

بررسی ضرورت آموزش جامع شبیه‌سازی انرژی به دانشجویان کارشناسی ارشد معماری

رزا وکیلی نژاد^۱

(دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۹/۲۸)، (پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۴/۲۶)

DOI: 10.22047/ijee.2019.163504.1603

چکیده: شبیه‌سازی انرژی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل انرژی در محیط ساختمان و معماری است که در دهه اخیر در کشور ما با اقبال فراوان دانشجویان و استادان این حوزه مواجه شده است. در حال حاضر، این آموزش به صورت رسمی و غیررسمی در دانشکده‌های معماری به‌ویژه در مقاطع کارشناسی ارشد صورت می‌گیرد. گرچه کاربرد شبیه‌سازی انرژی ساختمان مزایای بسیاری دارد، با توجه به پیچیدگی‌های این ابزارها، دستیابی به نتایج با دقت و صحت مطلوب، نیازمند توجه به پارامترهایی معین است. متأسفانه، در کشور ما در خصوص روش و کیفیت آموزش شبیه‌سازی انرژی ساختمان و محیط شهری به دانشجویان رشته معماری و شهرسازی پژوهشی انجام نشده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی شرایط موجود در آموزش شبیه‌سازی انرژی ساختمان و محیط شهری و با استفاده از روش پژوهش کیفی صورت گرفته و میزان آگاهی دانشجویان در زمینه مهم‌ترین مسائل مرتبط تحلیل شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها از مصاحبه و پرسشنامه نیمه‌باز استفاده شد و جامعه آماری دانشجویان و دانش‌آموختگان کارشناسی ارشد معماری در چهار دانشگاه کشور بودند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده میزان آگاهی اندک دانشجویان از مقوله‌های اساسی شبیه‌سازی انرژی است. براساس نتایج، میزان توجه دانشجویان به مسائل اساسی در شبیه‌سازی انرژی ساختمان در مواردی چون دانش پایه، اعتبارسنجی درونی و میزان عدم قطعیت نتایج اندک است.

واژگان کلیدی: آموزش معماری، شبیه‌سازی انرژی، نرم افزارهای شبیه‌سازی، کارشناسی ارشد، آموزش شبیه‌سازی

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، افزایش میزان مصرف انرژی، محدودیت منابع سوخت فسیلی و بحران‌های زیست‌محیطی از مهم‌ترین دلایل توجه به مصرف انرژی در حیطه ساختمان و شهر بوده است. مصرف حدود نیمی از انرژی جهان در صنعت ساختمان ضرورت توجه به این مسئله را دوچندان می‌کند. در منابع جهانی دوراهکار کلی در این زمینه پیشنهاد شده است: نخست جلوگیری از اتلاف و بهینه‌سازی مصرف انرژی و دوم بهره‌برداری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر^۱. پیش از ارائه راهکار در زمینه کاهش میزان مصرف انرژی، شناخت نحوه عملکرد حرارتی و روشنایی ساختمان و به‌عبارتی، ممیزی انرژی ساختمان یا طرح پیشنهادی باید انجام شود. سنجش نحوه مصرف انرژی ساختمان از راه‌های مختلفی چون انجام دادن محاسبات سنتی، استفاده از آیین‌نامه‌ها و راهنماهای طراحی، انجام دادن آزمایش و ساخت ماکت امکان‌پذیر است. روش‌های محاسبات سنتی و آیین‌نامه‌ها با محدودیت‌های بسیار همراه هستند، گرچه سیستم‌های جدید ارزیابی عملکرد ساختمان همچون لید^۲ و بریم^۳ نیز ایجاد شده‌اند. روش‌های انجام دادن آزمایش و ساخت ماکت نیز نیازمند صرف هزینه و زمان بسیار است. بدین ترتیب، یکی از متداول‌ترین راهکارها استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی است. گرچه نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی در سایر رشته‌های مهندسی کاربرد دارد، اما در سال‌های اخیر کاربرد آنها در رشته معماری و طراحی ساختمان بسیار رایج شده است. به اعتقاد پژوهشگران شبیه‌سازی ساختمان می‌تواند در بینش دانشجویان درباره پدیده‌های پیچیده فیزیک ساختمان مؤثر باشد (Altomonte et al., 2012; Altomonte, Rutherford & Wilson, 2014). استفاده از شبیه‌سازی انرژی با توجه به سهولت دسترسی و صرفه‌جویی در زمان و هزینه در بسیاری موارد منطقی است. در پژوهش‌هایی بر ضرورت آموزش صحیح مفاهیم و ابزارهای لازم برای دستیابی به پایداری در طراحی معماری تأکید شده است (Reinhart et al., 2012). علاوه بر این، گسترش روزافزون انواع نرم‌افزارها با قابلیت‌های متنوع سبب رواج استفاده از آنها در میان دانشجویان و دانش‌آموختگان رشته‌های مرتبط با ساختمان و طراحی شهری شده است. طراحی پوسته ساختمان و مصرف انرژی بر مبنای اصول ترکیبی معماری و شبیه‌سازی انرژی به‌عنوان روشی برای دستیابی به طراحی کارآمد انرژی انجام می‌شود که امکان تغییرات طرح را در صورت نارضایتی از کارایی انرژی فراهم می‌کند. روش‌های شبیه‌سازی، محیطی کنترل شده را میسر می‌کنند که در آن هر پارامتر می‌تواند به‌صورت جداگانه تغییر داده و بهینه شود. با این حال، صحت و دقت نرم‌افزار و نیز مهارت کاربر آن باید اثبات شود (Hammad & Abu-Hijleh, 2010).

1- http://www.architecture2030.org/building_sector, accessed on 16 September 2018

2- LEED

3- BREEAM

برای ترکیب معماری با طراحی محیطی رویکردهای مختلفی وجود دارد. در پژوهشی یکپارچه سازی دانش محیطی در فرایند طراحی در پروژه دانشجویان سال آخر کارشناسی بررسی شده است. طبق نتایج، کاربرد ابزارهای تحلیل و شبیه سازی طراحی محیطی خلاق را تقویت می کند، گرچه تمرین اولیه و پیش زمینه تئوری طراحی محیطی در توانایی دانشجویان برای خلق معماری بر اساس این دانش پیچیده ضروری است (Natanian & Aleksandrowicz, 2018).

در حال حاضر، آموزش کاربرد نرم افزارهای انرژی در بسیاری از دانشکده های معماری کشور به صورت رسمی (واحد درسی) و غیررسمی (دوره های آزاد) صورت می گیرد. در سرفصل دوره ها و گرایش های معماری مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری فقط درس مرتبط با این حوزه در گرایش کارشناسی ارشد معماری و انرژی تدوین شده است. این واحد درسی به صورت درس اختیاری با عنوان «شبیه سازی انرژی در ساختمان و کاربرد نرم افزار» به صورت یک واحد نظری و یک واحد عملی در نظر گرفته شده است. سرفصل پیشنهادی شامل کلیات است و نکات اساسی در شبیه سازی نرم افزاری انرژی ساختمان را شامل نمی شود.

از طرفی، برای دستیابی به نتایج صحیح در کاربرد نرم افزارها باید عوامل متعددی در نظر گرفته شود که از جمله انتخاب نرم افزار مناسب، شناسایی عوامل مؤثر، دانش پایه و توانایی تحلیل رامی توان نام برد. کاربرد نرم افزارها بدون درک کافی از نحوه عملکرد آنها و اطمینان به صحت نتایج خطرآفرین است و می تواند سبب ساخت ساختمان هایی ناکارآمد باشد. انتخاب ناآگاهانه نرم افزار، نبود شناخت قابلیت ها و نقاط قوت و ضعف نرم افزارها و توانمند نبودن کاربر در تجزیه و تحلیل نتایج می تواند سبب اتخاذ تصمیم و راهبرد نادرست طراحی شود.

در زمینه آموزش توسعه پایدار و مسائل مرتبط با آن در رشته معماری در کشور ایران پژوهش هایی انجام شده است. در این پژوهش ها برای آموزش پایداری در معماری، افزایش آگاهی متخصصان، تغییر در شیوه آموزش و طراحی معماری پایدار و نیز استفاده از فناوری های نوین پیشنهادهایی شده است. بررسی دو مدل آموزش پایداری و آموزش معماری در ایران نشان می دهد که برنامه مصوب ایستای آموزش فعلی معماری در کشور ایران ظرف مناسبی برای آموزش پایداری نیست و به برنامه ای منعطف و نظام مند با هدف های دقیق و برنامه ریزی و ارزیابی نیاز است (Azizi, 2010).

در پژوهشی آموزش پایداری در رشته معماری در کشورهای ایران و استرالیا مقایسه شده است (Taleghani et al., 2011). در پژوهش دیگری با هدف ارائه راهکارهایی به منظور نهادینه شدن مفاهیم مرتبط با معماری پایدار در نظام آموزش عالی، به مشکلاتی چون نظام آموزشی سنتی و نبود حمایت دروس فنی از طرح های معماری اشاره و پیشنهادهایی مانند بازنگری در تدوین سرفصل های دروس رشته معماری و توجه به مبحث پایداری در سنجش طرح های دانشجویان ارائه شده است (Kurdjamshidi & Poursahid, 2011). در پژوهشی در خصوص مسئله عدم ارتقای صلاحیت های اعضای

هیئت علمی برای آموزش پایداری و ارائه راهکارهایی برای بهبود آن بررسی شده است. راهکارهای پیشنهادی شامل در نظر گرفتن دو واحد درسی اجباری برای دانشجویان تازه‌وارد در خصوص آشنایی با مفاهیم پایه صلاحیت‌های پایداری، برگزاری دوره‌های آموزشی مهارتی در خصوص راهبردهای مناسب آموزش پایداری ویژه اعضای هیئت علمی، بازنگری در محتوای دروس تخصصی الزامی رشته‌های مختلف آموزشی، برگزاری جلسات گفت‌وگوی راهبردی، تغییر نظام ارتقای اعضای هیئت علمی از طریق در نظر گرفتن امتیازهای ویژه برای تحقیقات مبتنی بر پایداری و تغییر نظام ارتقا مبتنی بر فرایندهای آموزشی هستند (Faham & Rajabi Nahuji, 2014). در پژوهشی دیگر با بررسی محتوا، برنامه‌ریزی و روش‌های آموزشی رشته معماری، استفاده از نظام‌های ارزیابی، بازآموزی و روزآمدی و تسلط به فناوری روز پیشنهاد شده است (Tahsildust & Zomorodian, 015).

شایان ذکر است که پژوهش‌های یادشده به صورت توصیفی هستند و در آنها مطالب کلی بیان و راهکارهای کلان در زمینه آموزش معماری پایدار و مسائل زیست‌محیطی ارائه شده است. در تنها بررسی انجام شده درباره آموزش نرم‌افزارهای انرژی در برنامه درسی در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد معماری در کشور ایران، با روش توصیفی - تحلیلی به مزایا و آسیب‌های استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در آموزش معماری پرداخته شده است. طبق نتایج این پژوهش، تأکید بیش از حد بر ابزار شبیه‌سازی ممکن است در بروز خلاقیت دانشجویان اثر منفی بگذارد. علاوه بر این، در صورت نبود دانش و مهارت کاربران برای استفاده از نرم‌افزارها، در تحلیل خروجی‌های نرم‌افزار اشتباه رخ می‌دهد و نتایج را غیر قابل استناد می‌سازد (Fakhari, 2014).

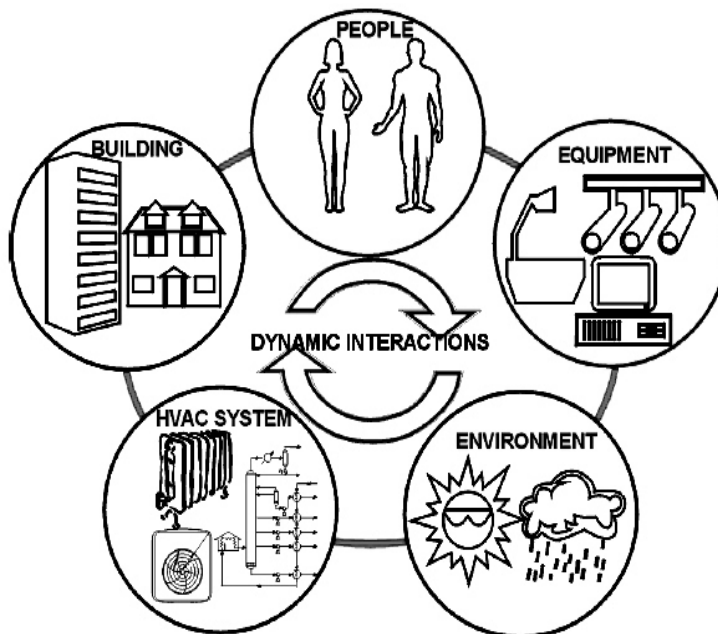
پژوهش حاضر با هدف بررسی شرایط فعلی آموزش شبیه‌سازی انرژی ساختمان و محیط شهری در مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه‌های کشور انجام و در این خصوص، تناسب برنامه درسی مصوب در گرایش معماری و انرژی ارزیابی شده است. روش پژوهش کیفی بود و برای جمع‌آوری داده‌ها از مصاحبه و پرسشنامه نیمه باز استفاده شد.

۲. شبیه‌سازی انرژی در معماری و طراحی شهری

کاربرد شبیه‌سازی در حوزه معماری ممکن است با اهداف مختلف صورت گیرد که از جمله مهم‌ترین آنها بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مورد طراحی است. علاوه بر این، برای بررسی وضعیت موجود و ممیزی انرژی در ساختمان‌های فعلی نیز می‌توان از شبیه‌سازی انرژی استفاده کرد. در کلیه موارد ذکر شده برای دستیابی به نتایج معتبر و قابل اطمینان ضروری است که الزاماتی در نظر گرفته شود. در غیر این صورت، علاوه بر محاسبات اشتباه که به طراحی نامناسب منجر می‌شود، امکان به خطا رفتن در توجه بیش از حد به یک مسئله و کم اهمیت شدن عوامل مؤثر در طراحی وجود دارد (Fakhari, 2014).

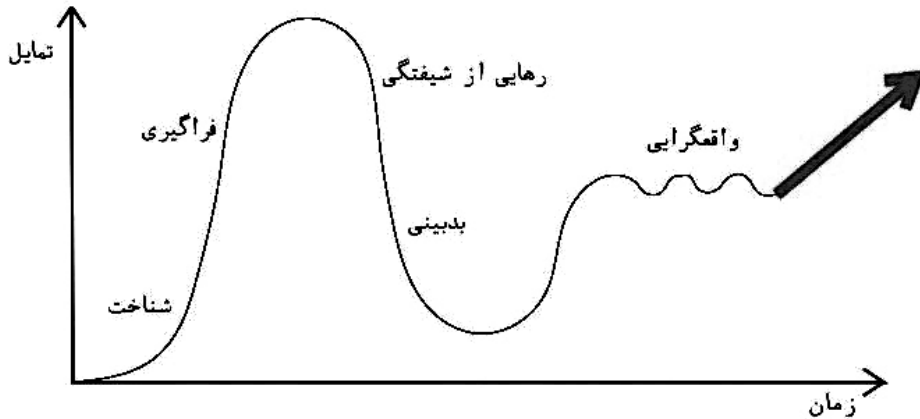
شبیه‌سازی رایانه‌ای انرژی به دلایل مختلف از جمله هزینه کم، قدرت بالای محاسبه و گسترش نرم‌افزارهای شبیه‌سازی که می‌تواند به دقت عملکرد زندگی واقعی ساختمان‌ها را پیش‌بینی کند، بسیار مورد اقبال قرار گرفته است. در چند سال گذشته استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز در طراحی ساختمان‌ها در مقیاس جهانی افزایش یافته است. هدف از شبیه‌سازی ساختمان ایجاد شرایطی مشابه واقعیت در دنیای مجازی با استفاده از مدل‌های ریاضی است که از مهم‌ترین کارکردهای آن مقایسه میان دو یا چند گزینه طراحی است (Zhai, 2006).

در طراحی یک ساختمان کارآمد انرژی تعداد عوامل مؤثر و نیز مداخله‌گر بسیاری وجود دارد که در شکل ۱ نشان داده شده است (Hensen & Radošević 2004). مطابق شکل ۱ هر ساختمان به مثابه سیستمی متشکل از تعاملات دینامیک میان پنج زیرسیستم پوسته ساختمان، محیط، وسایل مکانیکی، تجهیزات و افراد کاربر است. با هر یک از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی با تمرکز بر یک یا چند زمینه مؤثر می‌توان در ایجاد شرایط مشابه دنیای واقعی در محیط نرم‌افزار تلاش کرد و با توجه به انجام دادن محاسبات به وسیله رایانه، بر خلاف روش‌های دیگر ارزیابی انرژی (محاسبات دستی و آزمایش)، می‌توان تأثیر همزمان چندین عامل از زمینه‌های مختلف را بررسی کرد. هنسن (Hensen, 2002) در کنار دشواری‌های کاربرد نرم‌افزارها، مزایای متعددی نیز برای شبیه‌سازی بیان کرده که مهم‌ترین آنها پیش‌بینی رفتارهای پیچیده ساختمان پیش از ساخت است.



شکل ۱: زیرساختارهای دینامیک در رابطه با ساختمان (Hensen, 2004)

در حال حاضر، با توجه به صرفه‌جویی‌های زیاد در هزینه و زمان، از استفاده از شبیه‌سازی انرژی گریزی نیست، اما کاربرد صحیح ابزارهای شبیه‌سازی پیش‌نیازهایی را می‌طلبد که نشان‌دهنده بینش کاربر به ابزار مورد استفاده است. میزان علاقه و تمایل به کاربرد شبیه‌سازی در طراحی ساختمان از سال ۱۹۷۰ تا آغاز هزاره سوم مطابق با شکل ۲ تغییر کرده است. طبق این شکل تمایل به کاربرد نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در طراحی ساختمان با توجه به زمان متغیر بوده است، به‌گونه‌ای که در مراحل اولیه تولید نرم‌افزارها این تمایل اندک بوده است و پس از گذشت زمان و فراگیری بیشتر آنها توسط افراد، علاقه به کاربرد آنها به اوج می‌رسد. با گذشت زمان، از میزان شیفتگی افراد به نرم‌افزارها کاسته شده و به تدریج در مراحل بعدی با شروع بدبینی به نرم‌افزارها به شدت کاهش یافته است. در نهایت، در ابتدای هزاره سوم و با گذشت مدت زمانی طولانی دیدگاه افراد درباره نتایج نرم‌افزارها متعادل شده و به سمت واقعگرایی رفته است. اکنون زمانی است که با کاربرد این فناوری در طراحی ساختمان‌هایی با عملکرد مطلوب، سطح واقعگرایی در دیدگاه موجود در خصوص نرم‌افزارها افزایش می‌یابد (Hensen, 2002) که فلش آبی در شکل این مفهوم را نشان می‌دهد. انواع شبیه‌سازی انرژی معماری و نرم‌افزارهای مرتبط با آنها را می‌توان با توجه به حوزه‌های مختلف به شبیه‌سازی‌های سنجش حرارت، باد، نور و انرژی‌های تجدیدپذیر تقسیم کرد. بنابراین، انتخاب ابزار مناسب، انجام دادن صحیح شبیه‌سازی و دستیابی به نتایج مطمئن مستلزم درک صحیح کاربر از رابطه ساختمان و اثرهای محیطی آن است.



شکل ۲: میزان علاقه و تمایل به کاربرد شبیه‌سازی در طراحی ساختمان از سال ۱۹۷۰ تا آغاز هزاره سوم (Hensen, 2002)

۳. پارامترهای مهم در شبیه‌سازی انرژی

در زمینه کاربرد شبیه‌سازی انرژی و برای دستیابی به نتایج صحیح ضروری است که مسائل مختلف مد

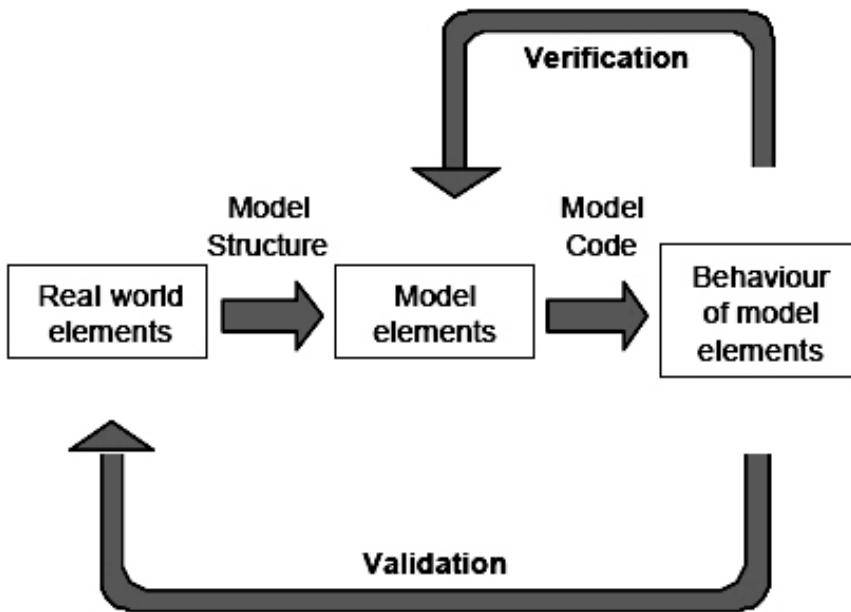
نظر قرار گیرد. در مطالعات گذشته عواملی چون انتخاب نرم افزار مناسب، رابط کاربر، صحت داده های اولیه، توجه به منابع مختلف خطا، اعتبارسنجی، عدم قطعیت نتایج و نیز شناخت روش ارزیابی عملکرد و محدودیت های نرم افزار از جمله مهم ترین این مسائل نام برده شده است که در کیفیت شبیه سازی انرژی مؤثرند (Clarke, 2001). هر یک از این موارد در ادامه بررسی شده اند.

۳-۱. انتخاب نرم افزار مناسب

با توجه به تعدد حوزه های مختلف مرتبط با ساختمان، سنجش کارایی انرژی ساختمان می تواند در زمینه های مختلف و با اهداف متنوع صورت گیرد. بدین ترتیب، یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت شبیه سازی، تناسب نرم افزار شبیه ساز با هدف شبیه سازی و میزان اعتبار آن است. در تعداد بسیاری از ابزارهای موجود برای سرعت بخشیدن به فرایند شبیه سازی از برخی عوامل چشمپوشی یا با تخمین هایی اثرهای آنها اعمال شده است. در سال های اخیر، در برخی از پژوهش ها قابلیت های نرم افزارهای مختلف شبیه ساز انرژی در حوزه ساختمان مقایسه و با بررسی ویژگی های آنها در تقابل با یکدیگر، مزایا و معایب هر یک مشخص شده است. با این همه، تولید نرم افزارهای جدید و گسترش روزافزون قابلیت های نرم افزارها اجرای پژوهش های جدید را در این زمینه ضروری می سازد.

۳-۲. صحت نتایج

پس از انجام دادن هر شبیه سازی تعیین میزان صحت نتایج و تطابق آنها با واقعیت ضروری است. به طور کلی، صحت نتایج به دو عامل انجام دادن صحیح محاسبات با نرم افزار و نیز صحت اطلاعات ورودی توسط کاربر بستگی دارد. شرکت های سازنده نرم افزارها درستی محاسبات آنها را تضمین کرده اند و با به روز کردن نرم افزار سعی در افزایش دقت نرم افزار و تطبیق هر چه بیشتر نتایج با دنیای واقعی دارند. اطمینان از کیفیت شبیه سازی از طریق انجام دادن همزمان درستی سنجی^۱ و اعتباربخشی^۲ به شبیه سازی انجام می شود (Sadeghipour Roodsari, 2008). منظور از درستی سنجی اطمینان از تعریف صحیح مسئله توسط کاربر در محیط مجازی است، در حالی که اعتباربخشی اطمینان از حل صحیح مسئله است که به درستی رفتار تعریف شده برای محیط مورد آزمایش و شباهت آن با دنیای واقعی بستگی دارد. بدین ترتیب، بخش مهمی از اعتباربخشی به معبر بودن نرم افزار مورد استفاده بستگی دارد. در شکل ۳ این دو مفهوم به صورت تصویری نشان داده شده است (Morbiter, 2003).



شکل ۳: مفهوم درستی‌سنجی و اعتبار‌سنجی (Morbitzer, 2003)

۳-۳. منابع مختلف خطا

منابع اصلی ایجاد خطا به دو دسته اصلی منابع داخلی و خارجی تقسیم می‌شوند. از نظر هنسن (Hensen, 2004) منابع خطاهای خارجی عبارت‌اند از: اشتباهات کاربر در ورود اطلاعات و تفاوت میان داده‌های تعریف شده در نرم‌افزار و داده‌های واقعی در زمینه آب و هوا، الگوی زندگی و رفتار ساکنان و ویژگی‌های کالبدی ساختمان و مصالح. منابع خطاهای داخلی عبارت‌اند از: اشتباهات برنامه‌نویسی و تفاوت میان عملکرد واقعی پدیده‌ها و تعابیر انجام شده از آنها در نرم‌افزار. بدین ترتیب، خطاهای داخلی مربوط به نرم‌افزار است و کاربر کنترلی بر آنها ندارد. بنابراین، برای اطمینان از صحت نتایج اعتباربخشی در دو قسمت اعتباربخشی نرم‌افزارهای شبیه‌ساز و اعتباربخشی نتایج شبیه‌سازی از روش‌های مختلف ضروری است. هرچند برطرف کردن خطاهای داخلی در توان کاربران و معماران نیست، اما آگاهی از توانایی‌های نرم‌افزارها و آشنایی کلی با نحوه انجام دادن محاسبات سبب دقت در انتخاب آنها می‌شود و می‌تواند در حصول اطمینان از صحت نتایج مؤثر باشد.

برای رفع خطاهای خارجی که به کاربر مربوط می‌شود، داشتن دانش کلی از چگونگی شبیه‌سازی و نحوه انتخاب نرم‌افزار مناسب اهمیت بسیار دارد. از نظر موربیتزر (Morbitzer, 2003) مهندسان تأسیسات، مهندسان محیطی و مدیران انرژی توانایی کنترل مقادیر متداول داده‌ها و درستی‌سنجی

را دارند^۱. اما کاربران مختلف می‌توانند با بررسی صحت مدل شبیه‌سازی و مقادیر ورودی و خروجی، درستی سنجی و اعتباربخشی را در مراحل طراحی معماری انجام دهند (Morbitzer, 2003). بدین ترتیب، برای رفع خطاهای خارجی، آموزش مناسب کاربر و کنترل حمایتی متخصصان بر انجام دادن شبیه‌سازی لازم است (Hensen, 2004).

۳-۴. لزوم اعتبارسنجی

از آنجا که مدلسازی دقیق و مطابق با واقعیت میسر نیست، انجام دادن اعتبارسنجی برای بررسی صحت نتایج به‌دست آمده الزامی است. سه روش کلی اعتباربخشی تجربی^۲، تحلیلی^۳ و مقایسه‌ای^۴ برای سنجش نتایج شبیه‌سازی انرژی ساختمان وجود دارد. در اعتباربخشی تحلیلی از روش‌ها و فرمول‌های متداول محاسباتی یا عددی و در اعتباربخشی تجربی از نتایج یک برداشت میدانی از شرایط واقعی یا آزمایشگاهی استفاده و در اعتباربخشی مقایسه‌ای، نتایج شبیه‌سازی با نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی مشابه توسط نرم‌افزارهای دیگر مقایسه می‌شود. با توجه به محدودیت‌های هر روش، استفاده ترکیبی از آنها بهترین گزینه است (CIBSE, 1999). اعتباربخشی تجربی گران و زمانبر است و همواره قابل اجرا نیست. اعتباربخشی تحلیلی روشی برای حل آسان‌تر است و به مدل‌های ساده با اعمال تخمین‌هایی در محاسبه محدود می‌شود. از طرفی، اعتباربخشی مقایسه‌ای دلیل قطعی برای صحت نتایج نیست و صرفاً همخوانی نتایج دو یا چند نرم‌افزار را با یکدیگر نشان می‌دهد. علاوه بر اعتبارسنجی، انجام دادن تحلیل حساسیت میزان تأثیر پارامترهای ورودی را بر خروجی‌ها نشان می‌دهد (Clarke, 2001).

۳-۵. عدم قطعیت^۵

مهم‌ترین مسئله در شبیه‌سازی، تعامل و پیچیدگی‌های پارامترهای مختلف با روابط غیرخطی و عدم قطعیت است که خود بر میزان اطمینان از نتایج اثر می‌گذارد. عدم قطعیت می‌تواند در پارامترهای فیزیکی، پارامترهای طراحی، پارامترهای سناریوها و بسیاری دیگر از پارامترها وجود داشته باشد (Hopfe, 2009). از آنجا که همه پارامترهای طراحی شامل عدم قطعیت می‌شوند، از نظر کلارک ضروری است که نرم‌افزارها توانایی اعمال شرایط عدم قطعیت را به داده‌های ورودی خود داشته باشند (Clarke, 2001). در خصوص عدم قطعیت در ارزیابی عملکرد ساختمان و تأثیر بالقوه آن بر تصمیمات طراحی پژوهش‌های بسیاری انجام شده است (Fürbringer, 1994; Lomas & Herbert, 1992; De Wit, 1997).

1- www.energydesignresources.com, accessed on 16 September 2018.

2- Empirical Validation

3- Analytical Validation

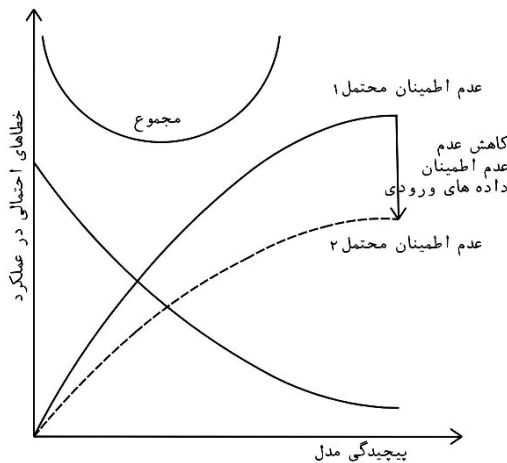
4- Comparative Validation

5- Uncertainty

گسترده‌ترین پژوهش درباره عدم قطعیت در شبیه‌سازی ساختمان را مکدونالد انجام داده است (Macdonald, 2002). در پژوهش‌های بسیاری عدم قطعیت و حساسیت در پارامترهای رفتار ساکنان و تنوع داده‌های آب و هوایی مطالعه شده است (Brohus et al., 2009; Rodriguez et al., 2013). نتایج پژوهشی نشان می‌دهد که مهم‌ترین متغیر اثرگذار در مدل‌سازی انرژی مصرفی ساختمان‌های مسکونی رفتار ساکنان است (Heiselberg, et al. 2009).

والکرو و همکاران (Walker et al., 2003) چهارچوب ماتریسی مفهومی عدم قطعیت را به‌عنوان ابزاری برای دسته‌بندی و گزارش ابعاد مختلف عدم قطعیت ایجاد کردند. تعریف متداول عدم قطعیت دوری از ایده‌آل دست نیافتنی از واقعیت کامل را شامل می‌شود. باید میان سه بعد آن تمایز قائل شد که شامل بعد محل (شامل عدم قطعیت بافت، عدم قطعیت مدل، عدم قطعیت ورودی‌ها و عدم قطعیت پارامترها)، بعد سطح عدم قطعیت (پنج سطح) و بعد طبیعت عدم قطعیت می‌شود.

در پژوهش‌های اخیر تحلیل عدم قطعیت به‌عنوان بخشی از فرایند تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود (De Wit & Augenbroe, 2002; Hopfe & Hensen, 2011; Rezaee et al., 2015). ویژگی پیش‌بینی‌ناپذیر رفتار دوبارمتر ساکنان و متغیرهای آب و هوایی، عدم قطعیت مضاعف را بر مدل پیش‌بینی شده تحمیل می‌کند. تحلیل عدم قطعیت برای ارتقای کارایی بیشتر ابزارهای شبیه‌سازی ساختمان ضروری است که در پروژه‌های اجرایی مشاور فیزیک ساختمان آن را انجام می‌دهد (De Wit & Augenbroe, 2002). با در نظر گرفتن مفهوم عدم قطعیت، تصمیم‌گیری بر اساس توزیع احتمالات متغیر مد نظر انجام می‌شود و نه مقدار قطعی آن (Hopfe et al., 2013). تحلیل عدم قطعیت در جهت واقعیت‌بخشی نتایج و ایجاد کیفیت و قطعیت مدل‌سازی به طراحی ساختمان کمک می‌کند. در شکل ۴ پیچیدگی مدل‌سازی در تقابل با عدم قطعیت نشان داده شده است.



شکل ۴: پیچیدگی مدل در تقابل با عدم قطعیت (Trecka & Hensen, 2010)

معمولاً همزمان با شبیه‌سازی انرژی، تحلیل حساسیت^۱ نیز انجام می‌شود. تحلیل حساسیت برای تعیین تأثیرات عدم قطعیت و میزان تأثیر احتمالات مربوط به آن بر نتایج نهایی شبیه‌سازی می‌تواند انجام شود (Stergård et al., 2016)؛ به عبارت دیگر، در مراحل اولیه طراحی انجام دادن تحلیل حساسیت برای تعیین پارامتر ورودی با بیشترین تأثیر بر عملکرد ساختمان پیشنهاد می‌شود (Heiselberg et al., 2009; Hemsath & Bandhosseini, 2015).

تینان انواع روش‌های تحلیل حساسیت را در تحلیل انرژی ساختمان بررسی کرده است (Wei, 2013). کیفیت نتایج به مدل‌های حرارتی و داده‌های ورودی وابستگی بسیاری دارد. داشتن داده‌های دقیق در خصوص شرایط عملکرد و ویژگی‌های ساختمان مشکل است. در نتیجه، ورودی‌های شبیه‌سازی تحت تأثیر عوامل عدم قطعیت قرار می‌گیرند که می‌تواند بر خروجی شبیه‌سازی‌ها اثرهای چشمگیر داشته باشد (Rodriguez et al., 2013).

به دلیل پیچیدگی رفتار انرژی ساختمان و عدم قطعیت عوامل مؤثر، مدل‌های بسیاری با هدف پیش‌بینی صحیح، مطمئن و آسان کاربر پیشنهاد شده‌اند. متداول‌ترین مدل‌های مورد استفاده شامل روش‌های مهندسی جزئی و ساده شده، روش‌های آماری و هوشمندی مصنوعی (به ویژه شبکه عصبی و ماشین‌های حمایت برداری) هستند. هر مدل مزایا و معایب خود را دارد و انتخاب مدل بهینه در شرایط معین با مقایسه تطبیقی میسر است (Hammad & Abu-Hijleh, 2010).

هدف از تحلیل عدم قطعیت و حساسیت را می‌توان تعیین عدم قطعیت‌های ورودی و خروجی یک سیستم یا ابزار شبیه‌سازی عنوان کرد (Lomas & Herbert, 1992; Fuerbringer, 1994; Macdonald, 2002). در عمل، این دو تحلیل مزایای بسیاری دارند، از جمله کمک به ساده‌سازی مدل، امکان تحلیل قدرت مدل، ایجاد آگاهی از حساسیت‌های غیرقابل انتظار که ممکن است سبب خطاها یا تعیین مقادیر اشتباه شود (Hopfe, 2009; Hopfe et al., 2007)، تغییر در پارامترهای ورودی و نشان دادن تأثیر آنها بر خروجی مدل که به تصمیم‌گیری کمک می‌کنند.

انجام دادن تحلیل عدم قطعیت معمولاً با ارزیابی توزیع تراکمی احتمالات^۲ تکمیل می‌شود تا ورودی‌ها را نامطمئن کند، هرچند این روش برای عدم قطعیت‌های مربوط به رفتار کاربر و داده‌های آب و هوا قابل استفاده نیست. رودریگز و همکاران برای این پارامترها سه سطح از هر دو پارامتر را تعیین و با ترکیب آنها ۹ سناریو ایجاد کرده‌اند. در مرحله بعد، تحلیل حساسیت انجام می‌شود و نشان می‌دهد که سلسله مراتب ورودی‌های مؤثر برای ۹ سناریوی تبیین شده مشابه یکدیگر است (Rodriguez et al., 2013).

در بسیاری از موارد برای تحلیل عدم قطعیت و حساسیت، از تحلیل مونت کارلو و HS، استفاده می‌شود که دلیل اصلی آن سهولت کاربرد این روش هاست. از دیگر مزایای این روش‌ها امکان استفاده از روش‌های

مختلف تحلیل حساسیت مانند رگرسیون استاندارد و رگرسیون گام به گام است (Hopfe et al., 2011). از آنجا که دستیابی دقیق از عملکرد ساختمان در دنیای واقعی به دلیل پیچیدگی محیط مصنوع و تعداد زیاد متغیرهای مستقل در تعامل با یکدیگر دشوار است، برای دستیابی به نتایج صحیح‌تر و قابل اعتمادتر، خروجی‌های مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده تطابق داده می‌شوند. تطابق خروجی‌های مدل با اطلاعات اندازه‌گیری شده به عنوان کالیبره کردن شناخته می‌شود. مسئله عدم قطعیت در فرایند کالیبراسیون^۱ نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. فابریزو (Fabrizio et al., 2015) روش‌های مختلف کالیبره کردن نتایج ساختمان در پنج سطح را بیان کرده است.

۳-۵-۱. منابع عدم قطعیت

همه مدل‌های شبیه‌سازی انرژی ساختمان تحت تأثیر عوامل عدم قطعیت هستند. دینگ و همکاران (Ding et al., 2015) منابع عدم قطعیت را به دو دسته ذهنی و عینی - واقعی تقسیم کرده‌اند. منابع ذهنی را طراحان ایجاد می‌کنند و منابع عینی ریشه در مدل شبیه‌سازی انرژی دارد. منابع واقعی در مقایسه با منابع ذهنی بسیار آسان‌تر قابل اندازه‌گیری هستند. فومو (Fumo, 2014) منابع عدم اطمینان را در یک مدل محاسبه مصرف انرژی در انرژی پلاس به سه دسته عدم قطعیت در داده‌های آب و هوایی، در پارامترهای تجربی و در پارامترهای اندازه‌گیری تقسیم می‌کند. دویت و آگنبرو (De Wit & Augenbroe, 2002) منابع عدم قطعیت را به صورت زیر تقسیم‌بندی کرده‌اند:

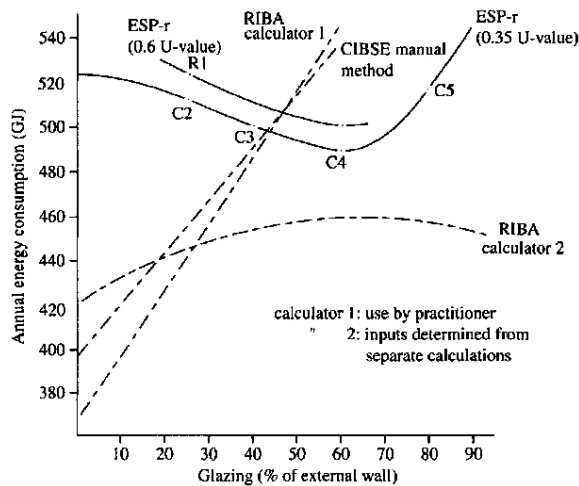
- عدم قطعیت تشخیص (برخاسته از تشخیص ناقص یا اشتباه از ساختمان یا سیستم مدل شده شامل هندسه، مصالح و تهویه مطبوع و برنامه)؛
- مدلسازی (ساده‌سازی‌ها و تخمین‌های فرایندهای فیزیکی پیچیده که می‌تواند به دلیل الگوریتم محاسبات در نرم‌افزار برای مدلساز آشکار یا مخفی باشد)؛
- عددی (خطاهای ایجاد شده در شبیه‌سازی مدل)؛
- سناریو (شرایط خارجی تحمیلی به ساختمان شامل شرایط اقلیمی خارجی و رفتار ساکنان) (De Wit & Augenbroe, 2002).

تعریف و تقسیم‌بندی منابع عدم قطعیت به زمینه شبیه‌سازی بستگی دارد. بوت نشان داد که عدم قطعیت چگونه در مدل‌های موجود در نظر گرفته می‌شود. تحلیل عدم قطعیت در مدلسازی انرژی ساختمان عمدتاً به سطح ساختمان‌های منفرد محدود می‌شود. در خصوص بسیاری از نرم‌افزارها، از جمله انرژی پلاس، روش‌هایی برای معرفی و ورود منابع عدم قطعیت به فرایند شبیه‌سازی پیشنهاد شده است. یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد عدم قطعیت، فایل‌های آب و هوایی سال نمونه^۲ است. این

فایل‌ها در فرمت‌های مختلف ارائه می‌شوند که با نرم‌افزارهای عمده شبیه‌سازی مثل انرژی پلاس در آمریکا و ESP-R در اروپا پذیرفته شده‌اند. درستی سنجی برای تعیین میزان اعتبار ابزارهایی که از فایل‌های آب و هوایی سال نمونه استفاده می‌کنند، لازم است تا نتایج شبیه‌سازی را که بدون استفاده از داده‌های واقعی آب و هوایی انجام شده است، قابل استناد سازد (Fumo, 2014).

۳-۶. نحوه عملکرد و محدودیت‌های نرم‌افزار

برای کاهش مدت زمان پردازش، ساده‌سازی محاسبات و نحوه تعامل پدیده‌های گوناگون با یکدیگر ضروری است تا با کاهش تعداد مجهولات مورد محاسبه و سطوح پیچیدگی ارزیابی نحوه عملکرد صورت گیرد. در این خصوص، در بسیاری از نرم‌افزارها پیشفرض‌هایی در محاسبات اعمال می‌شود که سبب ایجاد تخمین در خروجی‌هاست. این امر سبب وجود تفاوت در نتایج به دست آمده از نرم‌افزارهای مختلف می‌شود. در شکل ۵ پیش‌بینی انرژی مصرفی با استفاده از روش‌ها و پیشفرض‌های مختلف نشان داده شده است (Clarke, 2001). اهداف اصلی در رویکرد مدل‌سازی یکپارچه در شبیه‌سازی شامل حفاظت از انرژی، حفظ یکپارچگی و حفظ انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی است.



شکل ۵: پیش‌بینی انرژی مصرفی با استفاده از روش‌ها و پیشفرض‌های مختلف (Clarke, 2001)

عمده برنامه‌های شبیه‌ساز موجود بر پایه روش‌های پاسخ عملکرد یا روش‌های عددی المان محدود و معادل آن کار می‌کنند. روش اول برای حل سیستم‌های معادلات دیفرانسیل خطی با متغیرهای غیروابسته به زمان مناسب است و با فرض تفکیک کامل معادلات از یکدیگر انجام می‌شود. روش‌های عددی می‌توانند با اطمینان از دقت لازم برای ایجاد یکپارچگی مکانی و زمانی سیستم‌های واقعی انرژی با معادلات دیفرانسیل مختلط به‌طور هم‌زمان و در هر مرحله حل شوند. به همین دلیل،

در بسیاری از موارد روش‌های عددی ارجحیت دارند، ضمن آنکه در این روش‌ها نیازی به تفکیک معادلات و توابع محاسباتی نیست (Clarke, 2001). بدین ترتیب، شناخت کاربراز نحوه عملکرد نرم‌افزار و تعیین سطح مناسب دقت و انعطاف‌پذیری در شبیه‌سازی لازم است. بر این اساس، باید میان نتایج به دست آمده از مدل‌های ساده شده و مدل‌های جامع با قابلیت ایجاد مدل‌های ساده‌تر تفاوت قائل شد. در مدل‌های ساده‌تر از تخمین‌ها و محاسبات ساده شده برای تعیین شبکه حرارتی و راه حل استفاده می‌شود، در نتیجه، برخی از عوامل تخمین زده یا از آنها چشم‌پوشی می‌شود. این در حالی است که در مدل‌های جامع‌تر داده‌های ورودی در سطوح مختلف از مدل‌های ساده شده تا جزئیات پیشرفته قابل تدوین است. بدین ترتیب، نتایج بر اساس کیفیت اطلاعات ورودی طراحی و در رویکردی انعطاف‌پذیر با سطوح دقت متفاوت تعیین می‌شوند (Clarke, 2001). این مسئله لزوم آشنایی کاربر با نحوه عملکرد و انجام دادن محاسبات و پیشفرض‌ها در نرم‌افزار مورد استفاده نشان می‌دهد.

۴. روش پژوهش

پژوهش حاضر در حیطه پژوهش‌های کاربردی است و با هدف شناخت شرایط موجود آموزش شبیه‌سازی انرژی ساختمان و محیط شهری در مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه‌های کشور انجام شده است. روش پژوهش کیفی بود و برای جمع‌آوری داده‌ها از مصاحبه و پرسشنامه نیمه‌باز استفاده شد. سؤالات درباره عوامل و پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی انرژی ساختمان، که در مرور ادبیات موضوع در بخش‌های پیشین مطرح شده‌اند، در قالب پرسشنامه پرسیده شدند. در مرحله اول با مطالعه ادبیات موضوع مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت شبیه‌سازی انرژی از متون مرتبط استخراج و در چارچوب پرسشنامه‌ای نیمه‌باز حاوی ۱۳ پرسش در چهار بخش در تناظر با چهار موضوع شناخت نرم‌افزارها، نحوه انتخاب و مرحله استفاده، عدم اطمینان و اعتبارسنجی، نحوه عملکرد و محدودیت‌های نرم‌افزارها تدوین شدند.

پس از تهیه پرسشنامه اولیه، برای تعیین روایی آن با ۶ نفر از دانشجویان تا دستیابی به اشباع نظری مصاحبه نیمه‌باز انجام شد. پس از تأیید پایایی، بر اساس مصاحبه انجام شده، پرسشنامه نیمه‌باز ویرایش و در میان جامعه آماری توزیع شد. جامعه آماری ۳۸ نفر از دانش‌آموختگان و دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد از چهار دانشکده معماری ایران با گرایش‌های مرتبط با انرژی یا دارای سابقه پژوهش در این زمینه بودند (برای حفظ حقوق دانشگاه‌ها اسامی آنها ذکر نشده است). روش نمونه‌گیری تصادفی و میانگین سنی پاسخ‌دهندگان بین ۲۵ تا ۳۰ بود. تعداد ۳۰ نفر از پاسخ‌دهندگان دانشجوی کارشناسی ارشد و تعداد ۸ نفر دانش‌آموخته بودند. در مرحله نهایی تحلیلی نتایج داده‌های مستخرج از پرسشنامه صورت گرفت. در جدول ۱ مشخصات پاسخ‌دهندگان در قالب جدول دموگرافیک نشان داده شده است.

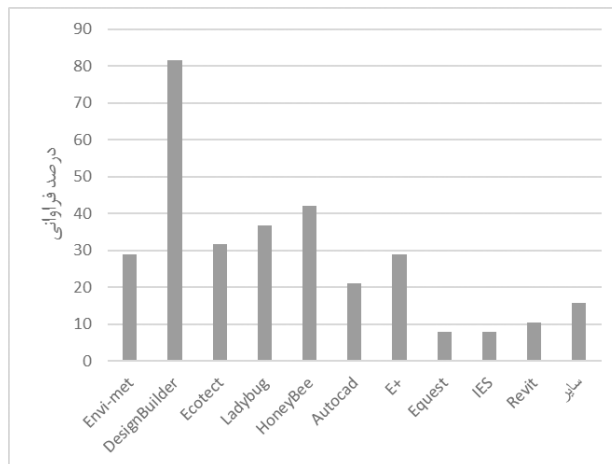
پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌ها خلاصه و کدگذاری و تحلیل نتایج انجام شد.

جدول ۱: جدول دموگرافیک پاسخ‌دهندگان

سن	۲۵-۳۰	۳۰-۳۵	بیشتر از ۳۰
	تعداد	۱۸	۱۴
درصد	۴۷/۳	۳۶/۸	۱۵/۹
مقطع تحصیلی	دانشجوی کارشناسی ارشد		دانش‌آموخته کارشناسی ارشد یا دانشجوی دکتری
	تعداد	۲۴	۱۴
	درصد	۶۳/۱	۳۶/۹

۵. نتایج پژوهش

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، پاسخ‌ها بر اساس کدگذاری انجام شده تحلیل و نتایج آماری از آنها استخراج شد. محتوای پرسش‌های پرسشنامه در راستای پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی انرژی است که در ابتدای مقاله بیان شده‌اند. بررسی نتایج نشان داد که در زمینه نرم‌افزارهای حوزه انرژی و معماری، شکل ۶، آشنایی با دیزاین بیلدر^۱ بیشترین میزان را داشته است و پس از آن به ترتیب نرم‌افزارهای هانی بی^۲ - لیدی باگ^۳ و اکوتکت^۴، انرژی پلاس^۵ و انویمت^۶ قرار دارند. در زمینه نرم‌افزارهای حوزه انرژی و طراحی شهری، بیشترین آشنایی با نرم‌افزار انویمت بوده است و نرم‌افزارهای ذکر شده توسط بسیاری از پاسخ‌دهندگان در این حوزه قرار ندارند.



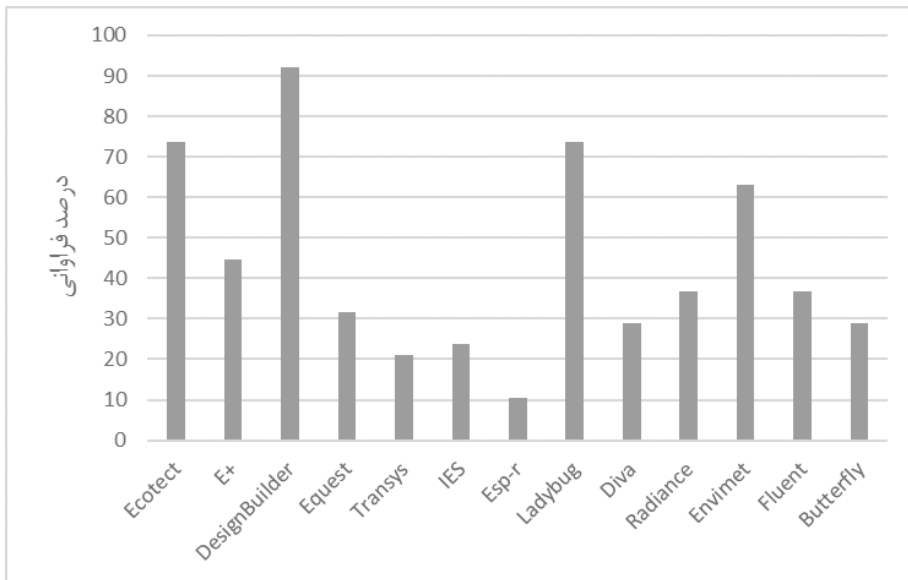
شکل ۶: نرم‌افزارهای استفاده شده در حیطه ارزیابی انرژی در معماری و طراحی شهری

1- Design Builder
4- Ecotect

2- Honey-Bee
5- EnergyPlus

3- LadyBug
6- Envi-met

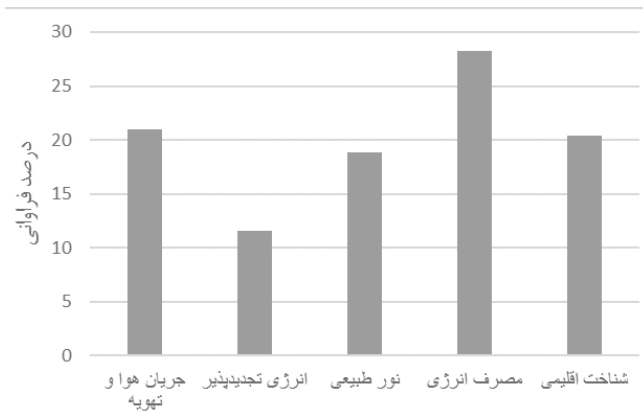
علاوه بر این، متداول‌ترین نرم‌افزارهای استفاده شده به ترتیب دیزاین بیلدر، لیدی باگ - هانی بی، اکوتکت و انویمت بودند. در شکل ۷ میزان توزیع فراوانی آشنایی با انواع ۱۳گانه نرم‌افزارهای نام برده نشان داده شده است. نرم‌افزارهای دیزاین بیلدر، اکوتکت، هانی بی - لیدی باگ و انویمت شناخته شده‌ترین نرم‌افزارها هستند و درخصوص نرم‌افزارهای ای‌اس‌پی‌آر^۱، ترنسیس^۲ و آی‌ای‌اس^۳ کمترین شناخت وجود دارد.



شکل ۷: توزیع فراوانی آشنایی با انواع ۱۳گانه نرم‌افزارها

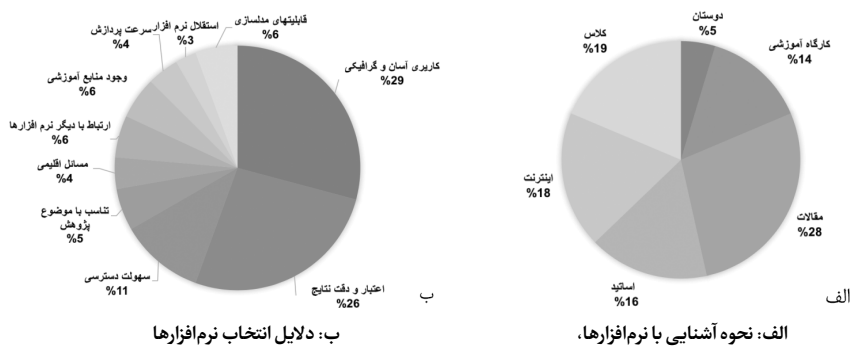
در شکل ۸ نحوه توزیع فراوانی نرم‌افزارهای آشنای پاسخ‌دهندگان در حوزه‌های دسته‌بندی شده نشان داده شده است. بر اساس نتایج، بیشترین نرم‌افزارهای آشنا با اختلاف بیش از دو برابر در حوزه مصرف انرژی و رفتار حرارتی ساختمان قرار دارند و در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر کمترین شناخت درباره نرم‌افزارها وجود دارد. در حوزه مصرف انرژی و رفتار حرارتی ساختمان، متداول‌ترین نرم‌افزارها به ترتیب دیزاین بیلدر، انرژی پلاس و هانی بی - لیدی باگ، در حوزه جریان هوا و تهویه نرم‌افزارهای دیزاین بیلدر و انسیس فلوننت^۴، در حوزه نور طبیعی نرم‌افزارهای دیزاین بیلدر، رادیانس^۵ و دیوا^۶، در حوزه شناخت اقلیمی نرم‌افزار کلایمت انسالتنت^۷ و در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر نرم‌افزارهای دیزاین بیلدر، رت اسکرین^۸ و پی‌وی‌سول^۹ هستند.

1- Esp-r	2- Transys	3- IES
4- Ansys Fluent	5- Radiance	6- Diva
7- Climate Consultant	8- Retscreen	9- PV soll



شکل ۸: توزیع فراوانی نرم افزارهای آشنا در حوزه های مختلف

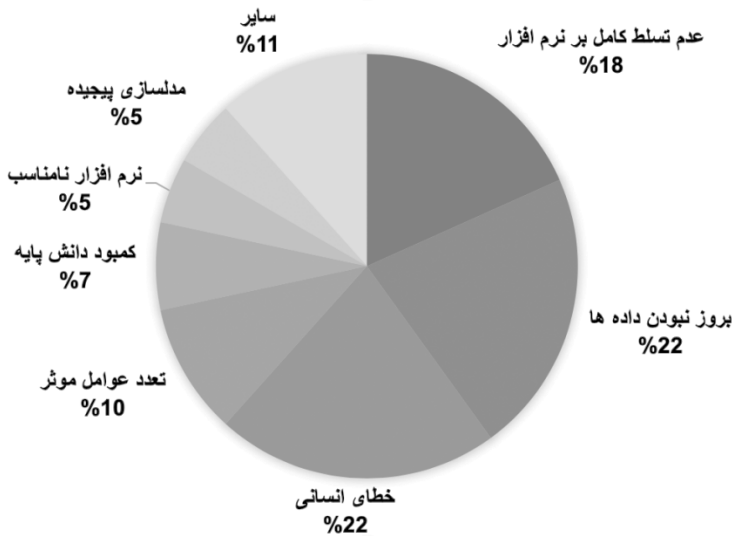
مطابق شکل ۹ الف، در بیشترین موارد آشنایی با نرم افزار از طریق مقالات صورت گرفته است. پس از آن آشنایی از طریق معرفی در کلاس درس، اینترنت و معرفی استادان متداول ترین روش های آشنایی با نرم افزارها هستند. براساس نتایج در شکل ۹ ب، دلایل مؤثر در انتخاب نرم افزار شامل این موارد است: کاربری آسان و گرافیکی، اعتبار و دقت نتایج، دسترسی رایگان یا کم هزینه بودن، تناسب با موضوع پژوهش، توجه فراگیر به مسائل اقلیمی و ارتباط با نرم افزارهای دیگر. بدین ترتیب، سه دلیل اصلی برای انتخاب نرم افزار شبیه سازی به ترتیب کاربری آسان و گرافیکی، اعتبار و دقت نتایج و سهولت دسترسی است. از جمله دلایل دیگر ذکر شده توسط پاسخ دهندگان، سرعت بالای پردازش، استقلال نرم افزار (پلاگین نبودن)، گستردگی قابلیت های مدل سازی و وجود منابع آموزشی و خودآموزی است.



شکل ۹

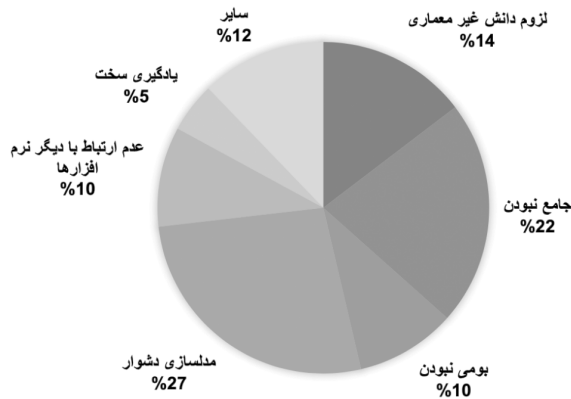
حدود ۴۶ درصد از پاسخ دهندگان نتایج به دست آمده از شبیه سازی انرژی توسط نرم افزارهای معتبر را تا حد زیاد و ۴۶ درصد نیز تا حد قابل قبول مطابق با واقعیت می دانند. این در حالی است که ۵۷ درصد از پاسخ دهندگان نتایج به دست آمده از شبیه سازی انرژی توسط نرم افزارهای معتبر

را به میزان زیاد و ۴۳ درصد به میزان متوسط قابل اطمینان ارزیابی کرده‌اند. شایان ذکر است که میزان تطابق نتایج شبیه‌سازی با واقعیت و میزان قابل اطمینان بودن نتایج در دو پرسش جداگانه مطرح شده است. برای اطمینان از صحت نتایج، سنجش آنها از روشی دیگر از دیدگاه ۶۴ درصد از افراد ضروری بود و بدین منظور، استفاده از روش‌های اندازه‌گیری میدانی (۴۶ درصد)، مقایسه تطبیقی نتایج نرم‌افزارها (۲۵ درصد) و مدلسازی آزمایشگاهی (۱۹ درصد) یا محاسبه دستی بر مبنای فرمول‌های ساده شده یا داده‌هایی چون قبوض انرژی (۹ درصد) پیشنهاد شده است. ۱۸ درصد از پاسخ‌دهندگان سنجش را ضروری ندانسته‌اند و تعدادی مشابه انجام دادن آن را در برخی موارد ضروری می‌دانستند. مطابق شکل ۱۰، پاسخ‌دهندگان به ترتیب عوامل خطای انسانی، به‌روز نبودن داده‌ها، تسلط نداشتن بر نرم‌افزار و کمبود دانش پایه را به‌عنوان عوامل ایجاد عدم اطمینان و اشتباه در نتایج شبیه‌سازی ذکر کرده‌اند. در میان موارد ذکر شده به عوامل خارجی ایجاد عدم اطمینان در نتایج (مانند داده‌های آب و هوایی) اشاره شده و به عوامل مرتبط با نرم‌افزار اشاره نشده است.



شکل ۱۰: عوامل ایجاد عدم اطمینان و اشتباه در نتایج شبیه‌سازی

از نظر ۳۴ درصد از پاسخ‌دهندگان، کاربرد نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی در تمام مراحل طراحی به‌صورت گام به گام لازم است و ۱۳ درصد در مراحل نهایی طراحی آن را مناسب می‌دانند. از نظر ۹ درصد افراد شبیه‌سازی انرژی، بیش از طراحی و در مرحله برنامه‌ریزی و ۳۸ درصد در مراحل اولیه طراحی مناسب است. در پاسخ به پرسش درباره نواقص نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، مطابق شکل ۱۱، پاسخ‌دهندگان پارامترهایی چون جامع نبودن نرم‌افزارها، مدلسازی دشوار و لزوم داشتن دانش غیر معماری را از مهم‌ترین نواقص ذکر کرده‌اند.



شکل ۱۱: نواقص نرم افزارهای موجود شبیه ساز انرژي

نتایج پژوهش لزوم به روز رسانی دانش معماران و دانش آموختگان معماری و حوزه های مرتبط (معماری، طراحی شهری، ساختمان و مکانیک) را در زمینه شبیه سازی انرژي نشان می دهد. در جامعه آماری مد نظر با مقایسه نتایج گروه دانش آموختگان و دانشجویان، تفاوت معناداری میان این دو گروه نشان داده نشد. همچنین میان کسانی که درس اختیاری ذکر شده را گذرانده و نگذرانده اند، در پرسشنامه ها نتایج متفاوتی به دست نیامد.

نتایج به دست آمده نشان داد که میان وضعیت موجود و مطلوب آموزش شبیه سازی انرژي در رشته معماری در کشور تفاوت وجود دارد و دانشجویان معماری در این زمینه دچار ضعف و ناآگاهی از پارامترهای مهم و مؤثر در شبیه سازی و نیز دانش پایه فیزیک ساختمان هستند. بنابراین، لزوم بازنگری در نحوه آموزش شبیه سازی انرژي در دانشکده های معماری احساس و بازنگری و تدوین دقیق دروس مرتبط و سرفصل ها با هدف افزایش مهارت هایی همچون انتخاب نرم افزار مناسب و متناسب با مرحله طراحی، درک عوامل مداخله گر و توانایی تشخیص میزان صحت نتایج، روش های اعتبارسنجی، شناخت کلی و دانش پایه فیزیک ساختمان و نحوه عملکرد نرم افزارها پیشنهاد می شود.

بدین ترتیب، نتایج به دست آمده مطابق با نتایج پژوهش های پیشین (Fakhari, 2014; Taleghani et al., 2011) در این زمینه است و آنها برای موفقیت در شبیه سازی انرژي ساختمان، درک عمیق نیازهای کاربر، شناخت عوامل مداخله گر، تسلط کاربر بر مفاهیم پایه و قدرت تجزیه و تحلیل نتایج را ضروری می دانند. پیشنهاد می شود که برنامه ریزان درسی پارامترها و ابعاد مختلف شبیه سازی انرژي در ساختمان و محیط شهری در چهارچوب مدون را مد نظر قرار دهند. با تبیین دیدگاه منطبق بر واقعیت به شبیه سازی و ماهیت ابزارهای شبیه ساز و توجه به نقاط ضعف و قدرت آنها می توان کیفیت آموزش شبیه سازی انرژي را ارتقا بخشید. با توجه به ماهیت میان دانشی شبیه سازی، به دانش پایه در غیر رشته معماری یا همکاری با تخصص های مرتبط به صورت مشاور نیاز است که در ایجاد ارتباط

حرفه‌ای نیز مؤثر خواهد بود.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی شرایط فعلی آموزش شبیه‌سازی انرژی ساختمان و محیط شهری در مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه‌های کشور انجام و در این خصوص، تناسب برنامه درسی مصوب در گرایش معماری و انرژی ارزیابی شد. روش پژوهش کیفی بود و برای جمع‌آوری داده‌ها از مصاحبه و پرسشنامه نیمه‌باز استفاده شد. سؤالات درباره عوامل و پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی انرژی ساختمان که در مرور ادبیات موضوع در بخش‌های پیشین مطرح شده‌اند، در قالب پرسشنامه پرسیده شدند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده میزان آگاهی اندک دانشجویان از مقوله‌های مرتبط با شبیه‌سازی انرژی و وجود نقاط ضعف در این آموزش است. با توجه به نتایج پژوهش و هماهنگی با پژوهش‌های پیشین، درک عمیق نیازهای کاربر، شناخت عوامل مداخله‌گر، تسلط کاربر بر مفاهیم پایه و قدرت تجزیه و تحلیل نتایج ضرورت دارد.

بدین ترتیب، بازنگری در نحوه آموزش شبیه‌سازی انرژی در دانشکده‌های معماری ضروری است. در این خصوص، بازنگری و تدوین دقیق دروس مرتبط و سرفصل‌ها با هدف دستیابی به مهارت‌هایی در انتخاب نرم‌افزار مناسب و متناسب با مرحله طراحی، درک عوامل مداخله‌گر و توانایی تشخیص میزان صحت نتایج، روش‌های اعتبارسنجی، شناخت کلی و دانش پایه فیزیک ساختمان و نحوه عملکرد نرم‌افزارها به‌عنوان پیش‌نیازهایی برای استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز پیشنهاد می‌شود. با تبیین دیدگاه منطبق بر واقعیت به شبیه‌سازی و ماهیت ابزارهای شبیه‌ساز و توجه به نقاط ضعف و قدرت آنها می‌توان کیفیت آموزش شبیه‌سازی انرژی را ارتقا بخشید. با توجه به ماهیت میان‌دانشی شبیه‌سازی، به دانش پایه در غیررشته معماری یا همکاری با تخصص‌های مرتبط به صورت مشاور نیاز است که در ایجاد ارتباط حرفه‌ای نیز مؤثر خواهد بود. بدین ترتیب، مطالعات بیشتر در زمینه آموزش شبیه‌سازی نرم‌افزاری در حوزه معماری و شهرسازی و ارائه راهکارهایی برای ارتقای کیفیت این آموزش ضرورت دارد.

References

- Altomonte, S., Cadima, P., Yannas, S., Herde, A. D., Riemer, H., Cangelli, E., Asiain, M. L. D., & Horvath, S. (2012). Educate! Sustainable environmental design in architectural education and practice. *In 28th International PLEA Conference*.
- Altomonte, S., Rutherford, P., & Wilson, R. (2014). Mapping the way forward: Education for sustainability in architecture and urban design. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 21(3), 143-154.
- Azizi, Sh. (2010). Necessity of flexible system of architecture education in response to global and native sustainability challenges. *Hoviat-e-Shahr*, 5(7), 43-52 [in Persian].
- Brohus, H., Heiselberg, P., Simonsen, A., & Sørensen, K. C. (2009). Uncertainty of energy consumption assessment of domestic buildings. *In Proceedings of the 11th International Building Performance*

Simulation Association Conference.

- CIBSE (1999). Environmental design, CIBSE Guide A. Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Clarke, J. (2001). *Energy simulation in building design*. Butterworth-Heinemann.
- De Wit, M. S. (1997). Influence of modeling uncertainties on the simulation of building thermal comfort performance. *In Proceedings of the 5th International IBPSA Conference on Building Simulation*.
- De Wit, M. S., & Augenbroe, G. (2002). Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications, *Energy and Buildings*, 34(9), 951-958.
- Ding, Y., Shen, Y., Wang, J., & Shi, X. (2015). Uncertainty sources and calculation approaches for building energy simulation models. *In 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Energy Procedia*, 78, 2566 - 2571.
- Fabrizio, E. & Monetti, V. (2015). Methodologies and Advancements in the calibration of building energy models. *Energies*, 8, 2548-2574.
- Faham, E., & Rajabi Nahuji, M. (2014). Modeling the competencies of faculty members for sustainability education using system dynamics analysis. *Iranian Engineering Education*, 16 (64), 89-115. [in Persian].
- Fakhari, M. (2014). The effect of energy simulation softwares in design process and its status in sustainable architecture education. *Fifth Conference on Architectural Education* [in Persian].
- Fumo, N. (2014). A review on the basics of building energy estimation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 53-60.
- Furbringer, J. M.; Foradini, F. and Roulet, C. (1994). Bayesian method for estimating airtightness coefficients from pressurization measurements. *Building and environment*, 29(2), 151-157.
- Hammad, F., & Abu-Hijleh, B. (2010). The energy savings potential of using dynamic external louvers in an office building. *Energy and Buildings*, 42, 1888-1895.
- Heiselberg, P., Brohus, H., Hesselholt, A., Rasmussen, H., Seinre, E., & Thomas S. (2009). Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings. *Renewable Energy*, 34(9), 2030-2036.
- Hemsath, T. L., & Bandhosseini, K. A. (2015). Sensitivity analysis evaluating basic building geometry's effect on energy use. *Renewable Energy*, 76, 526-538.
- Hensen, J. L. M. (2002). Simulation for performance based building and systems design: some issues and solution directions. *In 6th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*.
- Hensen, J. L. M. (2004). Towards more effective use of building performance simulation. in design, In: Van Leeuwen, J.P. and H.J.P. Timmermans (eds.). *Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 291-306.
- Hensen, J. L. M., & Radošević, M. (2004). Teaching building performance simulation – some quality assurance Issues and Experiences. *In 21th PLEA international Conference on Passive and Low Energy Architecture*.
- Hopfe, C. J., & Hensen, J. L. M. (2011). Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. *Energy and Buildings*, 43, 2798-2805.
- Hopfe, C. J., Augenbroe, G., & Hensen, J. L. M. (2013). Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment. *Building and Environment*, 69, 81-90.
- Hopfe, C. J. (2009). Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization, PhD thesis, Technische Universiteit Eindhoven.
- Hopfe, C.J., Hensen, J. L. M., & Plokker, W. (2007). Uncertainty and sensitivity analysis for detailed design support. *In Proceedings of the 10th IBPSA Building Simulation Conference*.
- http://www.architecture2030.org/building_sector , accessed on 16 September 2018.
- Kurdjamshidi, M., & Poursahid, Sh. (2011). Teaching concepts related to sustainable architecture in the higher education system, challenges and solutions. *In Proceedings of the 2nd National Conference on Sustainable Architecture*. [In Persian].

- Lomas, K. J., & Herbert, E. (1992). Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. *Energy and Buildings*, 19 (1), 21-44.
- Macdonald, I. A. (2002). Quantifying the effects of uncertainty in building simulation. PhD Thesis, University of Strathclyde.
- Morbitzer, Ch. A. (2003). Towards the integration of simulation into the building design process, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Energy System Research Unit, University of Strathclyde.
- Natanian, J., & Aleksandrowicz, OR. (2018). Environmental education of an architect: The case of final-year design studio at the technion, Israel. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 12(1), 356-366.
- Reinhart, C. F., Dogan, T., Ibarra, D., & Samuelson, H. W. (2012). Learning by playing-teaching energy simulation as a game. *Journal of Building Performance Simulation*, 5(6), 359-368.
- Rezaee, R., Brown, J., Augenbroe, G., & Kim, J. (2015). A new approach to the integration of energy assessment tools in CAD for early stage of design decision-making considering uncertainty. *In Proceedings of the 10th European Conference on Product and Process Modelling*.
- Rodríguez, G. C., Andrés, A. C., Muñoz, F. D., López, J. M. C., & Zhang, Y. (2013). Uncertainties and sensitivity analysis in building energy simulation using macro parameters. *Energy and Building*, 67, 79-87.
- Sadeghipour Roodsari, M. (2008). Application of simulation software in architectural design, a step to integrated architecture. Master Thesis. Shahid Beheshti University [in Persian].
- Stergard, T.; Jensen, R. L. & Maagaard, S. E. (2016). Building simulations supporting decision making in early design-Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 187-201.
- Tahsildust, M., & Zomorodian, Z. S. (2015). Education quality of sustainability and energy in architecture in Iran. *Architecture. First International Conference and 4th National Conference on Engineering Education* [in Persian].
- Taleghani, M., Ansari, H. R., & Jennings, Ph. (2011). Sustainability in architectural education: A comparison of Iran and Australia. *Renewable Energy*, (36), 2021-2025.
- Trcka, M., & Hensen, J. L. M. (2010). Overview of HVAC system simulation. *Automation in Construction*, 19(2), 93-99.
- Walker, W. E., Harremoe, P., Rotmans, J., van der Sluijs, J. P., Asselt, M., & Janssen, P. (2003). Defining uncertainty: A conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment*, 5(17), 13-14.
- Wei, T. (2013). A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 411-419.
- www.energydesignresources.com, accessed on 16 September 2018.
- Zhai, Z. (2006). Application of computational fluid dynamics in building design: Aspects and Trends. *Indoor and Built Environment*, 15(4), 305-313.



◀ **رزا وکیلی نژاد:** استادیار و عضو هیئت علمی گروه معماری دانشکده هنر

و معماری دانشگاه شیراز هستند و علایق پژوهشی ایشان در حوزه‌های

معماری و انرژی، شبیه‌سازی انرژی، فناوری معماری و آموزش معماری

است.