نشریه علمی تخصصی شباک
سال ششم، شماره ۲ (پیاپی: ۵۳)، خرداد ۱۳۹۹
ISSN: 2476-3667

انسان، ربات، معماری.
چگونه ربات‌ها ساخت را دگرگون خواهند کرد؟

بهنام گلپاشا[۱]

چکـیده

در دهه‌های آینده آنچه مسلم است استفاده گسترده از صنعت رباتیک در ساخت می‌باشد که این موضوع منجر به تحولی شگرف در معماری خواهد شد. روش‌ها و تکنیک‌های ساخت به طور کامل دگرگون شده و پروسه‌های ماشینیزه جای روش‌های فعلی را در ساخت خواهد گرفت. هزینه‌های عملیات ساختمانی و نیاز به نیروی انسانی به طرز چشمگیری کاسته می‌شود، در طرف مقابل سرعت، دقت، ایمنی و امنیت افزایش خواهد یافت. این‌ها تنها مواردی نخواهند بود که ساخت به کمک ربات‌ها برای معماری آینده به ارمغان خواهد آورد. درک این نکته که در سال‌های اخیر پروژه‌های بسیاری در سراسر دنیا با استفاده از این ربات‌های سازنده ساخته شده‌اند کمک شایانی به پذیرش هرچه بیشتر و بهتر این تکنیک‌ها از سوی مؤسسات آموزشی، استودیوها و آتلیه‌های معماری و حتی سرمایه‌گذاران خواهد کرد. به هر حال نباید فراموش کرد معماری رباتیک هنوز در ابتدای راه خود قرار دارد اما در همین مدت کم هویت مستقل خود را به عنوان یک گفتمان جدید در معماری عصر دیجیتال اثبات نموده است.

واژگـان کلـیدی: معماری، طراحی رایانشی، انقلاب دیجیتال، ربات‌های سازنده، تحول.

۱- کارشناس ارشد معماری دانشگاه تهران. *B.golpasha@ut.ac.ir*

www.SID.ir

۱- مقدمه

استفاده از کامپیوتر به عنوان ابزار و دستیاری در روند طراحی بیش از سه دهه است که در بین معماران و طراحان پذیرفته شده و نقش خود را اثبات نموده است و در این مدت کم، هم در روند طراحی و هم در قسمت اجرا و ساخت مورد استفاده قرار گرفته و نتایج فراگیر و گسترده ای برجای گذاشته؛ علاوه بر این، انقلاب سالهای اخیر درخصوص کامپیوتر صرفا به عنوان یک ابزار مطرح نیست بلکه مربوط می‌شود به نقش آن در شبکه های ارتباط از راه دور در سراسر جهان. با پیدایش کامپیوتر و اثبات نقش کلیدی آن در عصر حاضر، معماران، هنرمندان، طراحان رسانه و نظریه پردازان در مورد پیامد های ناشی از گسترش روزافزون کابرد کامپیوتر اقدام به تحقیق و پژوهش نموده اند. ابزارهای موجود در عصر دیجیتال طیف وسیعی از رویکردها را در اختیار ما قرار می دهد؛ از معمارانی که تکنیک‌های کامپیوتری را در روش‌های کاری خود به شیوه ای کارآمدتر و اکتشافی تر منظور می کنند تا فعالیت هایی که بر اساس این باور شکل گرفته که کامپیوتر به تدریج باعث تغییر ماهیت معماری از حیث روند طراحی و سطوح سامان دهی و تجربه و در نهایت پیدایش گفتمانی جدید خواهد شد. (اندجی گرمارودی، ۱۳۹۱: ۴۲).

فضای دیجیتال نه به عنوان یک جنبش هیجانی، بلکه مفهومی است که کمک می کند کوشش هایی که برای ثبت نقش کامپیوتر در معماری انجام شده‌اند را بهتر دریابیم و با آنها مرتبط شویم .استراتژی ما به جای تلاش بیهوده برای اعتبار بخشیدن به شیوه ی متعارف تفکر معماری در یک حوزه متفاوت، باید معطوف به نفوذ معماری در دیگر رسانه ها و حوزه های دانش به منظور تولید اشکال هیبریدی جدید باشد؛ کامپیوتر دقیقاً همین امکان را با تقلیل همه چیز به جریانی منفصل از داده ها و کمیتها در اختیارمان قرار می دهد.

۲- طراحی دیجیتال

در حال حاضر کامپیوتر در نقش یک "کمک طراح هوشمند" در کنار انسان ظاهر شده است و نقش آن از یک ابزار ترسیم یا مدلسازی فراتر رفته است و می تواند نقش یک پردازشگر فرم و اطلاعات معماری را ایفا کند. در دهه‌های اخیر، معماران زیادی از طراحی دستی و نگرش اجرایی به معماری، به سمت طراحی کامپیوتری و فرم محور در معماری روی آورده اند. این جابه جایی در عین حال که موثر بوده است اما هنوز به کمال مطلوب خود نرسیده است. یک دلیل بر این ادعا، عدم درک صحیح از ادبیات طراحی دیجیتال است و دلیل دیگر، عدم آموزش معماری الگوریتمیک برای معماران است. امروزه با وجود استفاده بیشتر معماران از کامپیوتر، به سختی می توان موردی را یافت که در آن، از توان و پتانسیل واقعی کامپیوتر استفاده شده باشد؛ بسیاری از دفاتر بزرگ معماری و معماران مشهور معاصر، از کامپیوتر به عنوان ابزاری برای ارائه طرح ها و بازاریابی استفاده می کنند. شاید به جرات بتوان گفت، معماری تنها هنری است که به مفهوم واقعی کاربردی بوده و در زندگی روزمره مردم نقشی مهم بر عهده د ارد، بدین مفهوم که ساخته دست هنرمند، دکور نیست و در نهایت توسط ساکنان استفاده می‌شود، فارغ از عملکرد آن باید دارای شرایطی باشد که بتواند با زندگی مردم ترکیب شود. این مفهوم متفاوت معماری با دیگر هنرها، باعث می‌شود که ایده اصلی تا وقتی به مرحله تطابق با زندگی برسد، مراحلی را طی کند؛ لایه های مختلف روی کانسپت پیاده می شوند تا ایده را تبدیل به ساختمان و ساختمان را قابل استفاده برای مردم کنند. (ناصری، ۱۳۹۰: ۷).

۲-۱ طراحی به کمک کامپیوتر:"C.A.D"

تا کنون ابزارها و رسانه های متنوعی برای طراحی و بیان ایده های معماری استفاده شده‌اند. بدون شک ساخت و تولید انواع خط کش و گونیا، انواع ابزارهای ترسیمی و قلم ها و ابزارهای نقشه کشی و ... هر کدام به اندازه خود و در زمان خود بر نحوه طراحی و ارائه ساختمان ها اثر گذاشته اند؛ اما از حدود ۱۹۷۰ به بعد استفاده از کامپیوتر به عنوان یک وسیله ترسیمی و بیانی، برای تولید نقشه های معماری تغییرات شگرفی بر این جریان اعمال کرد.

نرم افزارهای (Computer-Aided Design),C.A.D یا "طراحی به کمک کامپیوتر" به طراحان اجازه دادند تا ایده های خود را بسیار راحت تر از گذشته ترسیم کرده و ارائه دهند. اجرای این برنامه ها بر روی کامپیوترهای شخصی منجر به گسترش بسیار سریع آنها شد. کامپیوترها به سرعت توانستند جایگزین روش‌های سنتی نقشه کشی شوند و ابتدا در ترسیمات دو بعدی و بعد ترسیمات سه بعدی به عنوان ابزاری کارآمد در شرکت ها به خدمت گرفته شوند. یک اپراتور کامپیوتر می توانست کار چندین نفر نقشه کش را با دقت بالا و سرعت مناسب انجام دهد. نقشه های با دقت بالا و جزئیات دقیق و امکان ارائه در مقیاس های مختلف از امکانات این سیستم بودند و استفاده از کتابخانه های مجازی داده های ساختمانی نظیر جزئیات اجرایی، از مزایای بعدی این سیستم ها می باشند. موضوع بهره گیری از کامپیوتر در معماری، به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود: بخش اول استفاده از یک محیط طراحی دیجیتال برای غنی کردن طرح و بخش دوم استفاده از امکانات دیجیتال برای اجرای طرح.

www.SID.ir

در عین حال، این دو بخش در یک گفتمان واحد معنا پیدا می کنند و باید یک تفکر و نگاه همه جانبه بر تنظیم رابطه بین این دو بخش حاکم باشد. این زبان مشترک و گفتمان جامع، سامانه ی طراحی و ساخت دیجیتال یا C.A.D/C.A.M نامیده می‌شود؛ هدف این ربان مشترک بطور خلاصه، طراحی و تولید بنا با استفاده از ابزارهای دیجیتال است. بهره گیری از این ابزارهای دیجیتال، ضمن کاهش امکان بروز خطاهای انسانی، امکانات گسترده ای را نیز که در این محیط ها وجود دارند مانند تجزیه و تحلیل های گوناگونی که می تواند در محیط دیجیتال با صرف وقت و هزینه کمتر صورت پذیرد، در اختیار طراحان قرار می دهد. (پیکوان، ۲۰۱۳: ۳۵).

۲-۲ فب – لب ها یا آزمایشگاه های معماری

فب – لب ها بخشی از یک طرح و دیدگاه جهانی هستند که از آمریکا سرچشمه گرفته است. نقطه آغاز آن، یک واحد درسی دانشگاهی بود به نام "چه گونه می توان تقریبا همه چیز را ساخت؟" و پروفسور نیل گرشنفیلد از اساتید دانشگاه تکنولوژی ماساچوست آن را تدوین و تدریس می کرد. از حدود هشت سال پیش که او، کتاب خود با عنوان "فب: انقلاب آینده در کامپیوترهای شخصی" را منتشر کرده، حدود ۲۰۰ مورد از این آزمایشگاه های ساخت و طراحی در بیش از ۴۰ کشور جهان شروع به کار کرده اند. همه ی آن ها اصطلاحا با عنوان "فب لب" شناخته می شوند. پروفسور گرشنفیلد، معتقد است که انقلاب دیجیتال روی داده است و ما در مسیر عملی کردن آن هستیم. او می گوید که چالش اصلی این فب – لب ها در حقیقت بهره برداری و تحت کنترل در آوردن قدرت اختراع نهفته در جهان امروزی و بکارگیری آن برای تولید پاسخ های مناسب به مشکلات و سوالات است. این "فب – لب"ها دو وظیفه ی آموزش و ساخت طرح های اقتصادی – تجاری را با هم ترکیب می کنند و در واقع، محیطی فراهم می کنند که علاقمندان به هر دو عرصه می توانند با هم همکاری کرده و از یکدیگر بیاموزند. درعین حال، پروفسور گرشنفیلد با توصیف های اغراق آمیز رسانه ها از قابلیت های این روش‌های اجرا و ساخت که عموماً به وسیله چاپگرهای سه بعدی ساخته می شوند مخالف است. (خبازی، ۱۳۹۱: ۱۹).

۳- ساخت به وسیله ربات‌ها

با نگاهی به سابقه موضوعاتی نظیر فب – لب ها، لابراتوار های معماری، ورکشاپ های معماری پارامتریک و الگوریتمیک، سمینارهای برگزار شده در حوزه معماری دیجیتال و موضوعات اینچنینی در می یابیم که این جریان در عین نوپا بودن، در درون خود موضوع استفاده از ربات‌ها و صنعت رباتیک و روش‌های نوین ساخت را خلق نموده است. شاید تا سال ۲۰۰۵ کسی نام Matthias Kohler و Fabio Gramazio را به اندازه آوازه امروزی آنان نمی دانست، اما در حال حاضر جهان معماری از این دو فرد به عنوان پایه گذاران و اولین مهندسانی که از ربات‌ها به عنوان تکنیک آنالیز و ساخت استفاده نمودند نام می برد. دانشگاه ETH Zurich محلی بود که اولین نمونه های ساخت با این روش نه به صورت کاملاً هوشمند و اتوماسیون شده، بلکه به صورت کنترل دستی ساخته شده و رنگ واقعیت به خود گرفت. (تقی زاده، ۱۳۸۵: ۷).

فعالیت لابراتوار گرامازیو و کوهلر در دانشگاه زوریخ باعث به وجود آمدن گفتمانی به نام معماری رباتیک و یا ساخت به وسیله ربات‌ها "Construction + Roboticism" گردید که در نتیجه الگوها و طرح واره های نوینی در معماری شکل گرفت، الگوهایی که تا قبل از آن به دلیل فقدان دانش و تکنیک‌های ساخت اغلب امکان پذیر نبود. در سال ۲۰۱۴ کتابی با عنوان How Robots Change Architecture توسط انتشارات Park Book منتشر شد که در آن معماری رایانشی یا به عبارت دیگر تراحی (تراحی = تحقیق + طراحی)، علوم متریال های نوین و تئوری های نوپا در معماری دیجیتال از دیدگاهی متفاوت دیده شده بود، دیدگاهی که نه در زمان گذشته و حال، بلکه از نقطه نظر معماری آینده به تغییرات زمان حال و بستری که این گفتمان جدید به وجود آورده می نگریست. (گرامازیو. کوهلر، ۲۰۱۲: ۶۳).

در هر ساختی، عوامل متعددی در کنترل بر پروژه موثر بوده و باعث نمود ویژگی ها و شاخصه هایی در آن می گردد. در معماری دیجیتال و به صورت دقیق ار آنچه در اینجا به عنوان تکنیک ساخت به وسیله ربات‌ها مطرح شده دو موضوع نقش اصلی را ایفا می کنند که عبارتند از: ۱- تراحی ۲- دانش مصالح شناسی. (منگس، ۲۰۱۱: ۱۷). تراحی رایانشی و یا به صورت جامع تر، علم و دانش طراحی معماری، نه صرفاً از دیدگاه زیبایی شناسی و عملکردی، بلکه از دیدگاه معماری به عنوان یک علم که در آن کامپیوتر نقش کلیدی دارد، در سال‌های اخیر توانسته تاثیر خود را به نحوی بر گفتمان معماری معاصر جهان بگذارد که دیگر تصور دنیای معماری بدون آن ها ممکن نیست. این گفتمان جدید، معماری را به یکی از موضوعات اصلی عصر دیجیتال تبدیل نموده، به نحوی که توانسته با نمونه های موفق بسیاری در سراسر جهان محیط انسان ساخت را غنابخشی کرده و هویتی مستقل و شاخص بیاید. با شروع قرن بیستم، صنعتی سازی، انبوه سازی، افزایش دقت در ساخت، افزایش بهره وری، افزایش سرعت ساخت، کاهش

www.SID.ir

اتکا به نیروی انسانی و کاهش هزینه ها همواره دغدغه معماران، سرمایه‌گذاران و سیاست گذاران این حوزه بوده، اما در ابتدای مسیر به دلیل فقدان رابطه میان معماری به عنوان طراحی و رباتیک به عنوان دانش ساخت به وسیله ربات‌های سازنده باعث شد تا یک پلتفرم جامع برای رسیدن به هدف وجود نداشته باشد، اما طراحی رایانشی، این امکان را به وجود آورد تا صنعتی سازی ساختمان ها چه در محیط و مقیاس آتلیه و استودیو معماری و چه در محیط کارگاهی و مقیاس واقعی رنگ واقعیت به خود بگیرد. (منگس، ۲۰۱۱: ۲۳).

به کار گیری هوش مصنوعی در معماری، گسترش استفاده از نرم افزارهای C.A.D, رشد سریع FAB – LAB ها یا همان آزمایشگاه های معماری و در نهایت استفاده از ربات‌های سازنده این امکان را به وجود آورد تا شاهد به وجود آمدن فرم های جدید در معماری باشیم که این موضوع سبب ایجاد معیارها و ارزش های نو در زیبایی شناسی معماری گردید. در ساخت به وسیله ربات‌ها، متریال ها و مصالح دیگر صرفاً نقش تک بعدی ایفا نمی کنند، بلکه آن ها جزئی از یک کل فراگیر خواهند بود که هریک به صورت منفرد بی معنی می باشند. با گسترش دانش رباتیک، مصالح معانی و مفاهیم جدیدی یافته اند که این خود بستری برای خلاقیت هر بیشتر ایجاد کرده است. استفاده از ربات‌ها این امکان را می دهد تا محدودیت ها برداشته شود، در زمینه معماری به کارگیری ربات‌ها هزینه‌های ساخت و اتکا به نیروی انسانی را کاهش و در نتیجه دقت و سرعت اجرای عملیات بیشتر می‌شود، ضمن اینکه امکان بروز خطاهای انسانی نیز به حداقل ممکن می رسد. یکی از مزیت های استفاده از ربات‌ها به عنوان جایگزینی برای نیروی انسانی این است که ربات‌ها قادرند تا وظایف و دستورات را به صورت نامحدود انجام دهند، در صورتی که انسان این قابلیت را نداشته و به نوعی یک محدودیت به شمار می آید. (دان، ۲۰۱۲: ۲۱).

این روزها می بینیم و می شنویم که آسمان خراشی در مدت ۴۸ ساعت ساخته شده است، یا مجموعه های طراحی و ساخته شده‌اند که رویکرد صرفه جویی در مصرف انرژی در آن ها با کمک ربات‌ها محقق شده است. این ها همه گوشه ای از قابلیت‌هایی است که در دنیای ساخت به وسیله ربات‌ها وجود دارد.

۴- صنعت رباتیک در افق ۲۰۲۰

انسان ها از گذشته های دور همیشه آرزو داشتند که روزی بتوانند ماشین هایی را در اختیار داشته باشند که انجام بسیاری از اموری که به آنها محول می‌شود را بر عهده گیرند و از دستورات آنها اطاعت کنند. به طور کلی صنعت رباتیک، فناوری وابسته به ابزارهای مکانیکی است که از طریق سیستم های کامپیوتری کنترل می‌شود. در حقیقت دستگاه هایی که در کارخانه ها در فرآیند ساخت و تولید محصولات مختلف مورد استفاده قرار می گیرند نیز نوعی ربات هستند که قابلیت انجام کارهای محدودی را دارند .

ساده ترین و ابتدایی ترین ربات‌های سیار، نخستین بار برای رساندن نامه های اداری در سازمان ها و مؤسسات و همچنین جمع آوری و رساندن قطعات مورد نیاز برای تولید یک محصول خاص در کارخانه ها مورد استفاده قرار گرفتند. ربات‌ها همانند کامپیوترها قابل برنامه ریزی هستند و با توجه به برنامه ای که برای آنها در نظر گرفته می‌شود می توانند کارهای مختلفی را انجام دهند، اما آنچه امروزه زندگی ما انسان ها را تحت تاثیر خود قرار داده است قابلیت های نامحدود ربات‌ها در اجرای وظایف با دقت وسرعت بالا می‌باشد که در مقایسه با نیروی انسانی مزیتی بسیار بزرگ به حساب می آید. در آینده ای نه چندان دور شاهد آن خواهیم بود که ربات‌ها در تمام ارکان زندگی بشر وارد می شوند، هر خانواده حداقل یک ربات را به خدمت خواهد گرفت؛ درست همانطور که هر خانواده هم اکنون یک کامپیوتر در اختیار دارد. ربات‌ها کارهای بیشماری را برای صاحبان خود انجام خواهند داد، از مراقبت از سالمندان و بیماران گرفته تا ساخت بناها و کمک به پزشکان در عمل های جراحی پیچیده و سایر موقعیت های بحرانی. (سوور، ۲۰۰۶: ۷۰).

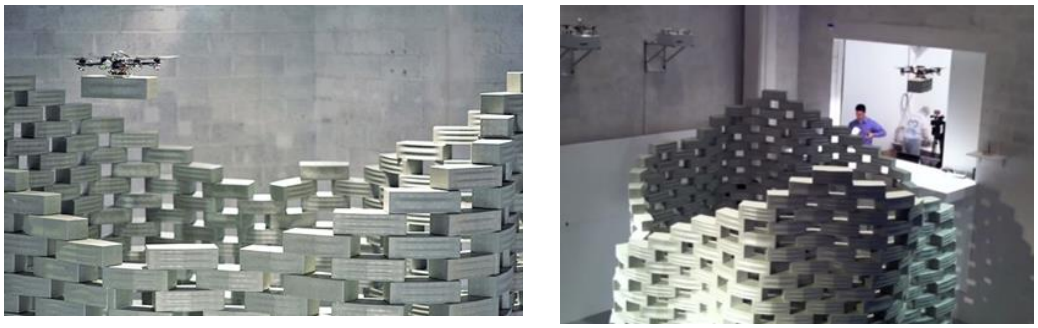
فن آوری رباتیک می تواند تاثیر زیادی بر روی ساخت سریع، مقرون به صرفه و ایمن در زمینه ساخت و ساز و پروژه‌های ساختمانی داشته باشد. ربات‌ها می توانند میزان کارهای دستی و صدمات را کاهش دهند و کارهای بسیاری مانند ساخت یک خانه آجری یا ساخت یک پل فلزی را به سرعت و با دقت بالا انجام دهند. در واقع پیشرفت ربات‌ها و ماشین آلات به ما کمک می کند کارهای ساختمانی را بهتر، قوی تر و اغلب زیست پسند و پایدار انجام دهیم. در حال حاضر استودیو های بسیاری در سراسر دنیا بر روی ساخت به وسیله ربات‌ها پژوهش می کنند و موارد بسیاری به مرحله ساخت در مقیاس واقعی رسیده است. نمونه های موفقی از بکارگیری ربات‌ها را می توان در ساخت آسمان خراش ها، پل ها، سازه ها و حتی مبلمان و دکوراسیون داخلی مشاهده کرد.

سال گذشته در آمستردام، یک پل عابر پیاده فولادی به صورت سه بعدی چاپ شده توجه جهان را به خود جلب کرد. این پل جدیدترن سازه در سری پروژه‌های نوآور شرکت ساخت و ساز هلندی به نام Heijmans بود. این پل با همکاری MX3D و Joris Laarman طراح هلندی ساخته شد و نشان می دهد چگونه ربات‌های می توانند آینده ساخت و ساز را بهبود بخشند.

www.SID.ir

شکل ۱- ساخت پل عابر پیاده در مقیاس واقعی بر روی رودخانه ای در آمستردام (ماخذ: استودیو MX3D)

در سال ۲۰۱۱ گروهی از ربات‌های پرنده برای اولین بار در زمینه رباتیک و معماری موفق شدند یک برج در فرانسه بسازند. این پروژه Flight Assembled Architecture نامیده شد و توسط چندین معمار مشهور طراحی شد. این برج از ۱۵۰۰ آجر پلی استایرن با ۱۱ فوت عرض و ۲ فوت طول ساخته شد. این برج دقیقا یک آسمان خراش نیست اما می تواند یک نگاه اجمالی به آینده ساخت و ساز باشد. (گیلین، ۲۰۱۱: ۱۴).



شکل ۲- استفاده از ربات‌های پرنده برای ساخت ماکت یک پروژه (ماخذ: آتیه رباتیک دانشگاه ETH Zurich)

۵- ظرفیت‌های دانش رباتیک در تراحی معماری

در یک پژوهش در بین دانشجویان معماری، یک موضوع مشخص و از پیش تعیین شده در دو آتلیه معماری به دانشجویان ارائه گردید. در یک استودیو دانشجویان امکان استفاده از تکنیک‌های C.A.D و بازوهای رباتیک به منظور ساخت نمونه نهایی طرح خود را دارا بوده و در آتلیه دیگر محدودیت در استفاده از این روش‌ها به منظور ساخت محصول نهایی وجود داشت. در نهایت مشاهده شد که آتلیه معماری که دانشجویان آن از تکنیک ساخت به وسیله ربات‌ها بهره می بردند اتدها و محصول نهایی به مراتب خلاقانه تر و با جزییات بیشتر را به نمایش گذاشتند، اما در آتلیه دوم دانشجویان خلاقیت های فرمی و حجمی و دید کل نگر را در ارجحیت قرار داده و وارد چالش های دیگر نگردیدند. نتیجه این پژوهش از قبل برای طراحان آن قابل پیش بینی بود، اما نشان دادن تفاوت ها در محصول نهایی نکته ای بود که پژوهشگران به دنبال آن بودند، اینکه ابزار و تکنیک‌ها تا چه میزان بر خلاقیت و نگرش دانشجو نسبت به روند طراحی و در نهایت محصول نهایی تاثیر می گذارد.

۶- نتیجه‌گیری

در طول بیست سال گذشته انقلاب تکنولوژیک، بر دیسیپلین طراحی و ساخت معماری تاثیرگذاشته و و آن را به موضوع کاملا متفاوتی تبدیل کرده است، به طوری که محیط آموزشی دستخوش تغییرات بسیاری نه تنها در زمینه روش تدریس، بلکه در ماهیت برنامه های پژوهشی شده و دگرگونی هایی را به وجود آورده است. تا بیست سال پیش برنامه های دوره های دکتری بیشتر در زمینه تئوری و تاریخ بودند اما کم کم برنامه های جدیدی در دانشگاه ها و مؤسسات ایده بنیان و پیشرو در زمینه معماری که روی تکنولوژی، طراحی رایانشی، مصالح و متریال های نو و ... تمرکز داشتند به وجود آمد. نتیجه و خروجی این دوره منجر شد که پژوهشگران دوره دکتری دیگر تنها منتقد و نظریه پرداز نباشند، بلکه در طراحی، ساخت و تولید هم مشارکت می کردند.

در سال‌های اخیر با فراگیر شدن مزیت های استفاده از ربات‌ها در معماری و گسترش رابطه معماری با صنعت ساخت به وسیله ربات‌ها، بسیاری از دانشگاه های دنیا اقدام به تجهیز دپارتمان ها و دانشکده های معماری خود به فب – لب ها یا همان آزمایشگاه

www.SID.ir

های معماری نموده اند تا دانشجویان با این تکنیک‌ها آشنایی و در نهایت پروتوتایپ ها و محصول نهایی روند طراحی خود را با استفاده از این روش‌ها اجرا نمایند. ورود صنعت رباتیک به محیط های آکادمیک و فراگیر شدن هرچه بیشتر این تکنیک‌ها در بین دانشجویان به خصوص دانشجویان و اساتید حوزه معماری و ساخت باعث می‌شود تا این گفتمان با سرعت بیشتری خود را اثبات نموده و تفاوت ها و مزیت های این متدلوژی با روش‌های قبلی هرچه بیشتر آشکار شود.

منابع

۱- گلابچی، محمود/ اندجی گرمارودی، علی/ باستانی، حسین/۱۳۹۱/ معماری دیجیتال /انتشارات دانشگاه تهران.

۲- ناصری، حسین،۱۳۹۰، "مغز دیجیتال معماری"، ماهنامه همشهری معماری، شماره ۱۱.

۳- پیکون، آنتوان، سال ۱۳۹۲، "فرهنگ دیجیتال در معماری"، ترجمه ی مرتضی خیاط پورنجیب، انتشارات پرهام نقش.

۴- خبازی، زوبین" .پارادایم معماری الگوریتمیک ."مشهد، کتابکده تخصصی هنر، معماری و شهرسازی کسری، ۱۳۹۱.

5- Willmann, J., Kohler, M., Gramazio, F.: Digital by Material: Towards an Extended Material Performance in Architecture. In: Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design, RobArch 2012, pp. 12–27. Springer, Vienna (2012)

6- Menges, A.: Integrative Design Computation: Integrating Material Behaviour and Robotic Manufacturing Processes in Computational Design for Performative Wood Constructions. In: Proceedings of the 31th Conference of the Association For Computer Aided Design In Architecture (ACADIA), Banff, Canada, pp. 72–81 (2011)

7- Dunn, N.: Digital Fabrication in Architecture, pp. 26–39. Lawrence King Publishers, London (2012)

8- Soar, R.: Additive Manufacturing technologies for the Construction Industry. In: Hopkins, N., Hague, R., Dickens, P. (eds.) Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age, pp. 249–273. John Wiley & Sons, London (2006)CrossRef

9- Helm, V., Ercan, S., Gramazio, F., Kohler, M.: Mobile Robotic Fabrication on Construction Sites. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vilamoura, pp. 4335–4341 (2012)

10- Sheil, B., Glynn, R. (eds.): Fabricate: Making Digital Architecture. Riverside Architectural Press, Cambridge (2011)

www.SID.ir