کاربرد تئوری مبتنی بر عامل در طراحـی پوسـته‌های هوشمند

زهره سادات قاسمی *[۱]، محمود گلابچی [۲]
۱- کارشناس ارشد فناوری معماری
۲- استاد تمام دانشکده معماری دانشگاه تهران
zohre.ghasemi@outlook.com

چکیده

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی و ظهور آن در همه ابعاد زندگی انسان، معماری نیز به سهم خود تحت تأثیر قرارگرفته است. از سوی دیگر با کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و توجه جامعه جهانی به استفاده از انرژی‌های پاک و صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی، در سال‌های اخیر شاهد توسعه معماری هوشمند و پاسخگو به محیط در سراسر جهان بوده‌ایم. پوست ساختمان به‌واسطه‌ی قرار گرفتن در مرز فضا و روبرو بودن با عوامل جوی نقش مهمی در کاهش یا افزایش مصرف انرژی دارد. به‌علاوه، به دلیل هزینه زیاد طراحی و اجرای پوسته، هوشمند بودن آن می‌تواند از طریق کاهش مصرف انرژی در ساختمان این هزینه را جبران نماید. در این میان تئوری مبتنی بر عامل در راستای کمک به این هدف می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد. مجموعه عامل‌ها می‌توانند رفتارهای تعاملی هماهنگ یا تعاونی را به وجود بیاورند. عامل‌ها با ویژگی‌هایی همچون خودکار بودن، واکنش‌پذیری و فعال بودن امکان مدل کردن تعاملات غیرخطی و پیچیده را فراهم می‌کنند و به‌این‌ترتیب سیستم می‌تواند به‌طور مؤثر به هدف‌هایش دست یابد.

واژگان کلیدی: معماری هوشمند، کاهش مصرف انرژی، پوسته هوشمند، تئوری مبتنی بر عامل

۱- مقدمه

به‌طورکلی معماری پاسخگو در سراسر جهان به‌خصوص در شرق میانه و اروپا که الگوهای اقلیمی امکان ارتباط آزاد بین بیرون و درون را فراهم می‌آورد استفاده شده است. کلمه پاسخگو می‌تواند به‌عنوان عکس‌العمل مثبت و سریع تعریف شود. طراحی پاسخگو یک زمینه گسترده برای پوشش دادن حرکات کاربردی، پاسخگویی به محیط و اهداف زیبایی‌شناسانه است. این اهداف شامل سودمندترساختن ساختمان، کارآیی بهتر انرژی و توزیع بهتر آن، زیبایی بیشتر و لذت‌بخش‌تر است. مزیت‌های معماری پاسخگو همچنین می‌تواند شامل طولانی‌ترشدن عمر ساختمان توسط سازگارشدن و انطباق بیشتر با کاربران باشد. فناوری‌های پیشرفته و متریال جدید پوشش‌های ساختمانی پاسخگو تولید کرده است، و از این طریق به بهره‌وری بهینه ساختمان و تجربه‌ای منحصربه‌فرد برای کاربران دست یافته است. این عوامل معماری را قادر خواهدکرد که جنبه‌های پدیدارشناسانه متفاوتی داشته‌باشد، که میان مردم و مکان ارتباط ایجاد می‌کند. (Gunderson 2015:1)

الگوی متعارف مربوط به استفاده از سیستم‌های ساده یا پیچیده‌ی مدیریت ساختمان، ارائه یک ساختمان با سیستم‌های فعال و کنترل‌هایی است که امکان فعالیت توسط موتور را برای آنچه ما ممکن است عملکردهای اساسی بنامیم فراهم می‌کند. این‌ها جنبه‌های مهم و سودمند تکامل مدیریت و کنترل خدمات ساختمان هستند. سیستم‌های معمولی مربوط به امنیت و فعال‌کردن خودکار و یا از راه دور لوازم است. مطالعه پوسته هوشمند، که بخشی از یک برنامه گسترده ساختمان هوشمند است، مربوط به عملکرد پاسخگوی آن است، گاهی‌اوقات و نه همیشه این موضوع مربوط به عملکرد محیطی کل ساختمان می‌شود، و شامل یک مقایسه بسیار نزدیک با ایده بیولوژیکی هوش و پاسخگویی، مانند آنچه در هوش طبیعی پوست انسان و علم هوش مصنوعی دیده می‌شود است.(Wigginton and Harris 2013:3)

یک پوسته انطباق‌پذیر با آب وهوا توانایی تغییر برگشت‌پذیر و مکرر عملکرد، ویژگی‌ها یا رفتار را در طول زمان در پاسخ به تغییر عملکرد مورد نیاز و شرایط مرزی متغیر دارد. با انجام این کار، پوسته ساختمان به طور موثر به دنبال بهبود کلی عملکرد ساختمان در مصرف انرژی اولیه با حفظ شرایط آسایش حرارتی و بصری قابل قبول است. (Loonen 2010:7)

در دنیای پیشرفته امروز، مسئله انرژی و کاهش سوخت‌های فسیلی از معضلات بسیار مهمی است که مشکلات عدیده‌ای را ایجاد می‌کند. با توجه به نقش اساسی و غیر قابل انکاری که ساختمان‌ها در مصرف سوخت و هدررفتن انرژی ایفا می‌کنند، استفاده از تکنولوژی‌های جدید جهت کاهش مصرف انرژی‌های غیرقابل بازگشت و نیز ذخیره انرژی‌های پایا از مباحث عمده‌ای است که در معماری پایدار مطرح می‌شود. پیشرفت سریع و فراگیرشدن فناوری اطلاعات و ارتباطات، سبب ایجاد زمینه‌های مختلف و متنوع به کارگیری آن در تمامی ابعاد زندگی انسان شده است. یکی از مزایای رشد سریع فناوری اطلاعات توسعه سیستم‌هایی است که می‌توانند تغییرات را اندازه‌گیری‌کرده و تخمین بزنند و سپس در مقابل آن واکنش نشان دهند. پیشرفت در زمینه تغییر شیوه طراحی می‌تواند باعث بهبود شرایط محیط‌زیست فیزیکی شود. در نتیجه شاهد رشد چشم‌گیری در زمینه طراحی ساختمان‌هایی هستیم که از آن‌ها با عنوان ساختمان هوشمند یاد می‌شود. در این ساختمان‌ها تلفیق فناوری اطلاعات و سیستم‌های ارتباطی باعث ایجاد آسایش و امنیت بیشتر و صرفه‌جویی در هزینه‌ها به‌خصوص در مصرف منابع انرژی می‌شود.(ساعتچی اصل و قراویس ۵:۱۳۹۱)

نمای ساختمان می‌تواند بین ۱۵ تا ۴۰ درصد کل بودجه ساختمان باشد، و به‌دلیل تاثیر آن بر هزینه خدمات ساختمان ممکن است هزینه را تا ۴۰ درصد افزایش دهد. در ساختمان‌های پیچیده، خدمات مکانیکی و الکتریکی می‌تواند ۳۰ تا ۴۰ درصد بیشتر از بودجه کلی ساختمان را تشکیل دهد. تحقیقات نشان‌می‌دهد که بین ۳۰ تا ۳۵ درصد از هزینه‌های اساسی یک ساختمان اداری با کیفیت بالا مربوط به خدمات ساختمان است و ۱۳ تا ۱۵ درصد نیز به خدمات محیطی اختصاص داده می‌شود. این خدمات به کنترل دمای داخلی و تهویه محیطی تقسیم می‌شود. در نهایت هزینه‌های طول عمر ساختمان، شامل تعمیر و نگه‌داری، جایگزینی و هزینه‌های انرژی به این هزینه‌ها اضافه می‌شود.(Wigginton and Harris 2013:3)

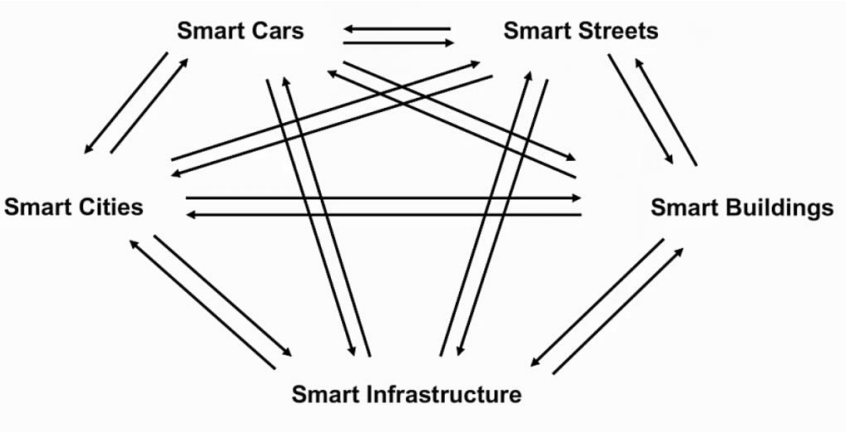
نظریه‌پرداز و مورخ، رینر بانهام، در سال ۱۹۸۴ در حالی که می‌گوید: «یک شیشه‌ی خود سازمان‌ده و قابل‌کنترل، بیش از حد انتظار، کوچک شمرده شده است»، نتیجه‌گیری می‌کند که اگر هزینه‌های واقعی انرژی به حساب آیند، اثبات می‌شود که فن‌آوری جدید از نظر اقتصادی عملی است. پیش‌بینی وی چندان هم اشتباه نبود چرا که کل توسعه‌های ایجاد شده در حیطه‌ی پوسته‌های هوشمند و پنجره‌های هوشمند براساس بهبود مصرف انرژی شکل گرفته‌اند. در واقع بیشترین سهم سرمایه‌گذاری بر مواد هوشمند در ساختمان بر این دو سامانه تمرکز دارند. علاوه بر این پنجره‌ها و پوسته‌ها عناصر مشخصه‌ی ظاهری یک ساختمان هستند و بدین ترتیب عملا مهمترین موضوع مورد توجه معماران می‌باشند.(ادینگتون و اسکودک, ۱۵۳:۱۳۹۰)

۲- پیشینه پژوهش

از اواسط دهه‌ی ۱۹۴۰، صنعت اتوماسیون خانگی انقلابی را در محیط زندگی ما ایجاد کرده است که با مفهوم خانه هوشمند شناخته شده‌است. چشم‌انداز این صنعت مجهزکردن لوازم خانگی، ترموستات‌ها، لوازم روشنایی و غیره با ریزپردازنده‌هایی است که به آن‌ها اجازه می‌دهد با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و به‌این‌ترتیب هوشمندانه رفتار کنند. با وجود سابقه طولانی خانه‌های کامپیوتری و اتوماسیون خانگی، این خانه‌ها هیچ‌گاه محبوبیت چندانی نداشته است زیرا هزینه‌های زیادی را به ساکنان تحمیل می‌کند. یکی از این هزینه‌ها، هزینه‌ی برنامه‌ریزی برای عملکرد مناسب سیستم است. رویکرد جایگزین در سال‌های اخیر با استفاده از حس‌گرها و فناوری اطـلاعات توانایی "خودبرنامـه‌ریزی"، توسط مشاهـده‌ی سبک زندگی و خواسـته‌های ساکنان را توسـعه داده‌است.(Mozer 1998:110)

ساختمان‌ها بزرگ‌تر و پیچیده‌تر شده‌اند، که تاحدودی مدیون کنترل آسایش مصنوعی و حمل‌ونقل عمودی، و افزایش سطح پیشرفت تکنیکی است. کامپیوترها می‌توانند به کارکرد یک ساختمان کمک کنند و وظایفی را که قبلا وقت تعداد زیادی انسان را می‌گرفتند در چند ثانیه انجام دهند، روشنایی اتوماتیک، سیستم ثبت خطا و برنامه‌ریزی تعمیر و نگه‌داری مثال‌هایی در این زمینه هستند. در حال‌حاضر این موضوع به حوزه خودتشخیصی گسترش می‌یابد. فناوری‌های "هوشمند" به نظارت قابل‌توجهی بر مانیتورینگ تنش در ساختار هواپیما منجر شد. چنین تکنولوژی‌هایی موضوع اصلی کنفرانس‌های بین‌المللی "مواد هوشمند" هستند. توانایی ساختمان برای بررسی خود به‌طور منظم، و گزارش آن به مالکان و ساکنان خود به‌آسانی در رجوع به بسیاری از ویژگی‌های

آن‌ها ممکن است، و این یکی از موضوعات مورد توجه برای ساختمان هوشمند به‌خصوص در مناطقی که احتمال تنش‌های غیرمعمول وجود دارد، مانند مناطق لرزه‌خیز، است.(Wigginton and Harris 2013:34)



شکل ۱- هوش در موضوعات مختلف
accessed online
Smart Cities course
www.courses.edx.org

مدل‌سازی مبتنی برعامل (ABM) یک رویکرد در حال ظهور با فرآیند پیچیده مدل‌سازی و پدیده‌ای در علوم اجتماعی در سال‌های اخیر است. همچنین به عنوان سیستم چندعامله (MAS)، شبیه‌سازی مبتنی برعامل (ABS)، یا مدل‌سازی مبتنی بر فرد (IBM) شناخته می‌شود. منشاء آن را می‌توان در اوایل دهه ۱۹۴۰ یافت، زمانی که اولین نمونه‌های "ماشین‌های سلولی[1]"، شبیه‌سازی تعامل شبکه‌ها با همسایه‌هایشان به‌وسیله‌ی سوئیچ‌های خاموش-روشن، اختراع شد. شبیه‌سازی کامپیوتری عامل‌ها توسط رینولدز (۱۹۸۷) با معرفی ادراک فردی، هوش و رفتار با عامل‌های Boid[2] او متحول شد، و ازاین رو این امکان را فراهم کرد که الگوها بر مبنای گروه بزرگی از واحدهای تشکیل‌دهنده شبیه‌سازی شود. علی‌رغم تاریخ طولانی آن، تنها در ۱۹۹۰ بود که الگوی مدل‌سازی عامل از هر دو جنبه مفهومی و محاسباتی کامل شد و به عنوان یک ابزار شبیه‌سازی عملی به کار گرفته شد و کاربرد آن در علوم اجتماعی و به اصطلاح تجزیه و تحلیل شهری پدیدار شد. در دو دهه گذشته، ABM به طور گسترده‌ای در مطالعات در این حوزه استفاده شده است. چنانکه Wooldridge گفته است: "زمانی بود که من مغرورانه معتقد بودم که من تمام مقالات کلیدی در زمینه سیستم‌های چندعامله را خوانده‌ام، و دانش کاری پایه از تمام تکنیک‌ها و مسائل تحقیقاتی اصلی دارم. خوب، اگر که تا به حال درست بود، قطعا همیشه نیست، و برای نزدیک به دو دهه اینطور نیست: زمان طولانی گذشته است از زمانی که یک فرد می‌توانست یک درک عمیق از تمام حوزه تحقیقاتی سیستم‌های چندعامله داشته باشد." (L. Chen 2012:167)

۳- تعاریف ساختمان هوشمند

از نظر گروه‌های مختلف تخصصی در جهان، تعاریف و تعبیرهای متفاوتی برای ساختمان‌های هوشمند ارائه شده است. همچنین شهرهای هوشمند و مجامع مرتبط بسیاری در این خصوص وجود دارند که هر کدام با توجه به نوع فعالیت و گستردگی حوزه عمل خود، تعاریف خاصی در این خصوص ارائه می‌نمایند. سمپوزیوم بین‌المللی معماری در سال ۱۹۸۵ در تورنتو تصریح کرد: یک ساختمان هوشمند آمیزه‌ای است از ابداعات (خواه این ابداعات تکنولوژیک باشد یا خیر) به همراه مدیریتی بدون نقص که در این راستا و با داشتن این دو ویژگی سرمایه صرف شده تا حد زیادی بازگردد. این تعریف علاوه بر لزوم وجود ابداع و نوآوری و استفاده از تکنولوژی این موضوع را نیز یادآوری می‌کند که یکی از اهداف ساخت ساختمان‌های هوشمند، این است که ساختمان‌هایی ساخته

1- Cellular automata
2- Boids agents

شوند که هر چه بیشتر سرمایه‌ای را که در ساخت‌وساز آن‌ها صرف شده است برگردانند که این سرمایه مسائل مختلفی را از جمله انرژی را در بر می‌گیرد. (ساعتچی اصل و قراویس, ۵:۱۳۹۱)

۳-۱- گروه ساختمان هوشمند اروپا:

هر ساختمانی که تامین‌کننده یک محیط پاسخگو و موثر باشد که هدف‌های اقتصادی ساختمان از طریق آن دست یافته شود، ساختمان هوشمند است. ساختمان‌های هوشمند بهترین ایده‌ها، مصالح، سیستم‌ها و تکنولوژی‌ها را هماهنگ و ترکیب می‌کند. این اجزا برای رسیدن به عملکرد بهتر در ساختمان‌ها با هم ترکیب می‌شوند.(ساعتچی اصل و قراویس, ۵:۱۳۹۱)

۴- تعریف عامل

متاسفانه، علی‌رغم استفاده متداول آن، هیچ تعریف منحصر پذیرفته‌شده جهانی از عامل وجود ندارد. تعاریف موجود از عامل زیاد و متنوع است، اعم از تعاریف ابتدایی و سست به عنوان یک عامل فردی مانند "تنها چیزی که درک‌می‌کند و عمل‌می‌کند" تا تعاریف استادانه و دقیق مانند " عامل‌های مستقل سیستم‌های محاسباتی هستند که ساکن برخی محیط‌های دینامیک پیچیده هستند، حس‌می‌کنند و به‌صورت خودکار در محیط عمل‌می‌کنند، و به این وسیله به مجموعه‌ای از اهداف یا وظایفی که برای آن‌ها طراحی شده‌اند تحقق‌می‌بخشند." راسل و نورویگ گفته‌اند: "مفهوم یک عامل به معنی یک ابزار برای تجزیه و تحلیل سیستم‌ها است، نه یک توصیف مطلق که جهان را به عامل‌ها و غیرعامل‌ها تقسیم می‌کند."(L. Chen 2012:168)

Wooldridge و Jennings ویژگی‌های عامل‌ها را به این صورت خلاصه‌می‌کنند: خودکاربودن، دارای توانایی اجتماعی، واکنش‌پذیری و فعال‌بودن. آن‌ها تعریف عامل را به صورت جامع و مختصر رسمی کردند، که اینگونه بیان‌می‌کند:" یک عامل یک سیستم کامپیوتری است، واقع در برخی از محیط‌ها، که قابلیت عمل‌کردن اتوماتیک به‌صورت انعطاف‌پذیر را دارد تا به هدف‌های طراحی دست‌پیداکند". این تعریف بر روی دو ویژگی اصلی عامل‌ها تاکید دارد که معمولا توسط افراد مشغول به کار در زمینه‌های مرتبط مورد توافق است: استقلال و توانایی اجتماعی. مستقل‌بودن به این معنی که یک عامل باید قادر به بکارانداختن، انجام دستورالعمل‌ها و گرفتن تصمیمات بدون دخالت مستقیم دیگران باشد، و بر اعمال آن‌ها و محیط داخلی کنترل داشته باشد، اجتماعی بودن به این معنی که یک عامل بخشی از یک جامعه است، که قادر به تعامل با عامل‌های دیگر به منظور تکمیل وظایف خاص آن‌ها و کمک به دیگران با فعالیت‌های خود است. این دو ویژگی کلیدی سیستم مبتنی‌برعامل را از الگوهای نرم‌افزاری دیگر مانند برنامه‌نویسی شی‌گرا و محاسبات توزیع متمایز می‌کند.(L. Chen 2012:168)

توسط تعریف، خودکاربودن و ویژگی‌های اجتماعی عامل‌ها امکان مدل‌کردن تعاملات غیرخطی و پیچیده میان آن‌ها را فراهم می‌کند که منجر به رفتارهای جمعی و پدیده‌های نوظهور مانند خودسازمان‌دهی می‌شود. دوما، در ABM، مکاتبات هستی‌شناختی میان عامل‌های کامپیوتری در مدل و بازیگران جهان واقعی آسان می‌شود و ارائه این بازیگران و محیط زیست و ارتباط آن‌ها آشکار می‌شود. سوما، ABM می‌تواند داخل هر محیط سیستم داده شده با تنظیم آزادانه پیچیدگی عامل‌ها تعریف شود، ABM همچنین می‌تواند در سطوح مختلفی از انتزاع کار کند.(L. Chen 2012:168)

۵- تغییرپذیری

ایده ارائه تغییرپذیری به ساختار ساختمان برای پاسخ به تغییرات، به جای اتکا به خدمات ساختمان، مزایای فوق‌العاده‌ای دارد. این ایده از کرکره و پرده شناخته شده است. برای ارائه یک پوست هوشمند، با توانایی ارائه یک سیستم "پاسخگو" که بتواند برای بهبود عملکرد انرژی و آسایش داخلی ساختمان، و ارائه یک پاسخ بهینه به تغییرات خارجی، به‌طور فیزیکی واکنش نشان دهد، ایده‌ها و اصول که قبلا در ساختمان مقرر شده‌است به‌سادگی گسترش می‌یابد، و این ایده با پیشنهادهای داروین، کسی که معتقد بود قابلیت زنده‌ماندن وابسته به توانایی سازگاری با تغییرات محیطی است، سازگار است.(Wigginton and Harris 2013:30)

یکی از قوی‌ترین نمونه‌های مزایای بالقوه تغییرپذیری، به‌ویژه اگر اتوماتیک باشد، مربوط به تعامل میان نور و گرما است. در طراحی ساختمان، بازشوها برای منظر و نور به مدت طولانی به‌عنوان نقاط ضعف در شرایط حرارتی درنظرگرفته می‌شد. علی‌رغم افزایش پنج برابری استفاده از شیشه، این مشکل باقی است. تابش‌های خورشیدی موج‌کوتاه از شیشه عبور می‌کنند، و این همیشه مطلوب نیست. شیشه همچنین به‌طور قابل‌مقایسه‌ای برای انتقال حرارتی، جریان گرمای ناشی از انتقال و هدایت گرمایی، نفوذپذیر

است. این امر توسط توسعه‌های اخیر در شیشه‌های پیشرفته، که می‌تواند به‌طور ذاتی ویژگی‌های خود را به‌صورت فیزیکی تغییر دهد (مانند ترموکرومیک‌ها)، یا تغییر آن‌ها به‌صورت الکتریکی در "ضربه‌ی یک سوئیچ" با استفاده از ابزار کروموژنیک باشد (مانند شیشه‌های الکتروکرومیک)، جبران شده‌است. یک شاتر عایق می‌تواند بر انتقال حرارتی بازشوهای شیشه‌ای به‌طور قابل‌توجهی تاثیرگذارد. ازطریق پوست هوشمند چنین تغییراتی، در ارتباط با هردو مورد انتقال و تابش، می‌تواند به‌صورت خودکار یا مستقل فعال شود. نفوذپذیری پوست ساختمان نسبت به نور، گرما و هوا، و شفافیت آن‌ها باید قابل کنترل باشد و قابلیت اصلاح داشته باشد، بنابراین می‌تواند در مقابل تغییرات شرایط اقلیمی محلی عکس‌العمل نشان دهد.(Wigginton and Harris 2013:30,31)

ساکنان ساختمان‌ها تاکید زیادی بر نیاز به کنترل شخصی محیط خود دارند. به‌طور کلی این موضوع اغلب می‌تواند به ضرر محیط ساختمان باشد. ایجاد یک پرده برای جلوگیری از انعکاس نور می‌تواند نفوذ تابش ارزشمند خورشید که می‌تواند ساختمان را گرم کند از بین ببرد، درست همانطور که بازکردن یک پنجره به دلیل تمایل فرد به هوای تازه می‌تواند تعادل حرارتی کل ساختمان را تضعیف کند. حفظ تعادل میان دریافت آنی آسایش، و آسایش روزانه، یکی از وظایف پوسته هوشمند است.(Wigginton and Harris 2013:20)

در عمل، هوش ساختمان اغلب در رابطه با ساختمان‌هایی که احتمالا مدیریت پیچیده کابل، لایه‌های طراحی انطباق‌پذیر و انعطاف‌پذیر، یا سیستم‌های کنترل کامپیوتری پیچیده را ترکیب‌می‌کنند به‌کارمی‌رود. پروفسور Walter Kroner از موسسه Rensselaer Polytechnic ادعا می‌کند که بسیاری از ساختمان‌های به‌اصطلاح هوشمند صرفا فرم معمارانه "توسعه الکترونیکی" هستند.

تعریفی که از یک مطالعه انجام شده توسط DEGW و Technibank در ۱۹۹۲ به‌دست‌آمده است، یک ساختمان هوشمند را با عنوان "هر ساختمانی که یک محیط پاسخگو، موثر و حمایتی را فراهم می‌کند که در آن سازماندهی می‌تواند به اهداف کسب‌وکار دست یابد" توصیف می‌کند.

۶- توانایی‌های یادگیری

به موازات داشتن قابلیت تغییر، پوست نیاز به "دانستن" زمان عمل‌کردن، و چرایی آن دارد. با گذشت زمان، پوست هوشمند، با برخی از ویژگی‌های هوش بشری، باید برای توانایی یادگیری، توانایی تنظیم و تطبیق، برای برخورد با شرایط جدید، و توانایی پیش‌بینی آینده توسعه یابد. پیشرفت در علم شناختی به آن معنی است که پوست هوشمند می‌تواند واقعا توانایی‌های یادگیری الگوهای مورد استفاده و پاسخ‌های بهینه به شرایط اقلیمی خاص را توسعه دهد. این بخشی از تکامل ساختمان هوشمند است.(Wigginton and Harris 2013:31)

یک ساختمان هوشمند ممکن است در برخی از جنبه‌ها حتی بهتر از ساکنانش غریزه داشته باشد، برای مثال در غرایز (از پیش برنامه‌ریزی‌شده) آن‌ها برای بهره‌وری انرژی. یک کاربر ممکن است با خوشحالی در زمستان یک پنجره را باز بگذارد درحالی‌که گرما به فضا ارائه می‌شود. هوش ساختمان به‌جای جبران عملکرد نامناسب انسانی با پمپاژ گرما به "منطقه تحت‌تاثیر"، تصمیم این کاربر را با کاهش اتوماتیک گرما برای آن منطقه جبران می‌کند، ساختمان می‌تواند با یک هشدار عدم آسایش، مشابه واکنش انسان به درد اما در فرم ملایم، پاسخ دهد. یک استراتژی ترکیبی برای کنترل کاربر و نظارت کامپیوتری تضمین‌می‌کند که مصرف انرژی به حداقل رسیده است و ساکنان ساختمان را به‌نحوی که آن‌ها به آن عادت دارند محافظت کرده است.(Wigginton and Harris 2013:32)

پوست هوشمند می‌تواند توانایی یادگیری داشته‌باشد. برخی از نمونه‌های موردی اطلاعات آب‌وهوایی فعلی و پیش‌بینی‌شده را برای محاسبه گرمایش، روشنایی و سطح سایه‌ی بهینه برای ساختمان استفاده‌می‌کنند. شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های نرم‌افزاری مبتنی بر دانش، در ترکیب با منطق فازی، ساختمان‌هایی با توانایی یادگیری ویژگی‌های حرارتی و وضعیت انرژی خودشان، داده‌های آب‌وهوایی اخیر و یا تاریخی مرتبط، و شرایط آب‌وهوایی غالب ارائه‌می‌کنند.(Wigginton and Harris 2013:39)

در کتاب Brian Atkin، ساختمان‌های هوشمند، به سه ویژگی که یک ساختمان هوشمند باید داشته باشد اشاره شده است :

ساختمان باید آنچه در داخل و خارج اتفاق می‌افتد را فورا " بداند".

ساختمان باید کارآمدترین راه برای ارائه یک محیط مولد، راحت و مناسب برای ساکنان را "انتخاب کند".

ساختمان باید به سرعت به نیازهای ساکنان "پاسخ دهد".(Wigginton and Harris 2013:22)

در زمینه پوست ساختمان به عنوان بخشی از سیستم کلی ساختمان، مهم است که مرزهای تکنیکی و فضایی آن را در نظر بگیریم. واژه "پوست" بر مقایسه نزدیک با اپیدرم انسان، بزرگ‌ترین ارگان بدن انسان تاکید دارد، همچنین کیفیت یکپارچه و ذاتی ساختار کلی ساختمان را در بر می‌گیرد، و به خاصیت روکش مرتبط با رویکرد "روکش شکلات[1]" برای طراحی ساختمان که در معماری مراکز تجاری رایج است اشاره دارد. پوست به‌عنوان بخشی از متابولیسم و مورفولوژی کلی ساختمان عمل‌می‌کند، و اغلب به بخش‌های دیگر ساختمان، شامل سنسورها، عمل‌گرها و سیم‌های فرماندهی آمده از سیستم مدیریت ساختمان متصل خواهد بود.(Wigginton and Harris 2013:27)

پوست هوشمند به‌عنوان یک کنترل‌کننده‌ی فعال و پاسخگوی تغییرات رخداده میان محیط داخلی و خارجی، با توانایی فراهم‌کردن آسایش بهینه، توسط تنظیم اتوماتیک خود، و تصحیح خودتنظیم ساختار خود ساختمان، تعریف می‌شود. فرض بر این است که این فرآیند با حداقل استفاده از انرژی و کمترین اتکا به واردکردن انرژی به‌دست می‌آید. ساختار هوشمند پوشش ساختمان یک پوشش دینامیک، انطباق‌پذیر و انعطاف‌پذیر است، و نه یک پوشش ساکن استاتیک. اطلاعات برای کمک به کنترل و پاسخگویی از طریق سنسورهای مختلف، و پیکربندی ساختار جمع‌آوری می‌شود، و بنابراین رفتارها طی فرآیند قابل پیش‌بینی اصلاح می‌شود.(Wigginton and Harris 2013:27)

۷- اطلاعات زمینه‌ای

از نقطه‌نظر"آگاهی زمینه"، انطباق به‌معنی در اختیارداشتن نهادهای هوشمند با توانایی حس‌کردن و پاسخگویی به تغییرات در شرایط خارجی، تنظیم توابع داخلی، و اتخاذ اقدامات در مواجهه با نیازهای جاری به‌صورت مستقل، است. به‌علاوه، میزان انطباق‌پذیری یک ساختمان بیانگر آن است که، جدا از ساختن فرضیه منطقی، نهادهای هوشمند توانایی برقراری ارتباط و تعامل با کاربران را افزایش داده‌اند. زمینه، بیانگر اطلاعات موقعیتی است، آگاهی سیستم از زمینه می‌تواند استخراج، تفسیر و به‌عنوان اطلاعات زمینه‌ای استفاده شود، همچنین برای تنظیم توابع، و ارائه برنامه‌های کاربردی برای کاربران یا برای به‌انجام‌رساندن ماموریت به‌کار رود. در بررسی از پایین به بالا، تمام ساختمان‌ها شامل تعداد زیادی سوئیچ هستند، و این سوئیچ‌ها- مانند سلول‌های مغزی- می‌تواند برای ساخت یک سیستم منطقی استفاده شود. در بررسی از بالا به پایین، ساختمان‌ها و اطراف آن‌ها شامل اطلاعات زمینه‌ای دربارهٔ چه‌کسی، چه‌چیزی، چه‌وقتی، و کجا هستند. چگونه ما این اطلاعات را اعمال کنیم، و باید برای چه هدفی از این اطلاعات استفاده کنیم؟ به منظور به‌دست‌آوردن و استفاده از اطلاعات زمینه‌ای کارآمد، یک ساختمان باید شامل یک نهاد هوشمند با توانایی پردازش اطلاعات و استنباط معنای آن‌ها باشد.(S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:63)

از دیدگاه خرد، محتوای اصلی مکانیسم‌های انطباق‌پذیر در یک پلت‌فرم تئوری عامل هوشمند یکپارچه شده‌است (این مفهوم شامل آگاهی زمینه‌ای، رابط[2] و طراحی پایگاه‌داده است). ابعادی که باید در نظرگرفته شوند شامل ورودی ادراک شرایط (از جمله اطلاعات مربوط به کاربران و محیط)، مدل‌های اقدام خروجی (به‌عنوان مثال پوسته هوشمند، شامل ویژگی‌های پوسته و تغییرات در ترکیب هر سطح)، و مکانیسم‌های محاسباتی امکان‌پذیر برای انجام پردازش و ارزیابی (از جمله قوانین و شبکه عصبی و تئوری فازی، درایو مکانیسم‌های محاسباتی و انتخاب اثرات تطبیقی بهینه‌سازی‌شده و اقدامات براساس شرایط ورودی و خروجی) است. (S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:66)

در یک محیط زندگی بر مبنای عامل[3]، محققان و طراحان، به مدت طولانی درباره‌ی چگونگی انتخاب تکنولوژی‌های مناسب سردرگم بوده‌اند، و دربارهٔ چگونگی برخورد با این تکنولوژی‌ها نامطمئن هستند. برای مثال، سیستم محاسبات مبتنی بر قواعد که از منطق باینری استفاده‌می‌کند در ساختمان هوشمند تلویزیون وین به کار رفته است. یک ساختار گره کنترل سلسله‌مراتبی پراکنده[4] را به کار می‌گیرد، که در آن گره‌ها پردازش اطلاعات و نقاط کنترل تصمیم‌گیری-ساخت را تشکیل‌می‌دهند. در نتیجه، بیشتر فراکنترل‌کننده‌ها باید به‌عنوان تعدادی از دستگاه‌ها اضافه شوند. واقعیت این است که تشخیص عناصر ماژول در سیستم آسان نیست و کنترل و شرح قانون‌ها را مشکل می‌کند. در مثالی دیگر، خانه انطباق‌پذیر(Mozer 2005) یک سیستم کنترل عصبی مرکزی به نام "کنترل تطبیقی محیط خانه (ACHE)"، با یک تعادل بهینه میان راحتی حداکثر کاربران و مصرف انرژی حداقل به کار گرفته

1 chocolate wrapper
2 interface
3 agent-based
4 hierarchical control node structure

شده‌است. با این حال، در ارزیابی این سیستم دو مشکل اساسی پیدا شده است که باعث همگراشدن سیستم عصبی در یک حالت مصرف انرژی کم و راحتی کم شده‌است: مشکل اول این است که کنترل‌کننده سیستم اغلب به‌آهستگی پاسخ‌می‌دهد یا به‌درستی کار نمی‌کند، و مشکل دوم عملکرد نامناسب کاربر است. در نتیجه، سیستم تمایل به خراب‌شدن دارد، و این باعث می‌شود که سیستم محاسباتی عصبی مرکزی یادگیری نادرست داشته باشد.(S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:67)

انتخاب یک مکانیسم محاسباتی بر مبنای عامل[1] باید با درنظرگرفتن همزمان ۳ مورد موقعیت، تئوری مکانیسم محاسبات و تکنولوژی سخت‌افزار و نرم‌افزار انتخاب شود. بنابراین استفاده از مفهوم نروفازی[2] در ترکیب با منطق فازی با یک شبکه عصبی به عنوان مکانیسم محاسباتی بر مبنای عامل[3] پیشنهاد می‌شود. این رویکرد منطق بشری را با یادگیری منطقی و توانایی انطباق‌دادن همراه می‌کند. یک سیستم نروفازی این توانایی را دارد که اجازه دهد یک پوسته هوشمند براساس نمونه‌ی اطلاعات مبتنی بر تجربه کاربر، قوانین را تنظیم کند یا تغییر دهد. به بیان دیگر، یک سیستم نروفازی از گام‌های (۱) فازی‌کردن[4]: ورودی از ارزش‌های واضح و یک تابع عضویت،(۲) تعریف یک پایگاه قوانین فازی، (۳) استنتاج فازی[5]: خروجی از تابع عضویت، و (۴) غیرفازی‌کردن[6] برای ایجاد یک ساختار شبکه عصبی شبه‌چندلایه تشکیل شده است. یادگیری نروفازی وابسته به آموزش است.(S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:68)

۸- ایجاد یک پوسته هوشمند مبتنی بر عامل

یک پوسته هوشمند به‌عنوان یک روکش ساختمان که توانایی انجام فعالیت‌های هوشمند انطباقی به‌وسیلهٔ تغییر در پوسته و لایه‌های آن را دارد تعریف می‌شود (از طریق عکس‌العمل[7]، عمل[8]، تعامل[9] و ارتباطات[10])، از جمله محاسبات و استنباط براساس درک‌کردن اطلاعات خارجی مفید، و درنتیجه می‌تواند نیازهای کاربران را از جمله راحتی و پایداری محیط‌زیست برطرف نماید. تا آنجا که به فاکتورهای ادراک مربوط می‌شود، اطلاعات موثر به دو دسته اطلاعات محیط ° "مکان[11]" ° و اطلاعات کاربران داخلی تقسیم می‌شود، یک پوسته هوشمند همچنین به سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری متشکل از سنسورها، تجهیزات محاسباتی، و عناصر محرک ساختمان برای دستیابی به ادراک[12] ° محاسبه[13] ° به‌کاراندازی[14] ° ارتباطات توابع آگاهی از زمینه[15]، وابسته است. فاکتورها و متغیرهای اصلی محیط بر مبنای درایور اشیاء هوشمند مبتنی بر عامل به شرح زیر عمل می‌کنند:

اطلاعات به‌دست‌آمده از محیط و مکان می‌تواند به اطلاعات داخلی و خارجی طبقه‌بندی شود. اطلاعات خارجی شامل مواردی مانند نور، صدا، هوا، رطوبت و منظره است. اطلاعات داخلی شامل روشنایی، دما، رطوبت، امنیت و سلامتی است. اطلاعات مفید کاربران شامل موارد روانی و فیزیولوژیکی، اطلاعات روانی شامل شادی، دوست‌داشتن/دوست‌نداشتن، حفظ حریم، ترجیحات؛ اطلاعات فیزیولوژیکی شامل مکان، وضعیت، سن، جنس، قندخون، ضربان قلب، و حقیقی/حقوقی است. اقدامات تطبیقی از پوسته بیرونی می‌تواند به شکل تغییرات در پوسته و یا در لایه‌های مختلف باشد.(S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:68)

اقدامات تطبیقی انجام‌شده توسط پوسته می‌تواند به تغییرات در عملکرد و تغییرات جنبشی تقسیم شود. تغییرات عملکردی شامل تغییرات در ظاهر، متریال، رنگ، ضخامت، چگالی، الگو، یا ترکیب و تطبیق است. تغییرات جنبشی شامل تغییرات در روش بازشدن‌ها (مانند تغییر در شکل بازشو یا سایز آن)، جابجایی، حرکت انتقالی، چرخش (تغییر زاویه)، و تغییر در درجه (مانند تغییر در شفافیت یا چگالی) می‌شود. با توجه به امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، جدا از نصب سنسورها وعمل‌گرها و همفکری‌کردن با

1 agent computing mechanism
2 neuro-fazzy
3 agent computing mechanism
4 fazzification
5 fuzzy inference
6 defuzzification
7 reaction
8 action
9 interaction
00 communication
11 the place
22 perception
33 computing
44 actuation
55 communication context awareness functions

یک پایگاه‌داده زمینه‌ای[1] که حاوی اطلاعات حرکت و ادراک پیش از آن است، باید همچنین توزیع، چگونگی و تراکم سخت‌افزار سنسور و عمل‌گر و زمان اقدام آن‌ها، مانند زمان اقدامات مستمر، زمان اقدامات متناوب، و تنظیمات دوره‌ای اقدامات، در نظرگرفته شود. (S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:68) به طور مختصر، عناصر اصلی یک پوسته هوشمند از اطلاعات جمع‌آوری‌شده از خروجی سنسورها، استنتاج و محاسبه انجام‌شده توسط پردازشگرها، و جابه‌جایی نهایی عمل‌گرها (عناصر معمارانه) تشکیل شده است. یک پوسته هوشمند می‌تواند با توجه به تغییرات درمحیط خارجی به منظور حفظ بهینه راحتی کاربر و پایداری محیط‌زیست تغییر کند و تنظیم شود.(S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:69)

۹- استفاده از تئوری عامل هوشمند[2]

یک سیستم کنترل مبتنی‌برعامل می‌تواند به دو بخش پاسخگو برای توصیف‌کردن و تنظیمات پاسخ‌ها و اقدامات ابزارهای هوشمند تقسیم شود. مورد اول شامل یک ماژول عامل هوشمند مستقل و طرح‌ها و مکانیسم‌های محاسباتی است و مورد دوم شامل مجموعه عامل هوشمند و مدل تعاملی آن است. عامل‌های نرم‌افزاری قادر به درک محیط و انتخاب یک اقدام[3] برای پیاده‌سازی تاثیر محیط هستند. به‌اصطلاح ادراک توسط سنسورها انجام‌می‌شود به‌صورتی که اطلاعات از محیط دریافت می‌شود، به بیان دیگر اقدامات به توانایی عامل‌ها برای تاثیر از محیط بازمی‌گردد. عامل‌ها باید قادر باشند به‌سرعت واکنش نشان دهند، و باید همچنین فعالانه برای رسیدن به اهداف خود کار کنند. کلید ایجاد تعادل بین عمل و عکس‌العمل در تغییرات وضعیت نهفته است؛ شرایط خاص می‌تواند به‌عنوان وقایع شناخته شود. (S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:70)

برنامه‌ها و زیربرنامه‌ها باید تدوین شود تا اطمینان حاصل شود که سیستم می‌تواند به‌طور موثر به هدف‌هایش دست‌یابد؛ این برنامه‌ها و زیربرنامه‌ها علت و تاثیر ارتباط بین رخدادهای ادراک‌شده و اقدامات خروجی را شرح‌می‌دهد. در نتیجه، هر ماژول اساسی عامل[4] مرکب از سنسورها، مکانیسم‌های محاسباتی و عمل‌گرها، از جمله سخت‌افزار و نرم‌افزار، است. عامل‌های نرم‌افزاری اطلاعات دریافت‌شده از سنسورها یا عامل‌های دیگر را از طریق یک مدل رویدادمحور پردازش می‌کنند، و سپس اجزای داخل ساختمان بر حسب پلان‌ها و زیرپلان‌ها جلو می‌روند، و عکس‌العمل، فعالیت، و رفتارهای تعاملی انطباق‌پذیر انجام می‌شود. عکس‌العمل[5] به اقدام فوری انجام‌شده توسط یک عامل پس از دریافت اطلاعات بدون انجام محاسبات اشاره دارد. فعالیت[6] به اقدام صورت‌گرفته به پیروی از محاسبات پس از دریافت اطلاعات اشاره دارد. تعامل[7] به ارتباط میان یک عامل با عامل‌های دیگر یا یک شخص توسط یک رابط اشاره دارد. (S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:70)

مجموعه عامل‌ها می‌توانند رفتارهای تعاملی هماهنگ یا تعاونی را (شامل ارتباطات یک به یک، یک به چند و چند به چند) از طریق پروتکل‌های ارتباطی متداول، پایگاه‌داده‌های به اشتراک گذاشته‌شده، پیام‌ها و پیام‌های منتقل‌شده توسط مجموعه عامل‌ها به وجود بیاورند. سطوح و روابط پیرو از عامل‌ها با یک جامعه ممکن است تغییر کند، به‌صورتی که آن‌ها برای دستیابی به یک هدف یا ماموریت دوباره به هم وصل شوند. یک پوسته هوشمند مبتنی بر عامل به سه عنصر اصلی نیاز دارد: سنسورها، یک ابزار محاسبه و عمل‌گرها. یک ثبت‌کننده داده[8] یک ابزار محاسباتی و یک مرکز اکتساب داده است؛ توانایی دریافت داده از سنسورهای متعدد را دارد و امکان طراحی برنامه را فراهم‌می‌کند. با استفاده از ثبت‌کننده داده به عنوان هسته محاسباتی پوسته هوشمند، پردازش داده انجام می‌شود. (S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:72) اگر یک تابع آگاهی از زمینه مبتنی بر تجربه کاربر را به‌عنوان یک هدف طراحی عامل در نظر بگیریم، منطق فازی از آنجا که می‌تواند یک طبقه‌بندی نزدیک به انسان از احساسات و روش استنباط داشته باشد نسبت به بقیه مکانیسم‌های استنباطی برتر است، و همچنین می‌تواند اثرات خروجی مکانیکی مداوم تولید کند. به عبارت دیگر، چنین سیستمی نیازی به پیروی از مقدار آستانه محدودیت‌های استدلال مبتنی بر قانون، که باعث ناپیوستگی اقدامات می‌شود، ندارد. به غیر از داشتن ویژگی‌های یادگیری بیولوژیکال یا انسانی و انتقال تجربه به‌دست‌آمده از استنتاج خبره‌ها، یادگیری

1 contextual
2 intelligent agent theory
3 action
4 agent's basic module
5 reaction
6 proaction
7 Interaction
8 data logger

نروفازی از یادگیری نادرست و معیوب جلوگیری می‌کند. نتایج شبیه‌سازی وضعیت نشان‌می‌دهد که استفاده از عامل‌هایی که تنها دارای توانایی محاسبات وابسته به استنتاج هستند در برقراری یک عملکرد آگاهی از زمینه مبتنی بر تجربه کاربر ناکافی است. در عوض، عامل‌ها باید دارای توانایی یادگیری باشند، و با تکیه بر یادگیری دائمی برای رسیدن به آشنایی و به‌دست‌آوردن تجربه زندگی کاربران توانا باشند. (S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:81)

Chen Yuan Chen و Shu-Fen Chang در مقاله خود در سال ۲۰۱۰ تایید کردند که عامل‌ها می‌توانند متکی بر استنتاج منطق فازی و یادگیری نروفازی برای استفاده از تجربه کاربر برای تنظیم درجه پشتیبانی قوانین فازی، و در نتیجه حذف تفاوت بین قوانین خبره و استفاده واقعی باشند. علاوه براین، در یک محیط دارای فاکتورهای پیچیده بسیار، عامل‌های مستقل نمی‌توانند به آسانی ماموریت خود را در انزوا کامل‌کنند. در عوض، مجموعه‌ای از عامل‌ها باید با تکیه بر همکاری و هماهنگی مشکلاتی که با آن مواجه‌اند را حل کنند. به‌طورخاص، زمانی‌که اقدامات عامل‌ها باعث تضادها و ایجاد معضلات می‌شود، همکاری و هماهنگی مجموعه عامل‌ها برای برطرف‌کردن مشکل موردنیاز است. (S.-Y. Chen, Chang, and Al-Qutayri 2010:81)

اغلب محیط‌ها و سیستم‌های تعاملی، هوشیار و هوشمند با اتکای بر سیستم‌های حس‌گرمحور به کار خود ادامه می‌دهند. یکی از مطلوب‌ترین و مهم‌ترین آرمان‌های مهندسان طراح چنین سیستم‌هایی، چگونگی اتصال یکپارچه و تمام‌وکمال بین حس‌گر و عمل‌گرها با سطوح فضا یا کالبد مواد مورد استفاده در فضاهای هوشمند است.(گلابچی, تقی زاده, و سروش نیا, ۴۴۳:۱۳۹۱)

۱۰- نتیجه‌گیری

امروزه کمبود منابع انرژی از نگرانی‌های اصلی جامعه جهانی است. با توجه به میزان بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها و هزینه بالای آن‌ها، استفاده از فناوری‌های نوین و کاربرد هوش در بخش‌های مختلف ساختمان می‌تواند نقش موثری در کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها داشته باشد. با رشد سریع سامانه‌ها و مواد هوشمند در دهه‌های اخیر شاهد تغییر شیوه طراحی به‌خصوص در مورد پوسته ساختمان‌ها هستیم. در این میان تلفیق روش‌های نوین طراحی سیستم‌ها، مانند مدل‌سازی مبتنی‌برعامل (ABM) باعث پیشرفت هرچه بیشتر این روند خواهد شد.

منابع

۱- ادینگتون، دی. میچل، ال. اسکودک، "مصالح هوشمند و فناوری‌های جدید برای معماران و طراحان"، ترجمه شیما روشن‌ضمیر، مرتضی فرهادیان دهکردی. نشر: خاک، اصفهان ۱۳۹۰.

۲- ساعتچی اصل, م., و قراویس, ا.(۱۳۹۱). پایداری محیطی در ساختمان‌های هوشمند شهر و منظر.(12 .pp. 4˚)

۳- عابدی, ر., و شاهچراغی, آ. (۱۳۹۴). کاربرد پوسته های هوشمند در کاهش آلودگی هوا .(12 .pp. 1˚) ارومیه: دومین همایش معماری، عمران و توسعه نوین شهری.

۴- گلابچی, م., تقی زاده, ک., و سروش نیا, ا. (۱۳۹۱). نانوفناوری در معماری و مهندسی ساختمان. انتشارات دانشگاه تهران

5- Chen, Liang. 2012. Agent-Based Modeling in Urban and Architectural Research: A Brief Literature Review. Frontiers of Architectural Research 1 (2). Elsevier: 166˚77. doi:10.1016/j.foar.2012.03.003.

6- Chen, Shang-Yuan, Shu-fen Chang, and M A Al-Qutayri. 2010. Applying Agent-Based Theory to Adaptive Architectural Environment ˚ Example of Smart Skins. Smart Home Systems, no. July 2016 (February). InTech: 63˚85. doi:10.5772/8409.

7- Gunderson, Rachele Danorah. 2015. RESPONSIVE BUILDING ENVELOPES; Active Apertures for Chinooks. Carleton University.

8- Loonen, RCGM. 2010. Climate Adaptive Building Shells. Master of Science Thesis. TU Eindhoven, no. 3.

9- Mozer, Michael C. 1998. The Neural Network House: An Environment That Adapts to Its Inhabitants. American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium on Intelligent Environments, no. December: 110˚14. doi:SS-98-02/SS98-02-017.

10- ˇˇ. 2005. Lessons from an Adaptive Home. In Smart Environments, 271˚94. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/047168659X.ch12.

11- Wigginton, Michael, and Jude Harris. 2013. Intelligent Skins. Routledge.