoyancy driven natural ventilation through horizontal openings, Ph.D. thesis”, Department of Civil Engineering Architectural Engineering. Aalborg University, Denmark; 2007.
- [۱۹] F.Haghighat, Y.Li, A.C.Megri, “Development and validation of a zonal model – POMA”, Building and Enviroment, 36 1039-1047, 2001.
- [۱] J.Leburn,“ Exigences physiologiques et modalites physiques de la climatisation par source statique concentree”, PhD thesis, University of Liege, Belgium, 1970.
- [۲] SJ.Rees, P.Haves, “ A nodal model for displacement ventilation and chilled ceiling systems in office spaces”, Building and Environment;36:753-62, 2001.
- [۳] C.Inard, A.Meslem, P.Depecker, “ Energy consumption and thermal comfort in dwellings-cells: a zonal model approach”, Building and Environment;33(5):279-91, 1998.
- [۴] C.Inard, H.Bouia, P.Dalicieux, “ Prediction of air temperature distribution in buildings with a zonal model”, Energy and Buildings;24:125-32, 1996.
- [۵] P.Riederer, D.Marchio, JC.Visier, A.Husaunndee, R.Lahrech, “Room thermal modeling adapted to the test of HVAC control systems”, Building and Environment;37:777-90, 2002.
- [۶] A.Voeltzel, FR.Carrie, G.Guarracino, “Thermal and ventilation modelling of large highly-glazed spaces”, Energy and Buildings;33:121-32, 2001.
- [۷] Griffith, B.T, “ Incorporating Nodal and Zonal Room Air Models into Building Energy Calculation Procedures”, Massachusetts Institute of Technology, 2002.
- [۸] M.Kolokotroni, N.Saiz, J.Litter, “Moisture movement: a study using tracer gas technique and CFD modeling”, Building Services Engineering Research and Technology, 13:113-7, 1992.
- [۹] J.Liu, H.Aizawa, H.Yoshino, “CFD prediction of surface condensation on walls and its experimental validation”, Building and Environment, 39(8): 905-11, 2004.
- [۱۰] B.Launder, D. Spalding, “The numerical omputation of turbulent flows”, Computer Methods in Applied Mechanics and Energy,3(2):269- 89, 1974.

[۲۰] S.Vera, P.Fazio, J.Rao, “Interzonal air and moisture transport through large horizontal openings in a full-scale two-story test-hut: Part 1 – Experimental study”, Building and Environment, Vol. 45, pp. 1192–1201, 2010.

[۲۱] S.Vera, P.Fazio, J.Rao, “Interzonal air and moisture transport through large horizontal openings in a full-scale two-story test-hut:Part2–CFD study”, Building and Environment, Vol. 45, pp. 622–631, 2010.

[۲۲] Michael J. Moran, Howard N. Shapiro Fundamentals Of Engineering Thermodynamics. Fifth edition