Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

فرایند دستیابی به نمای دوپوستهٔ دارای بهره‌وری مناسب انرژی، نمونه موردی یک ساختمان اداری در تهران

محمدرضا حافظی *
زهرا سادات زمردیان **
محمد تحصیلدوست ***

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱

چکیده

فناوری معماری و علوم ساختمان همواره به‌دنبال بهره‌گیری از روش‌هایی بوده است که امکان کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش محیطی را فراهم آورد. ازجمله راهکارهای امروزه برای وابستگی کمتر به مصرف انرژی، در عین تأمین آسایش حرارتی و عملکرد بهینه صوتی که از دیدگاه نور روز و تأمین تهویه، در مقام مقایسه با بهره‌گیری از جداره‌های ضخیم‌تر خارجی و مصالح غیرشفاف و بازشوهای کوچک‌تر مطلوب‌تر است، امکان بهره‌گیری از پوستهٔ دوم برای کنترل بهتر محیط داخلی است. طبعاً نورگذری، قابلیت تهویه، کنترل شرایط آکوستیکی، و بهره‌گیری از عملکردهای ترکیب این پوسته‌ها از دلایل توسعه و ترویج این ساختار شناخته می‌شود. با پیشرفت نماهای دوپوسته گونه‌های مختلفی شناسایی شد که عموماً در شرایط اقلیمی کشورهای سردسیر به‌کار بسته‌شده، ارزیابی، ارتقا و درنهایت در ساختمان‌سازی مرسوم ایشان وارد گردید. لیکن در ایران کمتر به این موضوع پرداخته شده و درنتیجه، اطلاع دقیقی از تیپولوژی بهینهٔ متناسب شرایط اقلیمی شهرهای آن در دست نیست. این مقاله فرایند مطالعات طراحی یک نمونهٔ عینی است که با استفاده از روش شبیه‌سازی و ارزیابی گزینه‌های طراحی، فرایند انتخاب ساختار بهینهٔ نمای دوپوسته را در یک برج اداری در تهران شرح می‌دهد. به این منظور با شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف پیکره‌بندی، تهویه، و نیز ترکیب و مشخصات اجزای آن و سنجش بر مبنای معیارهای انرژی و آسایش گزینه‌های بهینه شناسایی شده است. نتایج در مقایسه با یک نمای تک‌پوسته با کیفیت مطلوب، نشان‌دهندهٔ کاهش نیاز به گرمایش و نیز بهبود شرایط فضای داخلی در دورهٔ سرمایش است. کاهش مصرف انرژی ناشی از استفاده از نمای دوپوسته در این ساختمان بین ۵۴–۲۸ kWh/m2 معادل ۷٫۷۹ درصد تا ۱۴٫۸۰ درصد کاهش ارزیابی شد. همچنین بیشترین تأثیر استفاده از گونه‌های مختلف نمای دوپوسته در کاهش بار سرمایشی است؛ اگرچه در تمام گونه‌های آن موجب افزایش بار روشنایی می‌شود.

کلیدواژه‌ها

نمای دوپوسته، بهره‌وری انرژی، آسایش حرارتی، طراحی اقلیمی، بار سرمایشی، بارگرمایشی.

* دکترای معماری، استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی
** کارشناسی ارشد معماری، دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه شهید بهشتی
*** دکترای معماری، استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، نویسنده مسئول، m_tahsildoost@sbu.ac.ir

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

پرسش‌های پژوهش

۱. آیا استفاده از نماهای دوپوسته در کاهش مصرف منابع انرژی و افزایش سطح آسایش متصرفان در اقلیم تهران مؤثر است؟

۲. کدام گونه از انواع نماهای دوپوسته برای مصرف در یک ساختمان اداری در تهران کارایی بهتری دارد؟

مقدمه

بحران انرژی، افزایش آلودگی و اثر نامطلوب کاهش منابع مصرف انرژی بر آسایش متصرفین فضا، نیاز به استفاده از راهکارهای طراحی برای کاهش مصرف منابع انرژی و افزایش سطح آسایش مخاطبان را افزایش داده است. راهکارهایی که عمدتاً تحت این عناوین شناخته شده‌اند می‌کوشند با افزایش بهره‌وری، کاهش نیاز به مصرف، حداکثر استفاده از انرژی و شرایط محیط طبیعی، و استفاده از قوانین فیزیکی شرایط آسایش را در مدت زمان بیشتر و بهره‌گیری کمتر از انرژی‌های تجدیدناپذیر جبران کنند. روش‌های طراحی پویا و ایستا[۱] در مقیاس‌های مختلف این امر را تعقیب می‌کنند. ازجمله این روش‌ها استفاده از نماهای دوپوسته در ساختمان است.

عمده تبادلات انرژی در ساختمان وابسته یا حداقل مرتبط با پوستهٔ خارجی بناست. پوستهٔ خارجی محل تبادل حرارت بنا با محیط اطراف، جذب انرژی‌های خورشیدی، تهویه، و نفوذ نور و صدا به محیط داخلی است که با افزایش نسبت سطح پوسته به قاعدهٔ بنا افزایش می‌یابد. از سویی ساختمان‌های اداری با توجه به تعداد، ساعات بهره‌برداری و نوع مصرف انرژی ازجمله بناهایی هستند که سهم مصرف انرژی قابل‌توجهی دارند. ازجمله راهکارهای بهبود عملکرد پوستهٔ خارجی بسیاری از بناها ازجمله ساختمان‌های اداری، استفاده از نماهای دوپوسته[۲] یا چندپوسته[۳] است. عملکرد این نوع پوسته‌ها در اقلیم مناطق سردسیر در عرض‌های جغرافیایی شمالی به دفعات مورد مطالعه و آزمون قرار گرفته و تجربه شده، لیکن در اقلیم شهرهایی نظیر تهران به‌جز معدودی مطالعات موردی، بررسی جامع و مدونی درخصوص به‌کارگیری نماهای دوپوسته گزارش نشده است. ازآنجایی‌که تعداد گونه‌های نماهای دوپوسته به بیش از چهل نوع می‌رسد و بهره‌گیری از تیپولوژی نامناسب نه‌تنها افزایش کارایی انرژی ساختمان را به همراه ندارد که موجبات عدم آسایش در محیط را نیز افزایش می‌دهد، لازم است به‌جای تکرار نمونه‌های خارجی، بهره‌گیری از آن مبتنی بر مطالعات منطبق با اقلیم محلی و شرایط محیطی باشد؛ به‌ویژه اینکه با توجه به تمایل به ساخت این نوع نماها در شهر تهران، لزوم بررسی و مطالعهٔ دقیق عملکرد آن، برای دستیابی به ساختار بهینه دوچندان می‌شود. همچنین استفاده از این ساختار علاوه بر شرایط حرارتی و مصرف انرژی، آسایش صوتی، روشنایی روز، و نیز کیفیت هوای محیط داخلی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

این مقاله فرایند انتخاب پیکربندی نمای دوپوستهٔ یک ساختمان اداری را برای یافتن گزینهٔ بهینه از منظر انرژی و آسایش حرارتی شرح می‌دهد. طبعاً انتخاب بهترین گزینه باید با لحاظ تمام عوامل تأثیرگذار بر کارکرد این نوع نماها، ازجمله مشخصات فیزیکی و ابعادی لایه‌ها و بازشوها، مقدار و الگوی تهویه، نوع سایبان، و نظایر آن سنجیده شود. لیکن با فرض ثابت گرفتن سایر موارد در طراحی ساختمان، روش مطالعه و انتخاب الگوی پیکربندی بهینهٔ نمای دوم از میان روش‌های مرسوم (جعبه‌ای[۴]، ستونی[۵]، دالانی[۶] و نمای یکپارچه[۷]) و نیز تأثیر آن بر عملکرد حرارتی ساختمان شرح داده می‌شود. شاخصه‌های ارزیابی در این بررسی که معیار اولویت‌بندی بین گزینه‌های مختلف بوده، معیار آسایش حرارتی فضای داخلی در ساعات تصرف و نیز شاخص مجموع انرژی مصرفی، مشتمل بر روشنایی، گرمایش، و سرمایش، جهت تأمین شرایط آسایش مذکور (حرارتی و روشنایی) است. گفتنی است تأمین نور روز و نیز خیرگی می‌بایست در مطالعهٔ موضوع آسایش بصری مدنظر قرار گیرد که در این مقاله مورد بحث قرار نگرفته و تنها به این امر اشاره شده که سطح زیاد شیشه‌ها حداکثر نور روز لازم را تأمین، و سایبان‌های خارجی و پرده‌های داخلی نیز از خیرگی پیشگیری خواهد کرد.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

۱. پیشینهٔ تحقیق

مطابق تعریف مؤسسهٔ تحقیقات ساختمانی بلژیک، نمای دوپوسته به نمایی اطلاق می‌شود که از احداث حداقل دو پوستهٔ داخلی و خارجی، با فاصله‌ای بیست تا دویست سانتی‌متری، موسوم به فضای حائل[۸] و پوستهٔ خارجی اغلب از جنس شیشه سخت شکل گرفته باشد. پوستهٔ داخلی عمدتاً بخشی شیشه و بخش دیگر نمای کدر (غیرشفاف[۹]) است. همچنین این فضا را می‌توان به روش طبیعی یا مکانیکی تهویه کرد (BBRI 2002).

در سوابق تجربیات مربوط به استفاده از الگوی نماهای دوپوسته، اولین بار در سال ۱۸۴۹ به گردش مکانیکی هوای گرم و سرد بین لایه‌های شیشه ساختمان موزهٔ صنعتی بروکسل در زمستان و تابستان اشاره شده است. در ۱۹۰۳ کارخانه‌ای در آلمان برای بهره‌گیری هرچه بیشتر از نور روز و پرهیز از سرما و بادهای شدید منطقه، و ساختمان بانکی در اتریش، و به‌دنبال آن ساختمان‌های متعددی در روسیه و پاریس از این روش سود جستند. سال‌های بعد تا اواخر دههٔ ۱۹۷۰ پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای در بهره‌گیری از این نماها پدید نیامد. پس از آن و به‌ویژه از دههٔ ۱۹۹۰ به بعد، در پاسخ به مسئلهٔ انرژی، تعداد این ساختمان‌ها به‌طور فزاینده‌ای رشد کرد (Uuttu 2001).

ترکیب ویژگی‌های این نوع نما به گسترش آن در بسیاری از اقلیم‌ها و کشورهای مختلف در سال‌های اخیر انجامیده است. ازجمله این ویژگی‌ها که در تحقیقات قبلی نیز مورد اشاره قرار گرفته، ارتباط نزدیک فضای داخل با محیط خارج از طریق بدنهٔ شفاف (Baldinelli 2009)، ایجاد جذابیت بصری، دریافت نور روز بیشتر، شکل خارجی و نمای یکپارچهٔ شیشه‌ای (Gratia and De Herde 2007)، و عملکرد مفید آن از دیدگاه بهبود همسازی اقلیمی و کاهش مصرف منابع انرژی (Chan, Chow et al. 2009; Fallahi, Haghighat et al. 2010; Papadaki, Papantoniou et al. 2014) است. گرچه افزایش سطوح شیشه‌ای افزایش حرارت ناشی از اثر گلخانه‌ای را نیز به همراه دارد (Gratia and De Herde 2004).

بسیاری از محققان، رفتار حرارتی نماهای دوپوسته را از طریق شبیه‌سازی (Brandl, Spinnler et al. 2006; Jensen, Kalyanova et al. 2008; Ji, Cook et al. 2008; Alibaba and Ozdeniz 2011; Rezaee, Wang et al. 2011; Joe, Choi et al. 2014; Kinnane and Prendergast 2014; Flores Larsen, Rengifo et al. 2015) و نیز مطالعات میدانی متعدد (Mikkel Kragh 2001; Hashemi, Fayaz et al. 2010; Altan, Refaee et al. 2014; Leon Gaillard 2014; Omidiani 2015) مطالعه کرده‌اند. تحقیقات در اقلیم‌های مختلف که عمدتاً در دسته‌بندی B و C کوپن که شامل مناطق سرد و خشک و گرم و خشک (Bwh-Bwk) و گرم و معتدل و سرد و معتدل (cfa-cwa) بوده، انجام شده است. در تحقیقاتی که از شبیه‌سازی استفاده شده، پارامترهای مختلفی در نماهای دوپوسته ازجمله پیکره‌بندی نما، جنس شیشه، نوع سایبان‌ها، بهره‌گیری از تهویهٔ طبیعی، عمق فضای حائل و ابعاد بازشوهای تهویه بررسی شده است. در این تحقیقات، عمدتاً تأثیر این عوامل بر تغییرات دما در فضاهای داخلی و حائل و همچنین میزان مصرف انرژی بررسی شده است. تحقیقات محدودی نیز در ایران تأثیر نماهای دوپوسته را بر مصرف انرژی ساختمان ارزیابی کرده‌اند. یکی از این تحقیقات (قنبران و حسین‌پور ۱۳۹۲) گزینه‌های مختلف نمای دوپوسته را روی یک ساختمان اداری در تهران شبیه‌سازی کرده و استفاده از نمای دوپوسته را منجر به کاهش ۱۶ تا ۲۰درصد مصرف انرژی در ساختمان دانسته‌اند. در تحقیقی مشابه (سراج، دانش و دیگران ۱۳۹۳) تأثیر تعداد لایه‌های شیشه بر مصرف انرژی ارزیابی شده‌است. همچنین استفاده از نمای دوپوسته به‌جای نمای شیشه‌ای مرسوم در سوله‌ها و تأثیر این نوع نما بر بارهای حرارتی در تهران برای یک سولهٔ تیپ مورد بررسی قرار گرفته است (معرفت، عظیمی و دیگران، ۱۳۸۹). نتایج حاکی از بیشترین کاهش مصرف سالیانهٔ انرژی در سوله‌های دارای نمای دوپوستهٔ رو به جنوب است.

مطالعات نشان می دهد عوامل مؤثر بر کارایی نماهای دوپوسته مشتمل بر کاربری و نوع بنا، ساختار جدارهٔ خارجی، نسبت و تعداد لایه‌های سطوح شفاف، عمق فضای حائل و جانمایی سایبان‌ها در داخل آن است (Gratia and De Herde 2004). همچنین عمق فضای حائل (Torres, Alavedra et al. 2007) و تهویهٔ آن (Manz, Schaelin et al. 2004; Pasquay 2004; Ballestini, De Carli et al. 2005; Baldinelli 2009; Zhou, Chen et

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

al. 2009) و نیز پیکره‌بندی این فضا بر کارایی آن تأثیرگذار است (Poirazis 2006; Shameri, Alghoul et al. 2011).

۲. گونه‌های مختلف نماهای دوپوسته

به‌منظور انتخاب ساختار مناسب برای طراحی ساختمان موردنظر در این تحقیق لازم است گونه‌های مختلف نماهای دوپوسته بررسی و ارزیابی شود. ازاین‌رو گونه‌بندی‌های مورد اشاره مختصراً معرفی شود تا شناخت دقیق‌تری از ترکیب عوامل مؤثر و درنتیجه گزینه‌های مختلف طراحی به‌دست آید. گونه‌های مربوط به نماهای دوپوسته برآمده از ترکیب عوامل زیر است:

- پیکربندی ترکیب نما (Oesterle, Lutz et al. 2001; Uuttu 2001; Lee, Selkowitz et al. 2002; Saelens 2002; Wong, Prasad et al. 2008).
- الگوی تهویه (Kragh and Components 2001; BBRI 2002; Kragh, Colombari et al. 2002; Gratia and De Herde 2004; Ding, Hasemi et al. 2005; Jiru and Haghighat 2008; Wong, Prasad et al. 2008).
- سایبان‌ها (Gratia and De Herde 2004; Gratia and De Herde 2007; Baldinelli 2009; Gavan, Woloszyn et al. 2010).

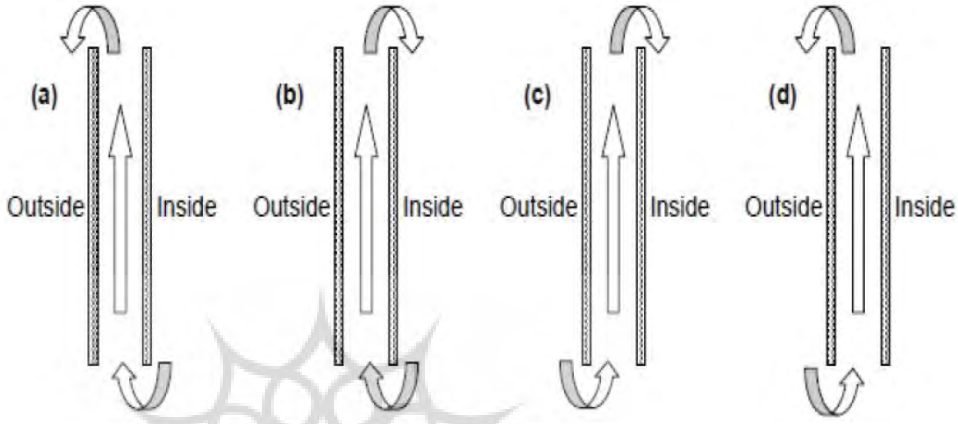
گزینه‌های ترکیب‌بندی ساختار فضای‌حائل با چهار ساختار مرسوم نمای چندطبقه‌ای یا یکپارچه، بسته‌شدن میان اتاق‌های مجاور و یکپارچگی عمودی فضای حائل موسوم به جعبهٔ ستونی، بسته‌شدن بین طبقات و یکپارچگی افقی فضای‌حائل موسوم به دالانی، و بسته شدن همزمان افقی و عمودی فضای حائل در تراز هر طبقه و روی دیوارهای بین اتاق‌ها یا جعبه‌ای انجام پذیرفت (تصویر ۱).

تصویر ۱: از راست به چپ یکپارچه، شفت، دالانی و جعبه‌ای

از سوی دیگر بر مبنای منبع تهویهٔ فضای حائل شامل چهار حالت ترکیبی از تأمین هوا (از داخل یا خارج) به نقطهٔ تخلیهٔ هوا (به داخل یا خارج) مطابق تصویر (۲)، گونه‌بندی نماهای دوپوسته به چهار حالت طرح می‌شود. همچنین دو حالت دیگر که طبقه‌بندی جدیدی برای این نماها به همراه دارد، موضوع روش تهویه است که ممکن است به‌صورت تحت فشار (مکانیکی) یا طبیعی اتفاق افتد (Poirazis 2006). عمدتاً در اقلیم‌هایی که تابستان‌های گرم داشته باشند، استفاده از روش طبیعی کارامد است لیکن به‌دلیل شدت جریان و نیز وابستگی آن به شرایط محیطی، لزوماً کفایت کاهش دما به اندازهٔ کافی را نمی‌کند. مطالعات دیگری نیز ازجمله (Afifi 1994; Pasquay 2004; Hamza and Underwood 2005) اثر مقدار تهویه، موقعیت بازشوها و عملکرد آن‌ها را در کارایی فضای حائل بررسی کرده است. محل بازشوها و نوع تهویهٔ ناشی از آن نیز در تحقیقات دیگری مورد بررسی قرار گرفته است؛ ازجمله اثر تهویهٔ افقی فضای حائل بر کاهش دمای آن در اقلیم‌های مدیترانه‌ای بیش از تهویهٔ عمودی ذکر شده

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

است (Ballestini, De Carli et al. 2005)، در اقلیم‌های گرم بر اهمیت موضوع تهویه در ترکیب بهره‌گیری از سایبان‌ها تأکید شده است (Kuznik, Catalina et al. 2011). به‌ویژه اینکه از ویژگی‌های نمای دوپوسته امکان افزایش تهویه به مقدار زیاد بدون ایجاد عدم آسایش ناشی از جریان باد به‌دلیل سرعت پایین‌تر جریان هوا در فضای حائل است (Larsen, Rengifo et al. 2015).



تصویر ۲: گونه‌بندی بر مبنای روش تهویه (معرفت، عظیمی و دیگران ۱۳۸۹)

طراحی سایبان‌ها نیز می‌تواند بر عملکرد نمای دوپوسته تأثیر جدی بگذارد. نوع سایه‌انداز، ابعاد، فواصل و زوایای آن بر مقدار تابش دریافتی مؤثر است که به‌شدت بر دمای فضای حائل تأثیر خواهد داشت. جنس سایه‌انداز از نظر جذب حرارت و عملکرد به‌عنوان جرم حرارتی و امکان ترکیب آن با تهویهٔ شبانه (Hashemi, Fayaz et al. 2010) و نیز مشخصات سطح آن نظیر براق و مات بودن و رنگ روشن و تیرهٔ آن از دیدگاه انعکاس تابش دریافتی یا جذب آن مؤثر است (Nasrollahi and Salehi 2015). موقعیت قرارگیری سایبان در خارج یا داخل فضای حائل، و نیز به نسبت جداره‌ها (Gratia and De Herde 2007)، همچنین سایبان‌های داخلی و پرده‌ها، بر امکان جریان هوا روی سطح و مقدار تبادل با سطح شیشه تأثیرگذارند (Hamza and Underwood 2005). با انتخاب نوع مناسب سایه‌انداز می‌توان تا حدود ۱۴درصد انرژی سرمایشی را کاهش داد (Gratia and De Herde 2007, Baldinelli 2009) که این رقم در اقلیم امارات متحده بین ۱۷ تا ۲۰ درصد نیز گزارش شده است (Radhi, Sharples et al. 2013). البته اثر ضریب سایه‌اندازی شیشه یا پوشش‌های نظیر low-e نیز می‌تواند نتایج مشابهی به همراه آورد (Goia, Bianco et al. 2014; Larsen, Rengifo et al. 2015).

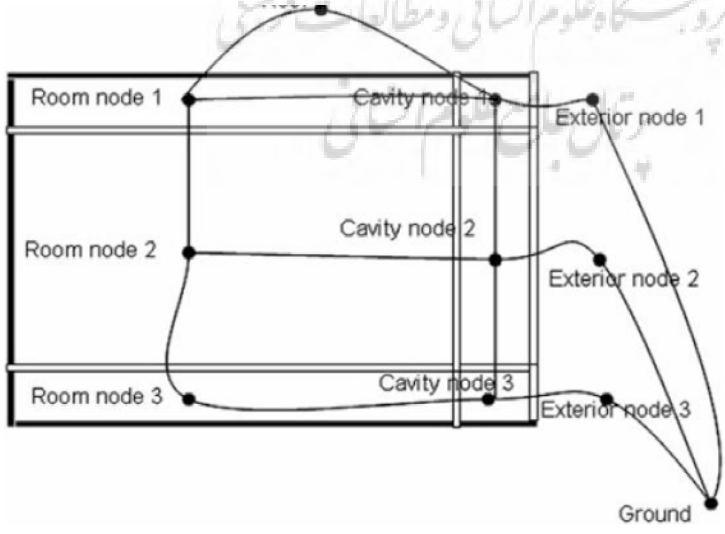
مطالعات گسترده‌ای کارایی و فواید نماهای دوپوسته در اقلیم‌های نیمه خشک را بررسی کرده‌اند (Mulyadi 2012). لیکن هنوز اثبات نشده است که کاربرد این نماها در شرایط اقلیمی تهران نیز مفید فایده باشد. به عبارت بهتر، پیش از این مطالعاتی در زمینهٔ تناسب برخی از انواع گونه‌ها با برخی از انواع شرایط اقلیمی انجام شده است. مطالعات محدودی نیز (ازجمله Straube and van Straaten 2001, Wong, Prasad et al. 2008, Baldinelli 2009, Hashemi, Fayaz et al. 2010) به بررسی رفتار نماهای دوپوسته در اقلیم‌های گرم و عوامل مؤثر بر آن پرداخته است. بررسی هریک از این مطالعات و گزارش‌های مرتبط نشان‌دهندهٔ آن است که تأثیر برخی از عوامل فوق با توجه به شرایط اقلیمی، بعضاً قابل پیش‌بینی است لیکن در سایر موارد نیاز به اطمینان از عملکرد آن وجود دارد.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

۳. متدلوژی

به‌صورت کلی دو روش برای ارزیابی نماهای دوپوسته وجود دارد: نخست روش آزمایش تجربی در اتاقک‌های آزمون و اندازه‌گیری پارامترهای محیطی در آن و سپس تحلیل نتایج برای تعیین روابط میان متغیرهاست؛ روش دوم شبیه‌سازی رایانه‌ای ازطریق نرم‌افزارهایی چون ترانسیس[۱۰]، انرژی پلاس[۱۱] و نظایر آن است. این شبیه‌سازی‌ها براساس دو روش اصلی صورت می‌پذیرند: شبکهٔ جریان هوا[۱۲] و دینامیک سیالات محاسباتی[۱۳]. روش بررسی استفاده‌شده در این مقاله مدل‌سازی کامپیوتری، و تکرار محاسبات مصرف انرژی و شرایط آسایش محیط داخلی در ساعات تصرف بنا، با استفاده از گزینه‌های مختلف مورد تأیید طراح، و سنجش عملکرد هریک برای انتخاب گزینهٔ بهینه است. به این منظور پس از ذکر مختصر مشخصات اقلیمی محیط، معرفی اجمالی مدل پایه و شرح مشخصات گزینه‌های مختلف، عملکرد آن‌ها بررسی می‌شود.

ازآنجاکه عدم دسترسی به نمونهٔ ساخته‌شده، سنجش اعتبار نرم‌افزار را مشکل می‌نمود، اطمینان از صحت عملکرد نرم‌افزار مورداستفاده می‌بایست بررسی می‌شد. مراجعه به مطالعات قبلی در زمینهٔ مدل‌سازی با رابط گرافیکی دیزاین بیلدر[۱۴] (ازجمله Azarbayjani 2014; Barbosa and Ip 2014; Ghoreishi 2015; Kirimtat, Koyunbaba et al. 2016) نشان‌دهندهٔ قابلیت مناسب و دقت عمل آن با نرم‌افزار انرژی پلاس است. بالاخص اینکه مطالعات متعددی نیز (ازجمله Hensen, Bartak et al. 2002; Stec and Van Paassen 2003; Hollingsbee, Kooy-mans et al. 2009) اعتبار این نرم‌افزار برای سنجش موضوع مطالعه را تأیید می‌کند. نرم‌افزار انرژی پلاس با بهره‌گیری از مدل‌سازی شبکه‌ای جریان هوا برای ارزیابی شرایط داخلی فضاها استفاده شد. این روش شامل مجموعه‌ای از نقاط فرضی در فضاست که از طریق جریان هوا به یکدیگر مرتبط می‌شوند. رابطهٔ بین جریان هوا و فشار برای هریک از این نقاط باید مشخص شود. ازآنجایی‌که در این روش فرض می‌شود هوا از یک نقطه به نقاط دیگر جریان پیدا می‌کند، با توجه به ساده‌سازی‌هایی که در مسیر صورت می‌گیرد، امکان لحاظ کردن چرخش هوای داخلی درون یک زون فراهم نیست (Lixing 2007). لذا برای هر زون یک دما در مرکز فضا در نظر گرفته می‌شود و تغییرات عمودی و افقی دما در فضاها بررسی نمی‌شود (تصویر ۳). به این ترتیب چنان‌که در تصویر نمایش داده شده است، در مدل‌سازی انجام‌شده دمای داخلی هر زون اعم از فضای اداری داخلی طبقات، فضای حائل مقابل آن، و فضای خارجی به‌صورت جداگانه لحاظ و تبادلات میان آن‌ها با یکدیگر از طریق محاسبات مدل‌سازی تدقیق می‌گردد. جزئیات کامل مربوط به نحوهٔ محاسبهٔ دما در مرجع مهندسی نرم‌افزار موجود است (Energy 2015).

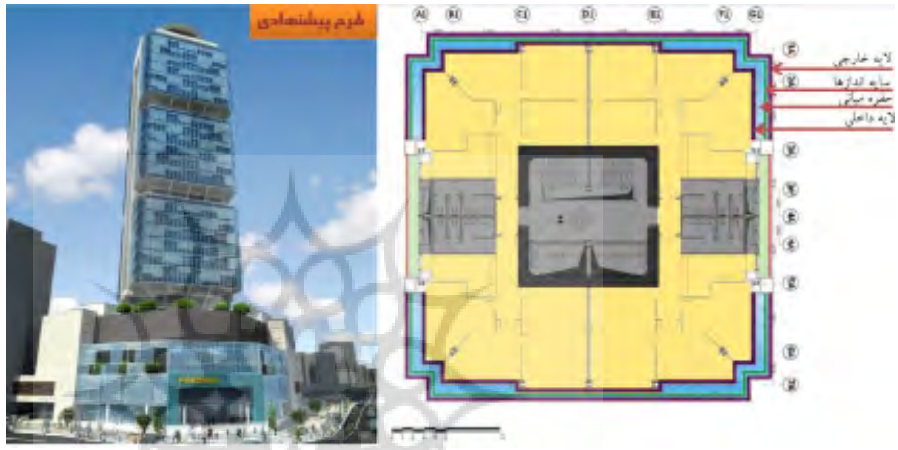


تصویر ۳: مدل‌سازی جریان هوا در نرم‌افزار انرژی پلاس [۵۹]

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

۴. نمونهٔ مورد بررسی

ساختمان مورد نظر یک برج اداری از یک مجموعه اداری‌ـتجاری در شهرک قدس در تهران، با شفت مرکزی و دارای سه خوشهٔ ساختمانی شش‌طبقه با مساحت کف هر طبقه در حدود هزار متر مربع است (تصویر ۴. الف). جهت‌گیری بنا با زاویهٔ ۴۵ درجه نسبت به جنوب، و عمدتاً وجه جنوب شرقی و شمال غربی آن دارای نمای نورگیر است که در مراحل طراحی پیش‌بینی نمای دوپوسته برای هر خوشه به عمق حداقل ۸۰ و حداکثر ۱۶۰ [۱۵] سانتی‌متر انجام شده است. سطح پنجرهٔ داخلی به خواستهٔ طراح و برای تأمین دید مناسب ۶۰ درصد سطح نمای پوسته اول لحاظ شد (تصویر ۱. ب). ارتفاع کف به کف طبقات ۴ متر، و ساختار فیزیکی پوستهٔ بنا به شرح جدول (۱) است.



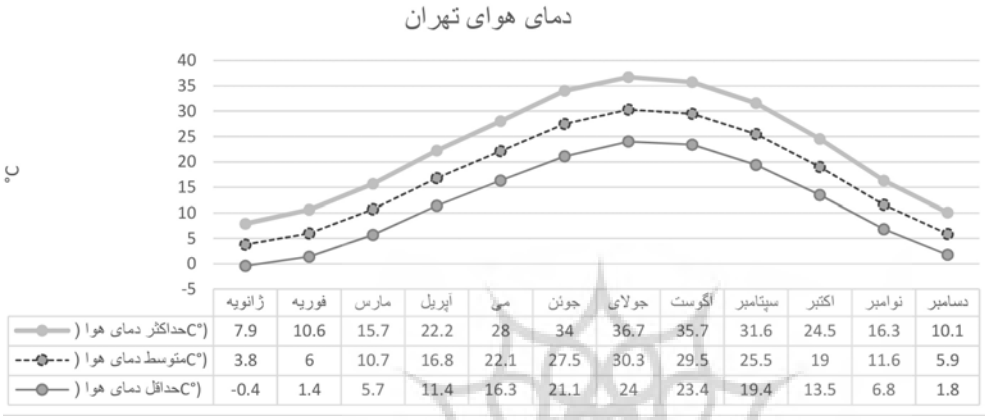
تصویر ۴: الف. (چپ) ساختار خوشه‌های طبقات اداری برج؛ ب. (راست) پلان طبقات تیپ اداری

جدول ۱: ساختار و مشخصات پوستهٔ اول و دوم نما

اجزای ساختمانی	مقدار	متغیر
دیوار خارجی	۰.۵	ضریب انتقال حرارتی (w/m^2k)
کف طبقات	۲.۹	
کف تماس با خاک	۰.۴۴	
بام	۰.۳	
نمای خارجی (شیشهٔ لمینیت ۴+۶ میلی‌متر–بدون فریم)	۵.۵	
نمـای داخلـی (پنجـرهٔ آلومینیـومی بـا شیشـهٔ دوجـداره ۴+۶/۲۵/۴ میلی‌متر به‌علاوه گاز آرگون)	۲.۴	
فریم پنجره (آلمینیومی)	۴.۷	
شیشهٔ داخلی	۰.۴۳	ضریب انتقال گرمای خورشیدی (فاقد واحد)
شیشهٔ خارجی	۰.۷۵	
غیر تعمدی(نفوذ هوا پوسته خارجی ساختمان)	۰.۵	تهویه (ACH [۱۶]) (بر حسب تعداد دفعات در ساعت)
تعمدی (فضای حائل)	۲۰	
پنجرهٔ خارجی	٪۵۰	بازشـو پنجـره (برحسـب درصـد بازشو پنجره به کل سطح دیوار) WWR[۱۷]
پنجرهٔ داخلی	٪۲۰	
برنامهٔ زمانی باز شدن پنجره	براساس حسگرهای دمایی در ساعات اداری	
کرکرهٔ داخلی نمای اول	پره‌های با بازتابش متوسط با کنترل خیرگی	سایبان
سایبان روی نمای دوم	۴ پره به عمق ۲۵۰ میلی‌متر و زاویهٔ ۳۰ درجه	

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

شرایط اقلیمی تهران (تصویر ۵) غیر از نواحی کوهستانی شمالی که اندکی مرطوب و معتدل است، به‌طور کل گرم و خشک است. مرداد و شهریور با دمای متوسط ۲۸ تا ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد گرم‌ترین ماه‌های سال و دی‌ماه، سردترین ماه سال با میانگین ۱ درجهٔ سانتی‌گراد، حداکثر دمای ثبت‌شده در تهران ۴۲ درجه و حداقل آن –۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد گزارش شده است.۱۸ تعداد روز–درجه‌های گرمایشی و سرمایشی تهران بر مبنای معیار دمایی حداقل ۱۸ و حداکثر ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد با داده‌های ایستگاه سعادت‌آباد در سه‌سالهٔ اخیر، به ترتیب ۲۲۲۳ و ۴۶۳ است.[۱۹]



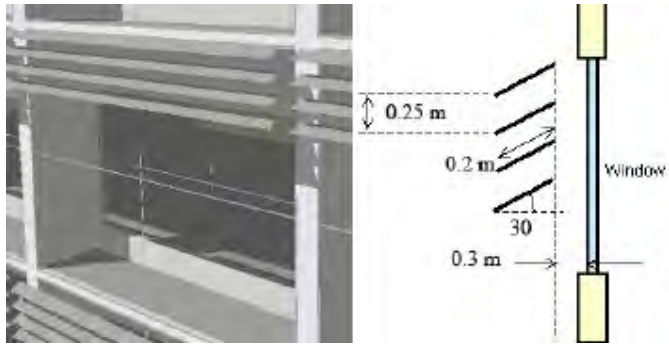
	ژانویه	فوریه	مارس	آپریل	می	جوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
حداکثر دمای هوا (°C)	7.9	10.6	15.7	22.2	28	34	36.7	35.7	31.6	24.5	16.3	10.1
متوسط دمای هوا (°C)	3.8	6	10.7	16.8	22.1	27.5	30.3	29.5	25.5	19	11.6	5.9
حداقل دمای هوا (°C)	-0.4	1.4	5.7	11.4	16.3	21.1	24	23.4	19.4	13.5	6.8	1.8

تصویر ۵: حداکثر، حداقل و متوسط دمای ماهیانهٔ تهران (منبع: سازمان هواشناسی ایران)

به‌منظور بررسی و مقایسهٔ گزینه‌های مختلف طراحی از دیدگاه مصرف انرژی و نیز آسایش حرارتی، ساختمان مورد مطالعه با جزئیات اجرایی ساختار پوسته‌های خارجی آن، و نیز سناریوهای تهویه، سایبان‌ها، ساعات کار و متصرفان و بار تجهیزات داخلی، و همهٔ جزئیات ساخت و موضوعات پیش‌بینی شده بهره‌برداری با استفاده از دیزاین بیلدر (نسخهٔ ۴,۵,۰,۱۷۸) و انرژی پلاس (نسخه ۸,۳,۰) شبیه‌سازی شد.

دمای فضای داخلی طبقات اداری در طبقهٔ اول، سوم، و آخر (ششم) هر خوشه و نیز دمای فضای حائل تراز متناظر این نقاط، در طول ساعات کاری (۸:۰۰ صبح تا ۱۷:۰۰) بررسی و با شرایط آسایش مطابقت داده شد. به این منظور از دمای عامل به‌عنوان شاخص معتبر ارزیابی آسایش حرارتی استفاده شد و بررسی در یک روز سرد زمستانی، و یک روز گرم تابستانی انجام شد. به‌علاوه مصرف انرژی مورد نیاز برای تنظیم شرایط حرارتی محیط در طول سال به تفکیک انرژی گرمایشی و سرمایشی بررسی شد. محاسبات فوق در چهار حالت پیکربندی نمای دوپوستهٔ جنوب شرقی و شمال غربی تکرار شد. شایان ذکر است در محاسبهٔ شرایط محیطی ایجادشده با استفاده از نمای دوپوسته و محاسبهٔ انرژی مصرفی دو روش مدل‌سازی به ترتیب با تجهیزات تأسیساتی خاموش برای محاسبهٔ شرایط آسایش، و سیستم‌های تأسیساتی روشن برای محاسبهٔ انرژی مورد نیاز گرمایشی و سرمایشی مدل‌سازی تکرار شد.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017



تصویر ۶: مدل‌سازی گزینه‌های شبیه‌سازی در رابط گرافیکی دیزاین بیلدر ۶ الف (بالا): سه نمونه مدل‌سازی از پیکربندی؛ ب (پایین) : مشخصات و مدل‌سازی سایبان

مدل‌سازی‌های انجام‌شده در جدول (۲) شرح داده شده است. شایان ذکر است برخی موارد طراحی ازجمله تعداد و فواصل سایبان‌ها، نوع و ابعاد و فواصل لایه‌های پوسته‌ها، و موارد مشابه مبتنی بر نقاط ثابت طراحی مدنظر معمار بوده و لذا به‌منظور تحدید گزینه‌های مورد بررسی به گزینه‌های عینی و عملی، در این تحقیق موردمطالعه قرار نگرفته است. برخی از گزینه‌های بررسی‌شده در تصویر (۶ ب) نمایش داده شده است.

مدل‌سازی‌های انجام‌شده در دو بخش کلی، آسایش و مصرف انرژی را مد نظر قرار داده است. مدل‌سازی‌های مربوط به آسایش با خاموش بودن سیستم‌های تأسیساتی و به‌منظور بررسی اثر نمای انتخابی بر شرایط آسایش حرارتی متصرفان، در شرایطی که فضای داخلی فاقد سیستم‌های سرمایش و گرمایش باشد، انجام شده است. دلیل اهمیت این بخش از مطالعه، بررسی امکان افزایش بازه زمانی آسایش بدون بهره‌گیری از سیستم گرمایش و سرمایش در طول سال است. به عبارت دیگر این بخش در جست‌وجوی این سؤال است که آیا استفاده از نماهای دوپوسته امکان افزایش سطح آسایش متصرفان بدون نیاز به مصرف انرژی را فراهم می‌سازد؟

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

جدول ۲: گزینه‌های شبیه‌سازی‌شده[۲۰]

زاویهٔ سایبان خارجی (°)	گونهٔ دوپوسته (پیکره‌بندی)	یک پوسته	تهویهٔ مطبوع بخش اداری	تهویهٔ طبیعی فضای حائل	تهویهٔ طبیعی فضای اداری	شمارهٔ نمونه
۳۰	-	✓	–	-	✓	(0)
۳۰	–	✓	✓	-	–	(1)
–	یکپارچه	–	–	✓	✓	(2)
۳۰	یکپارچه	–	–	✓	✓	(3)
۳۰	جعبه ای	–	–	✓	✓	(4)
۳۰	ستونی	–	–	✓	✓	(5)
۳۰	دالانی	–	–	✓	✓	(6)
-	یکپارچه		✓	✓	–	(7)
–	جعبه ای		✓	✓	–	(8)
–	ستونی		✓	✓	–	(9)
–	دالانی	–	✓	✓	–	(10)
۳۰	یکپارچه	–	–	✓	✓	(11a)
۳۰ داخلی	یکپارچه	–	-	✓	✓	(11b)
۶۰	یکپارچه	-	–	✓	✓	(11c)
۳۰	جعبه‌ای	–	✓	✓	–	(12)
۳۰	ستونی	–	✓	✓	–	(13)
۳۰	دالانی	–	✓	✓	–	(14)
فیلم خورشیدی	یکپارچه	–	✓	✓	–	(15)
۳۰	یکپارچه	–	-	-	-	(16)
۳۰	یکپارچه	–	–	۳۰٪ بازشو پنجره‌ها در زمان تصرف فضا	✓	(17)
۳۰	یکپارچه	–	–	۳۰٪ بازشو پنجره‌ها در زمان تصرف همراه با تهویهٔ شبانه	✓	(18)
۳۰	یکپارچه	–	–	قرارگیری بازشو در بالا و پایین فضای حائل	✓	(19)
۳۰	یکپارچه	–	–	(۱۸) + تهویهٔ مکانیکی در فضای فضای حائل	✓	(20)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

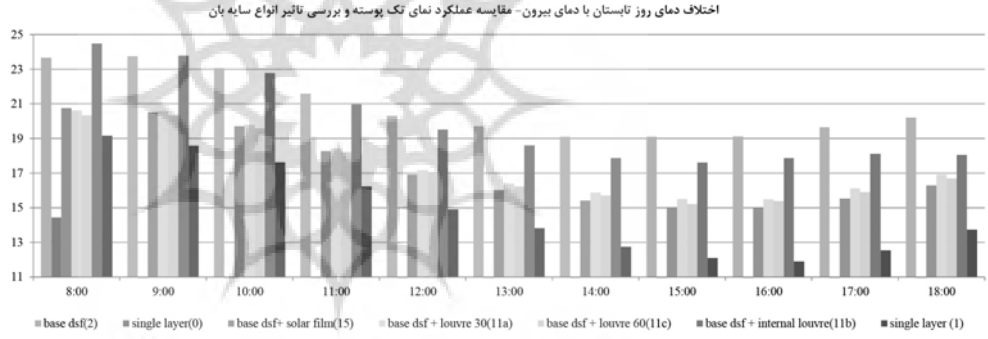
۵. نتایج

نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی در چند بخش اصلی قابل ارائه است. نخست نتایج مربوط به عملکرد نمای دوپوسته و گونه‌های مختلف آن بر آسایش حرارتی متصرفان در شرایط فاقد سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی بررسی می‌شود. اولین گام در این زمینه، مقایسهٔ نمای دوپوستهٔ پایه با نمای تک‌پوسته، و سپس بررسی اثر سایبان (تصویر ۶ ب) یا لایهٔ محافظ تابش بر ساختار شیشه است. سپس نتایج ناشی از تهویه در انواع نماهای دوپوسته بررسی می‌شود. درنهایت، با تکیه بر نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها، انواع گونه‌های پیکره‌بندی نماها دوپوسته مورد مطالعه قرار می‌گیرد. برای بررسی نتایج مفروضات فوق در زمینهٔ آسایش متصرفان، ابتدا شرایط فضای داخلی با فرض استفاده از نمای تک‌پوسته (با پنجرهٔ آلومینیوم حرارت‌شکن و مشخصات ذکرشده در جدول ۱ که از نظر مبحث نوزدهم انرژی مورد قبول و در محدودهٔ مطلوب عملکرد حرارتی پوستهٔ خارجی جای دارد) مدل‌سازی شد.

نتایج این مدل‌سازی نشان می‌دهد استفاده از یک نمای تک‌پوسته در زمستان موجب می‌شود که در حدود ۴۵درصد از کل ساعات کاری هفته متداول زمستانی، دما در حالت آسایش قرار گیرد و در سایر ساعات شرایط عدم آسایش برقرار باشد. استفاده از نمای دوپوسته این نسبت را از ۶۰ تا ۹۵درصد به شرایط آسایش تبدیل می‌کند و حتی در مواردی موجب بیش‌گرمایش در فضای داخلی می‌گردد. لیکن در تابستان در تمام ساعات اداری شرایط فضای داخلی حداقل بیش از ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد بالاتر از محدودهٔ آسایش است. به‌منظور نمایش عملکرد این

ساختارها مقدار تغییرات ناشی از هریک از گزینه‌ها به نسبت دمای هوای خارج، و نیز در مقایسه با نمای تک‌پوسته رایج قابل‌قبول و مطلوب از نظر مقاومت حرارتی، وفق مبحث نوزدهم مقررات ملی (گزینهٔ ۰)، محاسبه و نمایش داده شده است (تصویر ۷و۸).

تصویر ۷: دمای روز زمستانی، مقایسهٔ عملکرد نمای تک‌پوسته و بررسی تأثیر انواع سایبان در محدوده ساعات تصرف فضا



تصویر ۸: دمای روز تابستانی، مقایسهٔ عملکرد نمای تک‌پوسته و بررسی تأثیر انواع سایبان در محدودهٔ ساعات تصرف فضا

مطابق نتایج این بررسی در شرایط تابستانی، در تمام ساعات و در تمام گزینه‌های نمای دو پوسته، دمای محیط داخلی حداقل ۱۵ و حداکثر ۲۶ درجه بالاتر از محدودهٔ آسایش و در همهٔ موارد نیز بیش از دمای ناشی از نمای یک پوسته بوده و به‌واسطهٔ عدم سایه‌اندازی اجزا، حداکثر آن مربوط به نمای دوپوسته فاقد هر نوع سایبان و تقسیم‌بندی است. (تهویهٔ خودکار در ساعات کار پیش‌بینی شده است.)

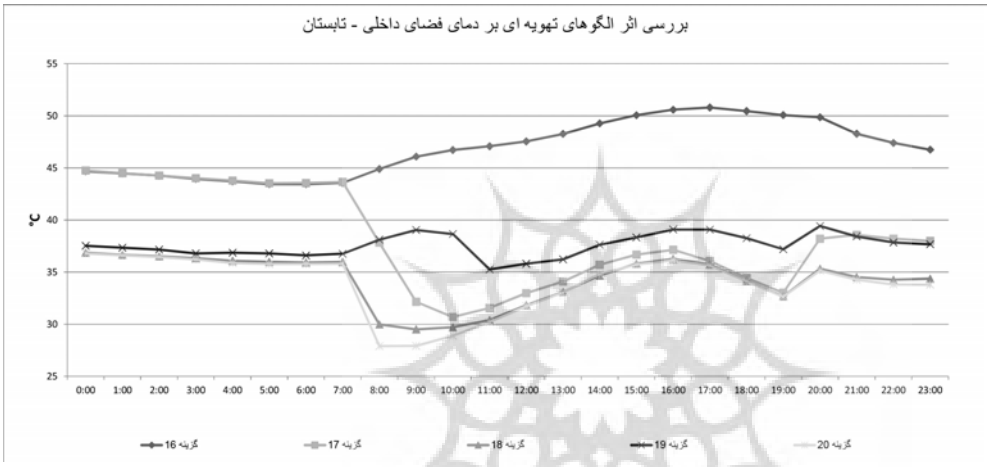
در شبیه‌سازی‌ها، تهویهٔ طبیعی براساس میزان بازشو پنجره‌ها، اختلاف فشار ناشی از باد و دمای هوا در خارج و داخل ساختمان و نه براساس تعویض هوا به میزان ثابت محاسبه شده است، درحالی‌که میزان نفوذ هوا در ساختمان به‌طور ثابت با توجه به سطح کیفیت ساخت ۰/۵ بار تعویض هوا در ساعت در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است مقدار تهویهٔ لحاظ‌شده که مطابق جدول ۱ استفاده شده، شامل دو بخش است: بخش اول نفوذ هوا که در اغلب موارد اجرایی بیش از مقدار پیش‌فرض مدل‌سازی است، و نیز مقدار تهویهٔ تعمدی که با لحاظ سطح بازشوهای بالا و پایین فضای حائل و سطح نما کمتر از ۰/۰۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. سطح بازشوهای تعمدی معادل دریچه‌های قابل کنترل بالا و پایین فضای حائل به مساحت ۸۵درصد سطح و نیز دریچه‌هایی به طول نما به عرض ۳۰ سانتی‌متر در طول طبقات در هر خوشه لحاظ شده است. علاوه بر ناچیز بودن این سرعت، می‌توان از نتایج

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

مطالعات قبلی نیز در لزوم و اهمیت بهره‌گیری از تهویه (Kuznik, Catalina et al. 2011) و نیز تأیید عدم اختلال در آسایش علی‌رغم مقادیر زیاد تهویه (Larsen, Rengifo et al. 2015) بهره جست.

به‌منظور بررسی اثر تهویه بر تنظیم شرایط داخلی تابستانی، ساختمان با نمای یکپارچه بدون تهویه (۱۶)، تهویهٔ طبیعی با درنظرگرفتن ۳۰ درصد بازشو در سطح نمای دوم (فضای حائل) در ساعت‌های کار (۱۷)، تهویهٔ طبیعی در فضای حائل با درنظرگرفتن بازشو در سطح نما و تهویهٔ شبانه (۱۸)، تهویهٔ طبیعی با درنظرگرفتن بازشوها در بالا و پایین فضای حائل (۱۹) و تهویهٔ مکانیکی (۲۰) همراه با تهویهٔ طبیعی داخلی مدل‌سازی شده است. ملاحظه می‌گردد که بهره‌گیری از تهویه می‌تواند شرایط داخلی را به شرایط آسایش نزدیک‌تر کند. نتایج این آزمون در تصویر ۹ نمایش داده شده است.



تصویر ۹: بررسی اثر الگوهای تهویه‌ای بر دمای فضای داخلی ـ تابستان (شرح گزینه‌ها در جدول ۲)

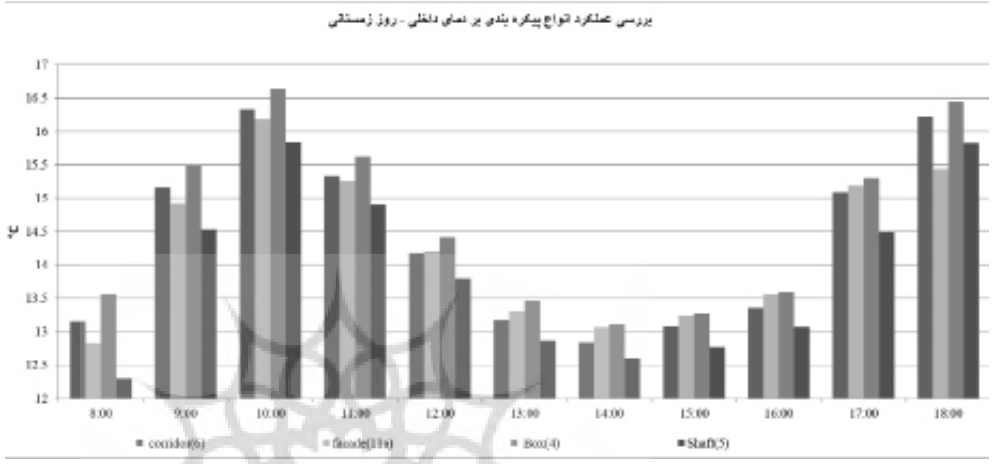
ملاحظه می‌شود که فاصلهٔ زیاد شرایط ایجادشدهٔ دمای فضای داخلی با محدودهٔ آسایش، با استفاده از تهویهٔ طبیعی از بالا و پایین فضای حائل در ساعات کار (که اثر آن به وضوح در محدودهٔ ساعات فوق، ۸:۰۰ تا ۱۸:۰۰، در منحنی‌های مربوط به تابستان دیده می‌شود) یا از طریق بازشوهای نمای داخلی و خارج (۳۰ درصد سطح) بین ۱۳ تا ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش به همراه دارد. همچنین تهویهٔ شبانه از دریچه‌های بالا و پایین فضای حائل بین ۷ تا ۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش دمای فضای داخلی به همراه آورده است. تأثیر تهویهٔ ترکیب تهویهٔ شبانه، و تهویهٔ فضای حائل از طریق بازشوهای ۳۰ درصدی نمای داخل و خارج در ساعات تصرف، نیز در دو گزینه بررسی شده است. در یکی از این گزینه‌ها نقطهٔ تنظیم دما برابر ۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد برای اضافه شدن تهویهٔ مکانیکی به شرایط فوق حداکثر در حدود دو درجهٔ سانتی‌گراد مؤثرتر بوده و درحالتی‌که چنین تهویهٔ مکانیکی به‌کار نرفته است، دما از ۲۹/۵ درجه تا ۳۰/۱ درجهٔ سانتی‌گراد تغییر کرده است.

به‌منظور بررسی اولویت ترکیبات مختلف پیکره‌بندی بر آسایش در فصول تابستان و زمستان، مدل‌سازی در دو هفتهٔ متداول این دو فصل انجام و نتایج گونه‌های مختلف پیکربندی در یکی از روزهای این هفته، به نسبت شرایط هوای خارج در تصویر ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده است. ازآنجاکه ایجاد نمای دوپوسته در تابستان قطعاً موجب بیش‌گرمایش خواهد بود، با برقرار کردن شرایط تهویه به‌صورت مکانیکی (با نرخ تهویه برابر ACH 20 معادل ۰٫۰۵ متر بر ثانیه در سطح بازشوهای نما) در شرایط تابستان نیز هنگامی که سیستم‌ها خاموش است مقدار این بیش‌گرمایش به حداقل رسیده و عملاً شرایطی نظیر شرایط هوای خارجی ساختمان را احاطه می‌کند. به این ترتیب علاوه بر پرهیز از بیش‌گرمایش، امکان بهره‌گیری از سایر مزایای نمای دوپوسته برای متصرفان میسر خواهد بود.

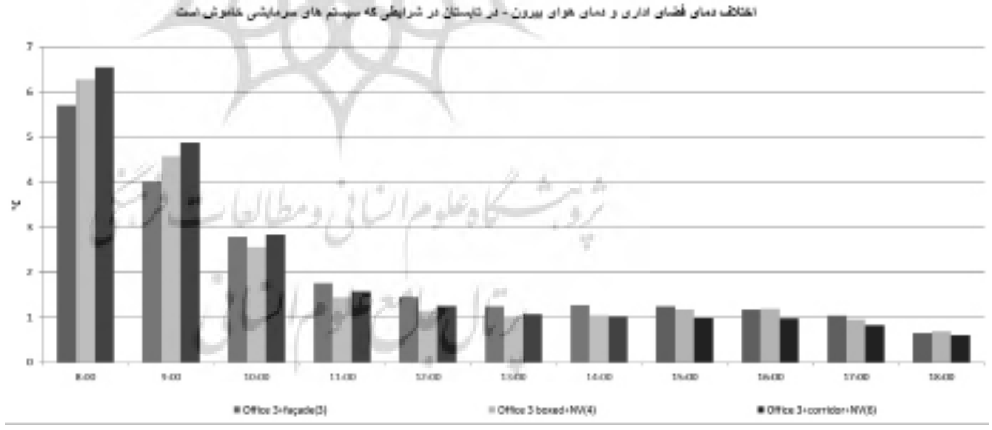
Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

طبعاً با توجه به نرخ تهویه، تفاوت چشمگیری در انواع پیکره‌بندی از دیدگاه شرایط حرارتی وجود ندارد.

ملاحظه می‌شود که بهره‌گیری از نمای دوپوسته در شرایطی که سیستم‌های تأسیساتی خاموش بوده، در ساعات تصرف فضا در زمستان حداقل ۱۲/۳ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش دما به همراه داشته و این مقدار حداکثر ۱۶/۶ درجهٔ سانتی‌گراد بوده است. در تمام گزینه‌ها در این حالت عملکرد پیکره‌بندی جعبه‌ای (box) بالاتر از سایر روش‌ها ارزیابی شده است.



تصویر ۱۰: دمای فضای اداری در زمستان در شرایطی که سیستم‌های گرمایشی خاموش است.



تصویر ۱۱: دمای فضای اداری در تابستان در شرایطی که سیستم‌های سرمایشی خاموش است.

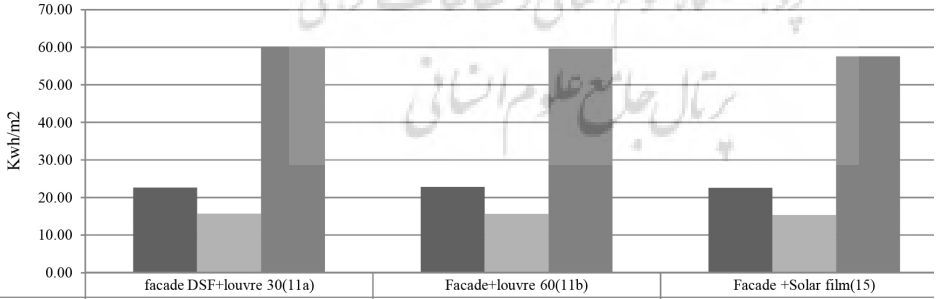
ملاحظه می‌شود اولاً عملکرد انواع نمای دوپوسته در نزدیک کردن شرایط محیط به شرایط آسایش در روز زمستانی مثبت و حداقل کارایی آن ۱/۸ درجهٔ سانتی‌گراد در ضعیف‌ترین مورد (نمای یکپارچه) تا ۷/۹ درجهٔ سانتی‌گراد در مؤثرترین سیستم (نمای جعبه‌ای) بوده است. در عملکرد زمستانی اختلاف قابل‌توجهی در نوع تیپولوژی انتخابی وجود دارد. عملکرد گونهٔ ستونی بیشترین تطابق را با شرایط آسایش دارد و شرایط نوع یکپارچه در حداقل دمای ایجادشده و نوع جعبه‌ای و با عملکرد نسبتاً مشابهی گونهٔ دالانی در حداکثر دمای داخل فضای اداری را ایجاد می‌کنند. مضافاً اینکه دو نوع اخیر در اغلب ساعات اداری دمای بیش از نیاز و فراتر از بازهٔ آسایش

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

فراهم می‌آورند. به‌علاوه چنان‌که در تصویر ۱۱ نیز مشخص است، در شرایطی که سیستم‌های سرمایشی خاموش باشد، ازآنجاکه سیستم تهویه برای پیشگیری از بیش‌گرمایش فضای حائل روشن است، روش‌های پیکربندی تفاوت معنی‌داری در دمای فضای داخلی ایجاد نخواهند کرد و تقریباً همهٔ گزینه‌ها (با اختلاف ۷/۳ درصد حداقل و حداکثر ۱۲/۸ درصد) در شرایط نزدیک به یکدیگر خواهند بود. همچنین دلیل دمای بالا در ساعات اولیهٔ صبح روشن شدن فن تهویه در ساعت ۸:۰۰ است که طبعاً با جلو کشیدن ساعت روشن شدن آن می‌توان این پدیده را نیز به‌سادگی اصلاح کرد و افزایش ناشی از بیش‌گرمایش، و به‌عبارتی اثر نامطلوب حرارتی هریک از گونه‌های پیکره‌بندی را با صرف انرژی ناچیز تهویه و بازکردن دریچه‌ها حذف نمود.

لیکن در تابستان و با استفاده از روش ذکرشده، تهویهٔ طبیعی فضای حائل در تمام ساعات و تهویهٔ مکانیکی در صورت نیاز در فضای حائل و فضای اداری در ساعات اداری در همهٔ حالات پیکربندی، شاهد کارامدی نمای دوپوسته خواهیم بود. تحت این شرایط که به نوعی لازمهٔ عملکرد مثبت نما در فصول گرم سال است، به‌جز در ساعات اولیهٔ روز که گزینهٔ ستونی[۲۱] عملکرد بهتری (در حدود حداکثر ۱/۵ درجهٔ سانتی‌گراد) دارد، در سایر ساعات تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مختلف پیکربندی ملاحظه نمی‌شود. این عملکرد مثبت عمدتاً منحصر بهره‌گیری از ویژگی‌های غیر حرارتی نماهای دوپوسته است؛ اگرچه بیشهٔ‌گرمایش آن در مقایسه با نماهای تک‌پوسته رایج وضعیت بهتری را به همراه خواهد داشت. چنان‌که در تصویر (۱۳) نیز نمایش داده شده، این مقدار کاهش در بهترین حالت مقدار سرمایش موردنیاز را در هر متر مربع از ۷۴/۷ کیلووات بر متر مربع (در نمای تک‌پوستهٔ مرسوم) به ۵۹/۰ کیلووات بر متر مربع (در نمای جعبه‌ای با سایبان ۳۰ درجه- گزینهٔ ۱۲) کاهش می‌دهد که مقدار قابل‌توجهی است.

بررسی نتایج مدل‌سازی فوق در زمینهٔ مصرف انرژی نشان می‌دهد استفاده از نماهای دوپوسته موجب کاهش مصرف انرژی خواهد بود. به‌علاوه نمودارها نشان می‌دهد استفاده از سایبان در پوستهٔ خارجی در مجموع بار روشنایی، گرمایشی و سرمایشی بهبود حاصل می‌نماید. ازاین‌رو به‌منظور مطالعهٔ زاویهٔ بهینه سایبان زوایای مختلف آزمون شد و درنهایت، با فیلم محافظ خورشیدی روی شیشه مقایسه گردید. تصویر ۱۲ حاصل این مقایسه را در دو زاویهٔ ۳۰ و ۶۰ درجه سایبان و بهره‌گیری از فیلم محافظ مذکور نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود عملکرد فیلم خورشیدی در هر سه موضوع سرمایش، گرمایش، و نیز روشنایی بهتر از سایبان است. لیکن به‌سبب آنکه این فیلم هزینهٔ قابل‌توجهی دارد و در حال حاضر چندان رایج نیست، گزینهٔ بعدی یعنی زاویهٔ ۳۰ درجه سایبان انتخاب و در شبیه‌سازی‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفته است.



	facade DSF+louvre 30(11a)	Facade+louvre 60(11b)	Facade +Solar film(15)
Lighting Kwh/m2	22.63	22.82	22.59
Heating Kwh/m2	15.70	15.64	15.38
Cooling Kwh/m2	59.99	59.68	57.59

تصویر ۱۲: مقایسهٔ عملکرد فیلم محافظ خورشیدی و سایبان خارجی با زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه بر مقدار انرژی سرمایشی و گرمایشی و روشنایی در یک نمای دوپوسته

به جهت امکان مقایسهٔ بهتر مقدار انرژی به‌صورت انرژی مصرفی در هر مترمربع بنا درآمده است. نمودار ۱۳ مقادیر مقایسه‌ای را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد حتی استفاده از ساده‌ترین و (نامناسب‌ترین) نمای دوپوسته در حدود ۲۸ کیلووات ساعت در هر متر مربع زیربنا کاهش مصرف به همراه دارد. این مقدار صرفه‌جویی در هر متر مربع بنا با استفاده از بهترین گزینهٔ طراحی به حدود دو برابر یعنی ۵۴ کیلووات ساعت می‌رسد.

۶. تحلیل نتایج

پیش از تحلیل نتایج گفتنی است که اعداد ذکرشده در نمودارها که توصیف کمّی انرژی ساختمان است، قابل قیاس با مصرف انرژی ساختمان در شرایط عینی نبوده و نباید جایگزین آن گردد. پارامترهای متعددی بر مصرف انرژی دخیل است؛ ازاین‌رو مصرف انرژی یک ساختمان در شرایط واقعی در ساختمان اداری مشابه ممکن است تا پنج برابر بیش از مقادیر ذکرشده باشد، اما ازآنجاکه داده‌های اولیه و مفروضات شبیه‌سازی در تمام موارد انجام‌شده یکسان بوده است، تأثیر این پارامترها خطایی در نتایج ایجاد نمی‌کند.

نمودارها نشان می‌دهد استفاده از نمای دوپوسته در اقلیم تهران در تمام انواع آن در دورهٔ زمستانی و در ساعات کاربری اداری، می‌تواند دمای فضای داخلی را در ساختمان مدل شده تا محدودهٔ آسایش و حتی بیش از آن افزایش دهد. طبعاً این بیش‌گرمایی را می‌توان از طریق ایجاد تهویهٔ طبیعی با استفاده از دریچه‌های قابل‌کنترل در نقطهٔ تنظیم مناسب کنترل کرد. ازاین‌رو عملکرد این نوع نما در شرایط زمستانی ساختمان مذکور مطلوب ارزیابی می‌گردد. در شرایط تابستانی استفاده از تهویهٔ طبیعی الزامی است. این کار به‌علاوهٔ استفاده از سایبان مناسب موجب خواهد شد تا شرایط فضای داخلی از شرایط استفاده از نمای تک‌پوسته (دوجداره با مشخصات قابل‌قبول از نظر مقررات ملی) مطلوب‌تر باشد.

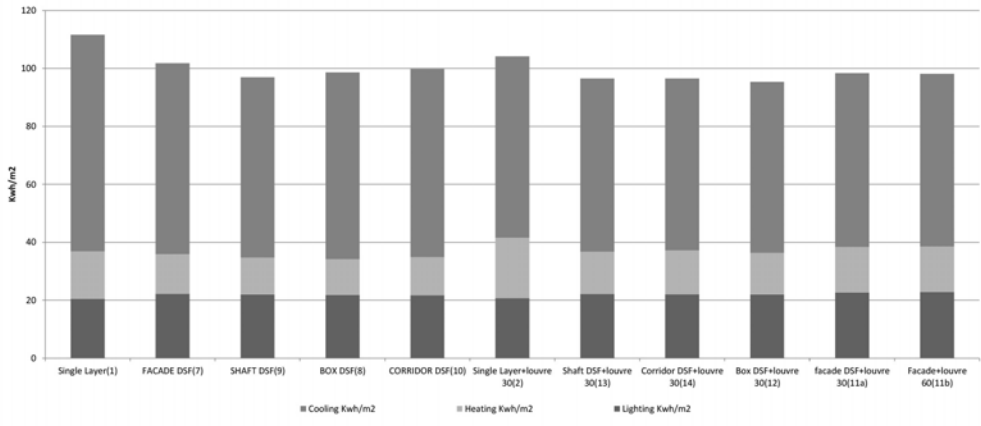
همچنین استفاده از تیپولوژی‌های مختلف نمای دوپوسته از منظر پیکربندی متناسب شرایط اقلیمی تهران در ساختمان اداری مطالعه‌شده نشان می‌دهد درصورتی‌که استفاده از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی مد نظر قرار نگیرد، مجموعاً گزینهٔ نمای ستونی در هر دو مورد زمستان و تابستان، عملکرد مطلوب‌تری دارد. گزینهٔ جعبه‌ای و یکپارچه در تابستان و گزینه‌های جعبه‌ای و دالانی در زمستان نیز در اولویت‌های بعدی خواهند بود. لیکن برای تدقیق این امر و تصمیم‌گیری نهایی لازم است بار انرژی ناشی از به‌کارگیری هریک از این سیستم‌ها در شرایط واقعی، روشن بودن سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و نیز با محاسبهٔ نور روز ورودی و تأثیر آن بر بار روشنایی بررسی گردد.

بررسی جزئی مقادیر کاهش ایجادشده در انرژی‌های مصرفی به تفکیک بار روشنایی، گرمایش و سرمایش نشان می‌دهد که اولاً اضافه کردن پوستهٔ دوم در تمام اشکال آن موجب افزایش بار روشنایی شده است. به‌علاوه اثر آن در افزایش بار روشنایی بیش از اثر اضافه کردن سایبان خارجی روی نمای یک پوسته است. همچنین اثر اضافه کردن همزمان سایبان خارجی و تقسیم‌کننده‌های افقی و عمودی در گزینهٔ جعبه‌ای بر افزایش قابل‌توجه بار روشنایی، در حدود ۱۲درصد نسبت به حالت جعبه‌ای بدون سایبان و حدود ۱۹درصد به نسبت حالت تک‌پوسته بدون سایبان، باید در این زمینه مدنظر قرار گیرد. به هر حال با توجه به لزوم استفاده از سایبان در نمای دوپوسته به جهت کاهش بار سرمایشی، پایین‌ترین بار روشنایی در نماهای دوپوسته مربوط به گزینهٔ ستونی همراه با سایبان خارجی با زاویهٔ ۳۰ درجه است.

ازسوی دیگر، ایجاد پوستهٔ دوم در تمام اشکال آن موجب کاهش بار گرمایشی است. حداقل این کاهش در حدود ۴درصد و مربوط به نمای یکپارچه با سایبان ۳۰ درجه و بیشترین کاهش مربوط به گزینهٔ جعبه‌ای فاقد سایبان، گزینهٔ ستونی بدون سایبان، و گزینهٔ جعبه‌ای مجهز به سایبان، به‌ترتیب با ۲۴، ۲۲ و ۲۱درصد کاهش بار گرمایشی است. به این ترتیب و با تکرار پی فرض لزوم استفاده از سایبان در نمای دوپوسته به جهت کاهش بار سرمایشی، پایین‌ترین بار گرمایشی در نماهای دوپوسته مربوط به گزینهٔ جعبه‌ای همراه با سایبان خارجی با زاویهٔ ۳۰ درجه است (تصویر ۱۳).

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017



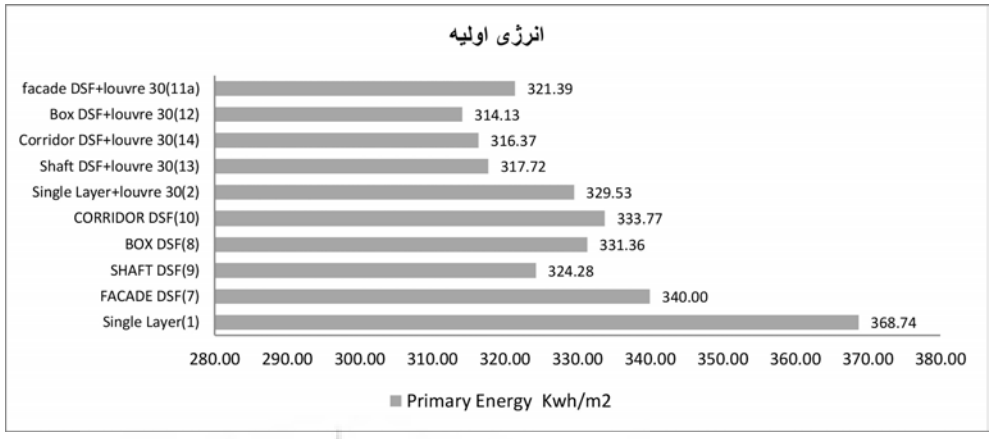
تصویر ۱۳: نیاز انرژی کل (گرمایش، سرمایش و روشنایی) گزینه‌های مختلف نمای دوپوسته

سرمایش در کاربری مورد نظر بزرگ‌ترین بار حرارتی و درنتیجه مؤثرترین عامل تصمیم‌گیری است. بررسی بار سرمایشی گزینه‌های فوق به وضوح نشان‌دهندهٔ دو مورد است. اولاً استفاده از نمای دوپوسته در بهبود شرایط و کاهش بار مؤثر بوده است. حداقل این تأثیر ۱۲درصد مربوط به نمای دوپوستهٔ یکپارچه و فاقد سایبان است. موضوع دوم بهبود واضح عملکرد سیستم نما با استفاده از سایبان است. طبیعتاً استفاده از نمای دوپوسته که مطابق آنچه ذکر شد، حتی در زمستان نیز می‌تواند بیش‌گرمایش به همراه داشته باشد به شرطی معنادار است که با استفاده از روش‌ها و ابزارهای مناسب بتوان بهرهٔ مناسب را از آن برد. از این دست روش‌ها که در مدل‌سازی نیز لحاظ شده، استفاده از سایبان و تهویه با نرخ مناسب است که از سرفصل‌های اصلی در نماهای دوپوسته محسوب می‌گردد. به همین سبب طبیعی است که نمونه‌های لحاظشده در مدل‌سازی دارای سایبان بوده و نیز عملکرد تهویه در آن‌ها بررسی شده است.

البته باید توجه داشت که علاوه بر درصد کاهش در بارهای روشنایی، گرمایش و سرمایش، مقدار کاهش نیز مهم است. چه اینکه بنا بر نقش هریک از این عوامل در انرژی نهایی مجموع، کاهش بار ناشی از ترکیب موارد فوق در تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینهٔ بهینه تعیین‌کننده خواهد بود. به عبارت دیگر تأثیرگذاری بار سرمایشی در اقلیم و کاربری مطالعه‌شده بیش از سایر موارد تأثیرگذار است؛ لذا تأثیر بیشتری در تصمیم‌گیری نهایی خواهد داشت.

برای آنکه امکان بررسی دقیق‌تر در کارایی سیستم‌های فوق از دیدگاه انرژی فراهم گردد، مقادیر فوق به انرژی اولیه[۲۲] تبدیل و مقایسه در این خصوص به‌صورت کیلووات ساعت بر متر مربع بنا صورت می‌پذیرد. به این ترتیب علاوه بر مقایسهٔ واضح‌تر امکان مقایسه با برچسب انرژی و نیز اعمال ضریب تبدیل انرژی الکتریکی میسر خواهد بود (تصویر ۱۴). نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیر مطلوب ایجاد نماهای دوپوسته به نسبت نمای رایج حداقل برابر ۷/۸ درصد و حداکثر برابر ۱۴/۸ درصد است.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017



نتیجه

نیاز به بهره‌گیری از روش‌های روزآمد کاهش مصرف انرژی و افزایش سطح آسایش متصرفان در ساختمان‌های امروزی، به‌ویژه در شهرهای بزرگ و کشورهای در حال توسعه، مستلزم شناخت دقیق عملکرد این روش‌ها و اطلاع از گونه‌ها و نیز نتایج به‌کارگیری آن‌هاست. عملکرد پیچیدهٔ روش‌های امروزی در شرایط مختلف اقلیمی، کاربردهای مختلف، سیاست‌های طراحی و عواملی نظیر آن، تصمیم‌گیری در این خصوص را پیچیده‌تر و پرمخاطره می‌سازد؛ زیرا بهره‌گیری از سیستم‌های پیچیده و ذاتاً متنوع نظیر نماهای دوپوسته که نتایج کاربردش در شرایط مختلف و بسته به گونهٔ انتخابی به غایت متنوع است، راهکاری به‌جز مطالعهٔ عمیق‌تر و حساسیت در انتخاب مبتنی بر آن مطالعه ندارد و هرگونه تقلید در آن می‌تواند نتیجهٔ کاملاً معکوس به همراه داشته باشد. این مقاله با تکیه بر حساسیت مذکور کوشیده است روش انتخاب نمای مطلوب از نظر عملکرد صرفه‌جویی در مصرف انرژی و نیز تأمین شرایط آسایش حرارتی و روشنایی فضای داخلی یک ساختمان اداری در حال ساخت را بازگو کند و نشان دهد چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌سازی و تصمیم‌گیری گام‌به‌گام در خصوص انتخاب نوع سیستم، روش تهویه، نوع سایبان، ساختار و نیز به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل طراحی مورد سؤال معمار درخصوص پیکره‌بندی فضای نمای دوپوسته، مقایسه مابین گزینه‌های طراحی انجام داد و ضمن تأیید عملکرد و ترجیح نمای دوپوسته در این ساختمان، نوع بهینهٔ آن را از میان گزینه‌های ممکن معرفی کرد. به این ترتیب نشان داده شده است که اولاً نمای دوپوسته در تمام انواع آن، نیاز به گرمایش را در ساعات کاری فضای اداری به‌صورت کامل برآورده می‌سازد و در دورهٔ سرمایش منوط به تجهیز به سیستم تهویه و سایبان مناسب شرایط به نسبت شرایط استفاده از نمای تک‌پوسته (دوجداره با مشخصات قابل‌قبول از نظر مقررات ملی) مطلوب‌تر است. به‌علاوه استفاده از نمای دوپوسته در این ساختمان حداقل ۲۸ و حداکثر ۵۴ کیلووات ساعت در هر متر مربع زیر بنا کاهش مصرف منابع انرژی به همراه داشته است. همچنین در شرایط عدم‌استفاده از سیستم‌های تأسیساتی گزینهٔ ستونی و درصورت استفاده از آن سیستم‌ها گزینهٔ جعبه‌ای به همراه سایبان‌های با زاویهٔ ۳۰ درجه مطابق طرح، بهترین عملکرد را به همراه دارد. این مقدار در مجموع انرژی‌های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی در ضعیف‌ترین و بهترین گزینه به نسبت نمای تک‌پوستهٔ دوجداره دارای سایبان خارجی، ۷/۷۹ تا ۱۴/۸۰ درصد کاهش در هر کیلووات ساعت انرژی مصرفی به‌ازای هر متر مربع به همراه دارد. گفتنی است نتایج حاصل براساس مقایسهٔ حالت‌های مختلف نمای دوپوسته با نمای تک‌لایه، و با درنظرگرفتن مجموعه‌ای از پیش‌فرض‌های ثابت در فرایند شبیه‌سازی انجام گرفته به‌دست آمده است. هدف، دستیابی به میزان مصرف انرژی و دمای دقیق در فضاهای داخلی نبوده، بلکه بررسی تأثیر تغییر عوامل مختلف (سایبان، پیکره‌بندی و

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

استراتژی تهویهٔ طبیعی) بر میزان مصرف انرژی و دمای داخلی فضاها مدنظر بوده است. بدیهی است برای دستیابی به نتایج دقیق لازم است مطالعات میدانی صورت گیرد، دمای داخلی فضاها و میزان مصرف انرژی در نمونه‌های ساخته‌شده در طول سال اندازه‌گیری و تحلیل شود و با اعداد حاصل از شبیه‌سازی نمونه‌ها کالیبره شده و سپس بهینه‌سازی صورت گیرد. ازآنجایی‌که بهره‌گیری از نماهای دوپوسته رویکردی نوین در ساختمان‌های اداری در داخل کشور است، بهره‌گیری از شبیه‌سازی انرژی در مراحل اولیهٔ طراحی برای ارزیابی ایده‌های مختلف طراحی می‌تواند گامی مؤثر در کاهش تراز مصرف انرژی در طرح نهایی باشد.

پی‌نوشت‌ها

1. active / Passive
2. Double Skin Facade – DSF
3. Multi Skin Facade
4. Box
5. Shaft
6. Corridor
7. Facade
8. Cavity
9. Opaque
10. Transys
11. Energy Plus
12. Air Flow Network
13. Computer Fluid Dynamics
14. Design Builder

۱۵. توضیح اینکه حداقل این فاصله به‌صورت معمول برای تمهید اقدامات تعمیر و نگهداری نمای ساختمان در حدود ۶۰ سانتی‌متر است لیکن برای حفظ تناسبات، فرم و نیز تسهیل تردد با توجه به استقرار سایبان‌ها، ابعاد اجزا و وادارهای شیشه در پیشنهاد فنی مجری تخصصی نما، و با نظر طراح معمار این مقدار به حداقل ۸۰ سانتی‌متر افزایش یافت. مطابق تصویر این مقدار در امتداد فاصلهٔ حداکثری است که علاوه بر موارد فوق، متأثر از محدودیت‌های سازه‌ای پیش‌بینی شده است.

۱۶. Air Change per Hour نشان‌دهندهٔ مقدار تعویض هوا (تهویه اعم از تعمدی یا نفوذ هوا) برحسب تعداد دفعات تعویض هوای فضا در ساعت.

17. Window to Wall Ratio
18. http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=45704&refer=&units=metric
19. www.degreedays.net (using temperature data from www.wunderground.com)

۲۰. عمق فضای حائل به خواست طراح و بنا به محدودیت‌های وی، در تمام نمونه‌ها ثابت و برابر حداقل ۸۰ و حداکثر ۱۶۰ سانتی‌متر در دو بخش نماست (تصویر ۴ ب).

21. Shaft
22. Primary

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

منابع

- سراج، فاطمه، مهدی‌زاده، محمدمهدی، دانش و هانیه صنایعیان. ۱۳۹۳. تأثیر جداره‌های لایه درونی و بیرونی نماهای دوپوسته بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌های اداری و آموزشی. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۶، ص۱۸۰ـ۱۹۱.

ـ قنبران، عبدالحمید و امین حسین‌پور. ۱۳۹۲. بررسی رفتار حرارتی نماهای دوپوسته در اقلیم شهر تهران. *معماری و شهرسازی پایدار*، ۱۳ (۴): ص۴۳ـ۵۳.

ـ معرفت، مهدی، عزیز عظیمی و دیگران. ۱۳۸۹. تحلیل یک سوله صنعتی با نمای دوپوسته در تهران. *همایش ملی تهویه و بهداشت صنعتی*. تهران: دانشگاه صنعتی شریف.

ـ Afifi, E.M. 1994. Thermal performance of an integrated double-envelope building model for hot arid climates.

ـ Alibaba, H.Z. and M.B. Ozdeniz. 2011. Thermal comfort of multiple-skin facades in warmclimate offices. Scientific Research and Essays, 6(19): p. 4065-4078.

ـ Altan, H., et al., 2014. INDOOR ENVIRONMENT IN A UNIVERSITY OFFICE BUILDING WITH A DOUBLE-SKIN FACADE, in Building Simulation and Optimization. England.

ـ Azarbayjani, M. 2014. Comparative Performance Evaluation of a Multistory Double Skin Façade Building in Humid Continental Climate. in ARCC Conference Repository.

ـ Baldinelli, G. 2009. Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system. Building and Environment, 44(6): p. 1107-1118.

ـ Ballestini, G., et al., 2005. Possibilities and limitations of natural ventilation in restored industrial archaeology buildings with a double-skin façade in Mediterranean climates. Building and Environment, 40(7): p. 983-995.

ـ Barbosa, S. and K. Ip, 2014. Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40: p. 1019-1029.

ـ (BBRI), B.B.R.I., 2002. Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades. Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services: Belgian Building Research Institute.

ـ Brandl, T., et al., 2006. Numerical Simulation of the Thermal Behavior of Double- Skin Façades with Diverse Sunscreen Configurations, in International Conference on "Recent Advances in Heat Transfer". India: Coimbatore.

ـ Chan, A., et al., 2009. Investigation on energy performance of double skin facade in Hong Kong. Energy and Buildings, 41(11): p. 1135-1142.

ـ Ding, W., Y. Hasemi, and T. Yamada. 2005. Natural ventilation performance of a double-skin façade with a solar chimney. Energy and Buildings, 37(4): p. 411-418.

ـ Energy, U.S.D.o. 2015. Engineering Reference. The Reference to EnergyPlus Calculations.

ـ Fallahi, A., F. Haghighat, and H. Elsadi. 2010. Energy performance assessment of double-skin facade with thermal mass. Energy and Buildings, 42(9): p. 1499-1509.

ـ Flores Larsen, S., L. Rengifo, and C. Filippín. 2015. Double skin glazed façades in sunny Mediterranean climates. Energy and Buildings, 102: p. 18-31.

ـ Gavan, V., et al., 2010. Experimental study of a mechanically ventilated double-skin façade with venetian sun-shading device: A full-scale investigation in controlled environment. Solar Energy, 84(2):

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

p. 183-195.
_ Ghoreishi, A. 2015. Assessment of thermal mass property for energy efficiency and thermal comfort in concrete office buildings. University of Illinois at Urbana-Champaign.
_ Goia, F., et al., 2014. Energy performance assessment of and advanced integrated façade through experimental data analysis. Energy Procedia, 48: p. 1262-1271.
_ Gratia, E. and A. De Herde. 2004. Natural cooling strategies efficiency in an office building with a double-skin façade. Energy and buildings, 36(11): p. 1139-1152.
_ Gratia, E. and A. De Herde. 2007.The most efficient position of shading devices in a double-skin facade. Energy and Buildings, 39(3): p. 364-373.
_ Hashemi, N., R. Fayaz, and M. Sarshar. 2010. Thermal behaviour of a ventilated double skin facade in hot arid climate. Energy and Buildings, 42(10): p. 1823-1832.
_ Hamza, N. and C. Underwood. 2005. CFD assisted modeling of double skin facades in hot arid areas. in Proceedings of 9th International Building Performance Simulation Association Conference (IPBSA), Montreal, Canada.
_ Hensen, J., M. Bartak, and F. Drkal. 2002. Modeling and simulation of a double-skin façade system. ASHRAE Transactions, 108(2): p. 1251-1259.
_ Hollingsbee, T., J. Kooymans, and T. McDonnell. 2009. Designing the Right Double Skin Facade. in Structures Congress.
_ Kinnane, O. and T. Prendergast, 2014. Assessment of the double-skin façade passive thermal buffer effect, in 30th INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE. CEPT University, Ahmedabad.
_ Kirimtat, A., et al., 2016. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53: p. 23-49.
_ Kragh, M. and P.A. Components. 2001. Monitoring of Advanced Facades and Environmental Systems. whole-life performance of facades University of Bath, CWCT.
_ Kragh, M., M. Colombari, and M. Zobec. 2002. Advanced facades and HVAC systems: preliminary results of full-scale monitoring. Energy Efficient and Healthy Buildings in Sustainable Cities.
_ Kuznik, F., et al., 2011. Numerical modelling of combined heat transfers in a double skin façade–Full-scale laboratory experiment validation. Applied thermal engineering, 31(14): p. 3043-3054.
_ Jensen, R.L., O. Kalyanova, and P. Heiselberg. 2008. Modeling a Naturally Ventilated Double Skin Façade with a Building Thermal Simulation Program, in Building Physics, 8th Nordic Symposium.
_ Ji, Y., et al., 2008. CFD modelling of naturally ventilated double-skin facades with Venetian blinds. Journal of Building Performance Simulation, 1(3): p. 185-196.
_ Jiru, T.E. and F. Haghighat. 2008. Modeling ventilated double skin façade—A zonal approach. Energy and Buildings, 40(8): p. 1567-1576.
_ Joe, J., et al., 2014. Optimal design of a multi-story double skin facade. Energy and Buildings, 76: p. 143-150.
_ Larsen, S.F., L. Rengifo, and C. Filippín. 2015. DOUBLE SKIN GLAZED FAÇADES IN SUNNY MEDITERRANEAN CLIMATES. Energy and Buildings.
_ Lee, E., et al., 2002. High-performance commercial building facades. Lawrence Berkeley National

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

Laboratory.

_ Leon Gaillard, S.G.-J., Christophe Menezo, Herve Pabiou. 2014. Experimental evaluation of a naturally ventilated PV double-skin building envelope in real operating conditions. Solar Energy, Elsevier, 103: p. 223-241.

_ Lixing, G. 2007. Airflow Network Modeling in EnergyPlus, in 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition. China: Beijing.

_ Manz, H., A. Schaelin, and H. Simmler. 2004. Airflow patterns and thermal behavior of mechanically ventilated glass double façades. Building and Environment, 39(9): p. 1023-1033.

_ Mikkel Kragh. 2001. Monitoring of Advanced Facades, in The whole-life performance of facades. University of Bath, Bath, UK.

_ Mulyadi, R. 2012. Study on naturally ventilated double-skin facade in hot and humid climate.

_ Nasrollahi, N. and M. Salehi. 2015. Performance enhancement of double skin facades in hot and dry climates using wind parameters. Renewable Energy, 83: p. 1-12.

_ Oesterle, L., H. Lutz, and I.P. Double-Skin Façades. 2001, Munich. Prestel Verlag.

_ Omidiani, A. 2015. Evaluation of the double skin façade in Warm and Humid climate, Mumbai. International Journal of Scientific and Research Publications, 5(4).

_ Papadaki, N., S. Papantoniou, and D. Kolokotsa. 2014. A parametric study of the energy performance of double-skin façades in climatic conditions of Crete, Greece. International Journal of Low-Carbon Technologies, 9(4): p. 296-304.

_ Pasquay, T. 2004. Natural ventilation in high-rise buildings with double facades, saving or waste of energy. Energy and Buildings, 36(4): p. 381-389.

_ Poirazis, H. 2006. Double skin façades: a literature review. IEA SHC Task, 34.

_ Radhi, H., S. Sharples, and F. Fikiry. 2013. Will multi-facade systems reduce cooling energy in fully glazed buildings? A scoping study of UAE buildings. Energy and Buildings, 56: p. 179-188.

_ Ratia, E. and A. De Herde. 2004. Optimal operation of a south double-skin facade. Energy and Buildings, 36(1): p. 41-60.

_ Rezaee, R., et al., 2011. Decision making for the optimization of double-skin façade for offices.

_ Saelens, D. 2002. Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades.

_ Shameri, M., et al., 2011. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3): p. 1468-1475.

_ Stec, W. and A. Van Paassen. 2003. Defining the performance of the double skin facade with the use of the simulation model. in Proceedings of Building Simulation.

_ Straube, J.F. and R. van Straaten. 2001. The technical merit of double facades for office buildings in cool humid climates. White Paper. University of Waterloo. Canada.

_ Torres, M., et al., 2007. Double skin facades-Cavity and Exterior openings Dimensions for Saving energy on Mediterranean climate. IBPSA Proceedings of Building Simulation, p. 198-20.

_ Uuttu, S. 2001. Study of current structures in double-skin facades. MSc thesis in Structural Engineering and Building Physics. Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki University of Technology (HUT), Finland. Web address: http://www. hut. fi/Units/Civil/Steel/SINI2. PDF.

_ Wong, P., D. Prasad, and M. Behnia. 2008. A new type of double-skin façade configuration for the hot and humid climate. Energy and Buildings, 40(10): p. 1941-1945.
_ Zhou, J., Y. Chen, and S. Fang. 2009. Ventilated double skin facades in hot summer and cold-winter zones in China. Journal of Hunan University Natural Sciences, 36: p. 160-2.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 15:03 +0430 on Monday May 1st 2017

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی