چراغ جادو

ورود چاپ سه‌بعدی به عصر فرامتصنعی

سفارش‌سازی قطعات فنی

رقیه علی‌نژاد

ابداع روش‌های تولید دیجیتال در سال‌های اخیر، دنیای هنر، طراحی و فناوری را به شدت متحول کرده است. این روش‌ها باعث به وجود آمدن تغییراتی در انواع شیوه‌های طراحی و تولید شده‌اند. در روش تولید دیجیتال هر جسم یا کالا را در رایانه طراحی و سپس به روش پرینت سه‌بعدی، آن را می‌سازند. روش کلی برای پرینت سه‌بعدی آن است که مواد تشکیل‌دهنده جسم را که ممکن است بسیار متنوع باشد، به صورت لایه‌لایه روی هم قرار می‌دهند. روش پرینت سه‌بعدی در دهه ۱۹۸۰ ابداع شد. در ابتدا از این روش فقط برای تولید قطعات سفارشی در عرصه‌های مهندسی یا ساخت مدل‌های اصلی برای توسعه محصولات صنعتی استفاده می‌کردند. اما کاربردهای آن بعدها به سرعت گسترش یافت و در سال‌های اخیر فناوری پرینت سه‌بعدی نه‌تنها در دسترس مهندسان و طراحان صنعتی قرار دارد، بلکه بسیاری از هنرمندان و حتی مردم عادی نیز از آن استفاده می‌کنند. یکی از دلایل رواج این فناوری، کاهش قیمت سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مرتبط با آن است. برخی از شرکت‌های تولید و نانوتاسیس نیز به ارایه خدمات تولید برای آن دسته از افرادی مشغول‌اند که خود، کار طراحی کالا و اجسام را انجام می‌دهند اما به امکانات پرینت سه‌بعدی دسترسی ندارند.

برای تولید یک جسم سه‌بعدی، ابتدا باید تصویری از آن را در ذهن مجسم کنند. سپس طرح اولیه‌ای از این تصویر ذهنی را روی کاغذ رسم و سپس طرح اولیه را به طرحی فنی تبدیل می‌کنند. در مرحله بعد ابعاد و اندازه‌های طرح فنی را به رایانه منتقل می‌کنند. برای تولید طرح دیجیتال مدل، در رایانه می‌توان از نرم‌افزارهای بسیاری استفاده کرد. برخی از نرم‌افزارهایی که در پرینت سه‌بعدی کاربرد دارند، عبارتند از «زی‌برانش» (Zbrush) برای تولید سه‌بعدی مدل، «رایینو» (Rhino) برای خلق قسمت‌های متحرک و «نت‌فب» (Netfabb) برای بررسی روزنه‌های سه‌بعدی در مدل برای ساخت یک جسم سه‌بعدی. باید به‌طور مداوم از برنامه‌های مذکور استفاده کرد. اگر قرار است از مدل خود، پرینت سه‌بعدی تهیه کنید، همواره باید محدودیت‌های فرآیند پرینت را به یاد داشته باشید. برای پرینت سه‌بعدی باید به نکات زیادی توجه کرد. مثلا برخی مدل‌ها در عین داشتن بخش‌های مختلف، باید ضداب هم باشند. برنامه‌هایی همچون «نت‌فب»، «میش‌لب» (Meshlab) و «جیمیکس» (Magics) برای ارزیابی و ترمیم مدل سه‌بعدی و روتوش روزنه‌های آن قبل از پرینت هستند. این برنامه‌ها امکان بررسی مدل حجمی طراحی را فراهم می‌کنند تا اسکیچ کار حفظ شود و از ایجاد فایل‌های غیرقابل پرینت (که ترمیم آنها ساعت‌ها و چه بسا روزها وقت طراحان را می‌گیرد)، پیشگیری شود. در برخی از روش‌های ساخت مدل، امکان اضافه کردن بخش‌های متحرک در هنگام طراحی وجود دارد، درحالی‌که در برخی بخش‌های متحرک در هنگام طراحی وجود دارد، درحالی‌که در برخی دیگر این امکان وجود ندارد و مدل را باید به صورت یک توده واحد (بدون بخش‌های متحرک) طراحی کرد. اگر بخش‌هایی از مدل بسیار کوچک طراحی شوند، هنگام پرینت مدل از مجموعه جدا می‌شوند. بخش‌های متحرک را نیز نباید خیلی با هم طراحی کرد. چراکه در هنگام پرینت، به هم چوش می‌خورند و دیگر حرکت نمی‌کنند. از مواد مختلفی برای پرینت سه‌بعدی استفاده می‌کنند که از جمله آنها می‌توان به فولاد، تن، آلومینیوم، صمغ (رزین)، سرامیک، شیشه و حتی بافت بدن انسان اشاره کرد یلی آمید و نایلون نیز مواد مناسبی برای ساخت بخش‌های متحرک مدل هستند. چراکه با توجه به ضخامتشان، استحکام خوبی دارند.

طراحی مدل بسیار وقت‌گیر است و هزینه نسبتا بالایی دارد. وقتی کار طراحی رایانه‌ای تمام شد، نکته خوشایند پرینت سه‌بعدی آن است که می‌توان در زمان کوتاه، تعداد زیادی از یک مدل را تولید کرد. اما آنها که به چنین ابزاری دسترسی ندارند، از یک مدل را شرکت‌هایی می‌خواهند که کار پرینت جسمی را که طراحی کردند، انجام دهد. برای این کار فایل‌های طراحی‌شده را (که باید از آنها پرینت سه‌بعدی تهیه شود)، از طریق رایانامه (ایمیل) برای یکی از سازندگان داخلی یا خارجی ارسال می‌کنند. مدل‌ها از طریق هم‌جوشی لایه‌های نازکی از پودر نایلون ساخته می‌شوند. طرح چند روز بعد مدل آماده خود را در مدل از مامور پست تحویل می‌گیرد و تنها کاری که می‌کند آن است که اشرش را از چسب‌های اضافی‌آورد و هنر خود را ستایش می‌کند.

■■■

چاپگرهای سه‌بعدی ابزارهای بسیار مهمی برای آینده صنعت، هنر و تجارت هستند. چراکه این ابزار را برای همه ما فراهم می‌کنند تا بدون نقشه مهندسی هرکالایی در نرم‌افزارهای سه‌بعدی‌ساز، جسم دلخواهمان را چاپ کنیم این موضوع آنقدر مهم است که حتی رییس‌جمهور آمریکا نیز در سخنرانی خود در نشست سالیانه مشترک نمایندگان و سناتورها به موضوع چاپگرهای سه‌بعدی اشاره کرد و آن را فرصتی مناسب برای ایجاد فرصت‌های شغلی جدید و برتری‌بخشیدن این کشور در بخش صنعت خلق و از آن جانب تاحدی تا با تمرکز بیشتری روی این موضوع، حداکثر بهره را از آن ببرند. اگرچه هنوز پرینترهای سه‌بعدی به‌صورت گسترده در اختیار عموم مردم قرار نگرفته است، اما به‌زودی و با پیشرفت فناوری و کاهش قیمت‌ها، هرکسی می‌تواند با طراحی نقشه سه‌بعدی هر محصول یا حتی ساخت از آن، بازگذاری نقشه‌های سه‌بعدی، آن را بسازد. اما آنچه باید در این میان مطلع بسازیم یا به‌خود جرأت داده‌ایم، اجرای حقوق است که بر سر حق مالکیت معنوی میان شرکت‌های مختلف بر اثر تولید محصولات شرکت‌های دیگر درمی‌گیرد. برای مثال در سریال هالی‌وودی تاج و تخت» (که به لحاظ جلوه‌های بصری و به‌ویژه ساخت هر قسمت آن رنقارد خاص و عالم شده)، یک تخت سلطنت طلب وجود دارد که بنده آن از شمشیرهای پادشاهان ساخته شده است. به تازگی یک نفر با ساخت طرح سه‌بعدی این تخت، آن را با استفاده از یک پرینتر سه‌بعدی چاپ کرد و در اینترنت به فروش گذاشت. این کار به مذاق سازندگان این سریال خوش نیامد و طی نامه‌ای به سازنده تخت، از وی خواستند به دلیل آنچه آن را حق معنوی خود خوانده‌اند، فروش این تخت‌ها را متوقف کند. هرچند این دعوای حقوقی، بسیار ساده و کوچک بود، اما نشان می‌دهد صنعت و تجارت، فصلی دیگر را روق زده است. به همین مناسبت این پرونده‌ها به بررسی لایه‌ها کاربردهای تجاری این فناوری نوظهور می‌پردازد.

چاپ سه‌بعدی در گذر زمان

کم‌هزینه، راحت، سریع

مینا همتی، عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند

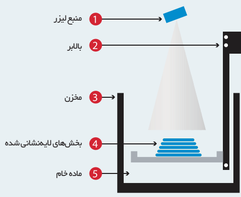
ایده‌های مربوط به فناوری چاپ سه‌بعدی از همان سال ۱۹۷۶ شروع شد. در آن سال، چاپگرهای جوهرافشان ابداع شد. در سال ۱۹۸۲ تغییرات و اصلاحاتی در شیوه کار چاپگرهای جوهرافشان انجام شد تا بتوان کار چاپ را با مواد دیگری غیر از جوهر هم انجام داد. طی سال‌های بین آن زمان، کاربردهای فراوانی برای فناوری چاپ سه‌بعدی، ابداع شده است و امروزه از این روش در صنایع گوناگون استفاده می‌کنند. در ادامه، تاریخچه این پیشرفت را بررسی و با مهم‌ترین مراحل آن آشنا می‌شویم.

۱۹۸۴ - تولد چاپ سه‌بعدی

«جارلز هل» که بعدها بنیانگذار شرکت «تری دی‌سیستمز» شد، روش «استرئو لیتوگرافی» را ابداع کرد. این روش، نوعی فرایند چاپ است که با به‌کارگیری آن می‌توان یک جسم سه‌بعدی مشخص را با استفاده از داده‌های دیجیتال تولید کرد. از این فناوری برای تولید مدل سه‌بعدی یک جسم از تصویر آن استفاده می‌کنند.

چگونگی کارکرد چاپ سه‌بعدی

دستگاه‌های چاپ سه‌بعدی همانند چاپگرهای جوهرافشان کار می‌کنند. البته در این دستگاه به جای جوهر، لایه‌هایی از یک ماده دلخواه دیگر را روی هم می‌نشانند تا یک جسم فیزیکی واقعی از داده‌های دیجیتال مربوط به آن پدید آید.



۱. **منبع لیزر:** پرتوهای لیزر تولید می‌کند تا ماده خام، جامد و تثبیت شود.

۲. **بالابر:** بالا و پایین می‌رود تا کار لایه‌نشانی به اسلایی انجام شود.

۳. **مخزن:** حاوی ماده اولیه‌ای است که از آن برای تولید جسم سه‌بعدی استفاده می‌کنند.

۴. پس از آنکه لایه‌های مختلف یک جسم سه‌بعدی را روی هم قرار می‌دهیم، جسم سه‌بعدی تولید می‌شود.

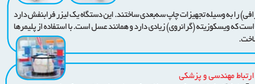
۵. چاپگرهای سه‌بعدی پیشرفته از یک یا چند ماده اولیه متفاوت مانند پلاستیک، رزین، تیتانیوم، پلیمرها و حتی طلا و نقره استفاده می‌کنند.

صنایعی که از چاپ سه‌بعدی استفاده می‌کنند:

دهه ۱۹۸۰

۱۹۹۲ - ساخت لایه‌بلایه قطعات

اولین دستگاه SLA (ابزار استرئولیتوگرافی) را به وسیله تجهیزات چاپ سه‌بعدی ساختند. این دستگاه یک لیزر فرابنفش دارد که پلیمرها را جامد می‌کند. پلیمر مایعی است که ویسکوزیته (گرانروی) زیادی دارد و همانند عسل است. با استفاده از پلیمرها می‌توان اجسام سه‌بعدی را لایه‌بلایه ساخت.



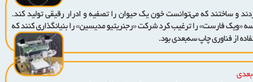
۱۹۹۹ - آغازهای هندسی‌ساز، پل ارتباط مهندسی و پزشکی

اولین بورد از نوع تمام‌رنگ‌شده در آزمایشگاه زمان، بود که درجم طاقه یک بیمار جوان با نصب یک داربست مصنوعی سه‌بعدی افزایش یافت. این فناوری را دانشمندان مرکز «اجا» برای پزشکی و یک فارمست، ابداع کردند. این فناوری دوروزها را کشود تا دیگر راهکارها برای ساخت مهندسی اندام‌ها، از جمله تولید آنها به روش چاپ پیشرفت کند.

دهه ۱۹۹۰

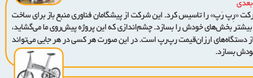
۲۰۰۲ - گلیدای که کار کرد

دانشمندان یک کلید کوچک طراحی کردند و ساختند که می‌توانست خون یک حیوان را تصفیه و ادرار رقیقی تولید کند. پیشرفت‌های بعدی، پژوهشگران موسسه «وک» فارمست را ترغیب کرد شرکت «جرنیتیو مدیسین» را بنیانگذاری کنند که اولین «وک-چاپ» اندام‌ها و بافت‌ها با استفاده از فناوری چاپ سه‌بعدی بود.



۲۰۰۵ - همکاری منبع باز با چاپ سه‌بعدی

دکتر «آدریان بوید»، از دانشگاه یک، شرکت «ریپ‌ریپ» را تاسیس کرد. این شرکت از پیشگامان فناوری منبع باز برای ساخت یک چاپگر سه‌بعدی به منظور ساخت بخش‌های خود چاپگر را بسازد. چشم‌انداز این که این بروژه پیش‌روی ما می‌کشید، همگی‌سازی تولید ابزارها با استفاده از دستگاه‌های ارزان‌قیمت ریپ‌ریپ است. در این صورت هر کسی در هر جایی می‌تواند محصولاتی را که هر روزه احتیاج دارد، خودش بسازد.

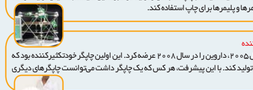


۲۰۰۶ - عرضه SLS برای تولید انبوه

اولین دستگاه SLS و انجماد لیزری انتخابی عرضه شد. این نوع دستگاه از لیزر برای جوش دادن مواد و تولید اجسام سه‌بعدی استفاده می‌کند. این بیشتر در جهت به‌روز تولید انبوه و همگانی شدن این روش و تولید آن قطعات صنعتی و سپس اعضای مصنوعی، در همان سال «آبجکت» عرضه شد که یک دستگاه چاپ سه‌بعدی و تولید مواد بود. این سیستم ماشینی تولید کرد که می‌توانست از مواد مختلف مانند الاستومرها و پلیمرها برای چاپ استفاده کند.

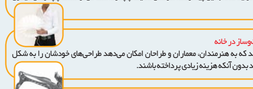
۲۰۰۸ - تولید اولین چاپگر خودتکثیرکننده

شرکت «ریپ‌ریپ» پس از تاسیس در سال ۲۰۰۵ در لوین در سال ۲۰۰۸ عرضه کرد. این اولین چاپگر خودتکثیرکننده بود که می‌توانست بیشتر بخش‌های خودش را تولید کند. با این پیشرفت، هر کس که یک چاپگر داشت می‌توانست چاپگرهای دیگری را برای دوستانش بسازد.



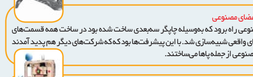
۲۰۰۸ - ارایه اولین دستگاه‌های ساخت‌وساز در خانه

شرکت «شیپ‌وز» ابزاری عرضه می‌کند که به هنرمندان، معماران و طراحان امکان می‌دهد طرح‌های خودشان را به شکل سه‌بعدی و اجسام فیزیکی واقعی بسازند. نوع دیگر عرضه زیادی پرداخته باشند.



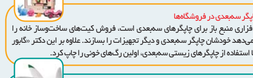
۲۰۰۸ - پیشرفت‌های مهم در ساخت اعضای مصنوعی

در این سال، یک نفر توانست با پرینتر دیگر، یک پیوند چاپگر سه‌بعدی ساخت شده بود در ساخت همه قسمت‌های بین‌ها (زانو - کتف - ساق و ...) ساختار پای واقعی شبیه‌سازی شد. با این پیشرفت‌ها بود که دکترهای دیگر هم پیدا آمدند که پوشش‌هایی سفارشی برای اعضای مصنوعی از جمله پاها می‌ساختند.



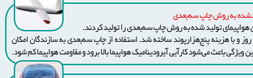
۲۰۰۹ - عرضه دستگاه‌های ساخت‌وساز در فروشگاه‌ها

صنایع مارکوریت که یک شرکت سخت‌افزاری منبع باز برای چاپگرهای سه‌بعدی است، فروش کیت‌های ساخت‌وساز خانه را آغاز کرد. این کیت به خریداران امکان می‌دهد خودشان چاپگرهای ساختمان‌ساز بسازند. علاوه بر این دکتر «گیور فورگلاز» شرکتی تاسیس کرد و در آن با استفاده از چاپگرهای زیستی سه‌بعدی، اولین رگ‌های خود را چاپ کرد.



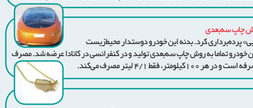
۲۰۱۱ - اولین هواپیمای رباتیک تولیدشده به روش چاپ سه‌بعدی

دانشمندان دانشگاه ساوث‌همپتون، اولین هواپیمای تولید شده به روش چاپ سه‌بعدی را تولید کردند. این هواپیمای بدون سرنشین طی هفت روز و با هزینه بفچهزارپوند ساخته شد. استفاده از چاپ سه‌بعدی به سازندگان امکان داد تا بال هواپیما را بیضی‌شکل بسازند. این فناوری باعث می‌شود کارآیی آیرودینامیک هواپیما بالا برود و مقاومت هواپیما کم شود.



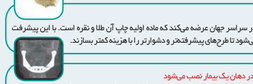
۲۰۱۱ - اولین خودرو تولیدشده به روش چاپ سه‌بعدی

شرکت «کور اکولوژی» از خودروی «آرپی» به‌رهبری‌دری کرد. بدنه این خودرو دوستدار محیط‌زیست آیرودینامیک است. بدنه‌نقوه این خودرو تماما به روش چاپ سه‌بعدی تولید و در کنفرانس در کلندا عرضه شد. مصرف سوخت این خودرو به شدت بهینه و به‌صرفه است و هر ۱۰۰ کیلومتر، فقط ۴/۱ لیتر مصرف می‌کند.



۲۰۱۱ - چاپ سه‌بعدی با مطا و نفره

یک شرکت بین‌المللی چاپ سه‌بعدی، دخالی در سراسر جهان عرضه می‌کند که ماده اولیه چاپ آن طلا و نقره است. با این پیشرفت فرم‌های نازه‌ای به روی خواهرسازان باز می‌شود تا طرح‌های پیشرفته‌تر و دشوارتر را به هزینه کمتر بسازند.



۲۰۱۲ - یک آرواره مصنوعی سه‌بعدی در دهان یک بیمار نصب می‌شود

پزشکان و مهندسان هلندی با استفاده از چاپگر سه‌بعدی شرکت «تایتو ولیز» یک پایین یک بیمار را به شکل سه‌بعدی ساختند و آن را در دهان یک‌زن بیمار ۱۳ ساله‌دار گذاشتند. هم‌اکنون از این فناوری برای تولید استخوان‌های تحت‌فشار استفاده می‌کنند.

دهه ۱۹۹۰

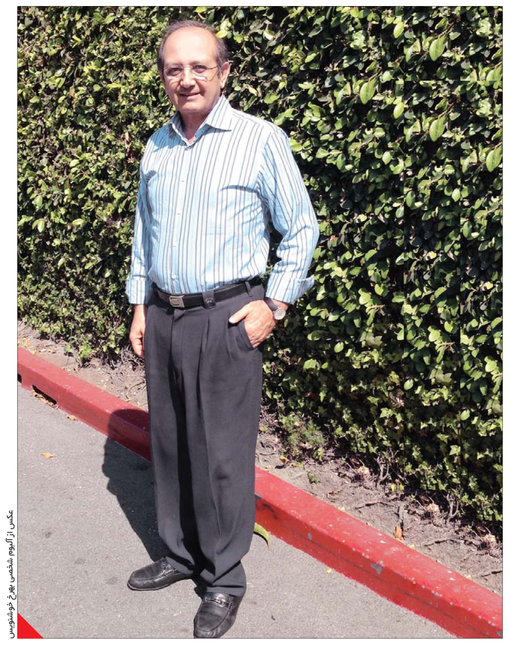
دهه ۲۰۰۰

دهه ۲۰۱۰

بررسی اهمیت پرینترهای سه‌بعدی خانه‌ساز در گفت‌وگو با «بهرخ خوشنویس»، استاد دانشگاه کالیفرنیای جنوبی

آشیانه ایرانی فرودگرهای «ناسا» در ماه

زینب همتی، سلیمان فرهادیان



عکس: از آلبوم شخصی بهرخ خوشنویس

لطفا در ابتدای کار درباره سابقه اختراعات تان بگویید و اینکه آیا تاکنون هیچ‌یک از آنها برای زندگی روزمره کاربردهایی داشته‌اند یا نه؟

من اختراعات زیادی دارم که در اصل زمینه بسیاری از آنها تکنولوژی‌های ساخت بود. همچنین در زمینه‌های مختلف دیگر نیز فعالیت کردم. در زمینه طراحی دستگاه‌های تردمیل نیز کار کردم یکی، دوتا از اختراعاتم به اجرای افراد فلج و معلول طراحی شده است، به تولید انبوه رسید و در بازار موجود است که از آنها استفاده می‌کنند. البته روش‌هایی را هم در مورد ساخت ابنیاع کرده و اختراعاتی هم در این زمینه داشته‌ام که محصول آن به شکل کارخانه‌های هم عرضه شده و در بعضی جاها از آن استفاده کرده‌اند. یک کامپیوتر هم برای نقشه‌های خیلی بزرگ درست کردم که این هم به بازار عرضه شد و از آن استفاده می‌کنند. البته این نکته را هم یادآور می‌شوم که تعداد اختراعات نبشته‌شده من هم مثل تعداد اختراعات مخترعان دیگر، بیشتر از آن چیزهایی است که در بازار موجود است.

پس چند تا از اختراعات دیگر شما هم کاربردهای صنعتی پیدا کردند و به تولید انبوه رسیدند.

بله. البته اختراع‌های دیگری هم داشتم که کاربرد صنعتی دارند و در صنعت از آن استفاده می‌کنند. برخی از اختراعات من کاربرد صنعتی دارند و به روش‌های گوناگون در صنایع مختلف از آن استفاده کردند ولی به دلیل نوع کاربری‌شان، به آن شکل تولید انبوه نشدند.

در مورد چاپگرهای سه‌بعدی ساخت خانه که ابداع شماست کمی توضیح دهید و بگویید چه اجزایی دارد و طرز کارش چگونه است؟

اگر علاقه‌مند باشید، می‌توانید به سایت ما به نشانی اینترنتی www.contourcrafting.org بروید و طرز کار پرینتر سه‌بعدی ساختمان‌سازی را در آنجا نمایا کنید. اما در مورد اینکه پرینتر ما چگونه کار می‌کند، باید بگویم ما از سیمان استفاده می‌کنیم، منتها سیمانی که ما استفاده می‌کنیم بسیار غلیظ‌تر از سیمان معمولی است. ما این ملات یا مخلوط سیمان را تزریق می‌کنیم که توسط پمپ‌ها از یک شیپوره بیرون می‌آید. این شیپوره توسط سیستم روبات در فضای سه‌بعدی حرکت می‌کند و سیمان را لایه‌بلایه در جایی که قرار است دیوارهای خانه ایجاد شود، تزریق می‌کند و با سرعت نسبتا بسیار خوبه رخانه را می‌سازد؛ یعنی خانه ۲۰۰ آمتری در کمتر از ۲۰ ساعت ساخته می‌شود.

مهم‌ترین ویژگی خانه‌های ساخته‌شده با این چاپگرها چیست؟ به عنوان مثال آیا استحکام بیشتری دارند یا ارزان‌تر یا ویژگی دیگر؟ البته همچنان که خودتان گفتید یکی از ویژگی‌های مثبت این خانه‌ها سرعت ساخته شدن آنهاست که در عرض ۲۰ ساعت ساخته می‌شود. ولی به جز این، آیا ویژگی‌های مثبت دیگری هم دارد؟

قاعدتا وقتی که بتوانید اینقدر با سرعت خانه‌ای را بسازید، هزینه‌ها بسیار کمتر می‌شود. در این حالت، مخارج رفت‌وآمد کارگران را ندارید. در تمام مدت تنها ماهی که معمولا طول می‌کشد ساختمان را بسازید، مصرف سوخت را ندارید. تعداد کارگرهایی که استخدام می‌کنید، بسیار کمتر است. حتی اگر همان تعداد را هم استخدام کنید، فقط به مدت یکی، دو روز استخدام می‌کنید. به نرخ چندین ماه بنابراین قیمت به مراتب ارزان‌تر می‌شود. اصولا هم چیزی که اتوماتیک و خودکار ساخته می‌شود، قیمتش بشدت پایین می‌آید؛ مثلا قیمت کفش‌های دست‌دوز چندین برابر کفش‌های کارخانه‌ای و ماشینی است. ولی تمام کفش‌هایی که ما استفاده می‌کنیم، همه اتوماتیک ساخته می‌شود به همین دلیل، قیمتشان بسیار پایین است. البته این نکته را هم بگویم که ما در ساخت خانه تنیر همین طور است. الان نیز ما همه خانه‌ها را با دست می‌سازیم و قیمتشان نیز مثل کفش دست‌دوز بالاست. اما اگر همین کار را با اتوماتیک بسازیم، قیمتشان یکسوم یا یک‌چهارم پایین می‌آید. برای مثال خرج ساختمانی که محل است ۴۰ میلیون تومان باشد، می‌تواند با ۱۰ میلیون تومان آن را ساخت.

اصلا چطور شد به موضوع ساخت خانه با چاپگرها علاقه‌مند شد، باید این کار از کجا در ذهن‌تان شکل گرفت؟

همان‌طور که قبلا هم گفتم، تمرکز تحقیقاتم بر روی سیستم‌های ساخت و روش‌های ساخت بود. منتها می‌توانم بگویم ساخت کارخانه‌های تکیه داشتم زیاد رشته من مهندسی ساز و ساختمان بود. در رشته معماری یا ساختمان‌سازی سرزمینهای نداشتم. هدف من ابداع متدهایی بود که بتوان قطعات کوچک خانه‌ها را که ساخته شده‌اند، تبدیل کرد و وقتی که این متدهای چاپ سه‌بعدی برای اولین‌بار پدیدار شدند، به ذهنم رسید که سرعت این کار را زیاد کنیم چون این قطعات باید در کارخانه ساخته شوند. اینها از لایه‌های بسیار نازک تشکیل شده‌اند که یک دیگر داشت می‌توانست تولید کرد که می‌توانست از مواد مختلف مانند الستومرها و پلیمرها برای چاپ استفاده کند.

پس چند تا از اختراعات دیگر شما هم کاربردهای صنعتی پیدا کردند و به تولید انبوه رسیدند.

بله. البته اختراع‌های دیگری هم داشتم که کاربرد صنعتی دارند و در صنعت از آن استفاده می‌کنند. برخی از اختراعات من کاربرد صنعتی دارند و به روش‌های گوناگون در صنایع مختلف از آن استفاده کردند ولی به دلیل نوع کاربری‌شان، به آن شکل تولید انبوه نشدند.

در مورد چاپگرهای سه‌بعدی ساخت خانه که ابداع شماست کمی توضیح دهید و بگویید چه اجزایی دارد و طرز کارش چگونه است؟

اگر علاقه‌مند باشید، می‌توانید به سایت ما به نشانی اینترنتی www.contourcrafting.org بروید و طرز کار پرینتر سه‌بعدی ساختمان‌سازی را در آنجا نمایا کنید. اما در مورد اینکه پرینتر ما چگونه کار می‌کند، باید بگویم ما از سیمان استفاده می‌کنیم، منتها سیمانی که ما استفاده می‌کنیم بسیار غلیظ‌تر از سیمان معمولی است. ما این ملات یا مخلوط سیمان را تزریق می‌کنیم که توسط پمپ‌ها از یک شیپوره بیرون می‌آید. این شیپوره توسط سیستم روبات در فضای سه‌بعدی حرکت می‌کند و سیمان را لایه‌بلایه در جایی که قرار است دیوارهای خانه ایجاد شود، تزریق می‌کند و با سرعت نسبتا بسیار خوبه رخانه را می‌سازد؛ یعنی خانه ۲۰۰ آمتری در کمتر از ۲۰ ساعت ساخته می‌شود.

مهم‌ترین ویژگی خانه‌های ساخته‌شده با این چاپگرها چیست؟ به عنوان مثال آیا استحکام بیشتری دارند یا ارزان‌تر یا ویژگی دیگر؟ البته همچنان که خودتان گفتید یکی از ویژگی‌های مثبت این خانه‌ها سرعت ساخته شدن آنهاست که در عرض ۲۰ ساعت ساخته می‌شود. ولی به جز این، آیا ویژگی‌های مثبت دیگری هم دارد؟

فاعدتا وقتی که بتوانید اینقدر با سرعت خانه‌ای را بسازید، هزینه‌ها بسیار کمتر می‌شود. در این حالت، مخارج رفت‌وآمد کارگران را ندارید. در تمام مدت تنها ماهی که معمولا طول می‌کشد ساختمان را بسازید، مصرف سوخت را ندارید. تعداد کارگرهایی که استخدام می‌کنید، بسیار کمتر است. حتی اگر همان تعداد را هم استخدام کنید، فقط به مدت یکی، دو روز استخدام می‌کنید. به نرخ چندین ماه بنابراین قیمت به مراتب ارزان‌تر می‌شود. اصولا هم چیزی که اتوماتیک و خودکار ساخته می‌شود، قیمتش بشدت پایین می‌آید؛ مثلا قیمت کفش‌های دست‌دوز چندین برابر کفش‌های کارخانه‌ای و ماشینی است. ولی تمام کفش‌هایی که ما استفاده می‌کنیم، همه اتوماتیک ساخته می‌شود به همین دلیل، قیمتشان بسیار پایین است. البته این نکته را هم بگویم که ما در ساخت خانه تنیر همین طور است. الان نیز ما همه خانه‌ها را با دست می‌سازیم و قیمتشان نیز مثل کفش دست‌دوز بالاست. اما اگر همین کار را با اتوماتیک بسازیم، قیمتشان یکسوم یا یک‌چهارم پایین می‌آید. برای مثال خرج ساختمانی که محل است ۴۰ میلیون تومان باشد، می‌تواند با ۱۰ میلیون تومان آن را ساخت.

اصلا چطور شد به موضوع ساخت خانه با چاپگرها علاقه‌مند شد، باید این کار از کجا در ذهن‌تان شکل گرفت؟

همان‌طور که قبلا هم گفتم، تمرکز تحقیقاتم بر روی سیستم‌های ساخت و روش‌های ساخت بود. منتها می‌توانم بگویم ساخت کارخانه‌های تکیه داشتم زیاد رشته من مهندسی ساز و ساختمان بود. در رشته معماری یا ساختمان‌سازی سرزمینهای نداشتم. هدف من ابداع متدهایی بود که بتوان قطعات کوچک خانه‌ها را که ساخته شده‌اند، تبدیل کرد و وقتی که این متدهای چاپ سه‌بعدی برای اولین‌بار پدیدار شدند، به ذهنم رسید که سرعت این کار را زیاد کنیم چون این قطعات باید در کارخانه ساخته شوند. البته این نکته را هم بگویم که تعداد اختراعات نبشته‌شده من هم مثل تعداد اختراعات مخترعان دیگر، بیشتر از آن چیزهایی است که در بازار موجود است.

پس چند تا از اختراعات دیگر شما هم کاربردهای صنعتی پیدا کردند و به تولید انبوه رسیدند.

بله. البته اختراع‌های دیگری هم داشتم که کاربرد صنعتی دارند و در صنعت از آن استفاده می‌کنند. برخی از اختراعات من کاربرد صنعتی دارند و به روش‌های گوناگون در صنایع مختلف از آن استفاده کردند ولی به دلیل نوع کاربری‌شان، به آن شکل تولید انبوه نشدند.

در مورد چاپگرهای سه‌بعدی ساخت خانه که ابداع شماست کمی توضیح دهید و بگویید چه اجزایی دارد و طرز کارش چگونه است؟

اگر علاقه‌مند باشید، می‌توانید به سایت ما به نشانی اینترنتی www.contourcrafting.org بروید و طرز کار پرینتر سه‌بعدی ساختمان‌سازی را در آنجا نمایا کنید. اما در مورد اینکه پرینتر ما چگونه کار می‌کند، باید بگویم ما از سیمان استفاده می‌کنیم، منتها سیمانی که ما استفاده می‌کنیم بسیار غلیظ‌تر از سیمان معمولی است. ما این ملات یا مخلوط سیمان را تزریق می‌کنیم که توسط پمپ‌ها از یک شیپوره بیرون می‌آید. این شیپوره توسط سیستم روبات در فضای سه‌بعدی حرکت می‌کند و سیمان را لایه‌بلایه در جایی که قرار است دیوارهای خانه ایجاد شود، تزریق می‌کند و با سرعت نسبتا بسیار خوبه رخانه را می‌سازد؛ یعنی خانه ۲۰۰ آمتری در کمتر از ۲۰ ساعت ساخته می‌شود.

مهم‌ترین ویژگی خانه‌های ساخته‌شده با این چاپگرها چیست؟ به عنوان مثال آیا استحکام بیشتری دارند یا ارزان‌تر یا ویژگی دیگر؟ البته همچنان که خودتان گفتید یکی از ویژگی‌های مثبت این خانه‌ها سرعت ساخته شدن آنهاست که در عرض ۲۰ ساعت ساخته می‌شود. ولی به جز این، آیا ویژگی‌های مثبت دیگری هم دارد؟

فاعدتا وقتی که بتوانید اینقدر با سرعت خانه‌ای را بسازید، هزینه‌ها بسیار کمتر می‌شود. در این حالت، مخارج رفت‌وآمد کارگران را ندارید. در تمام مدت تنها ماهی که معمولا طول می‌کشد ساختمان را بسازید، مصرف سوخت را ندارید. تعداد کارگرهایی که استخدام می‌کنید، بسیار کمتر است. حتی اگر همان تعداد را هم استخدام کنید، فقط به مدت یکی، دو روز استخدام می‌کنید. به نرخ چندین ماه بنابراین قیمت به مراتب ارزان‌تر می‌شود. اصولا هم چیزی که اتوماتیک و خودکار ساخته می‌شود، قیمتش بشدت پایین می‌آید؛ مثلا قیمت کفش‌های دست‌دوز چندین برابر کفش‌های کارخانه‌ای و ماشینی است. ولی تمام کفش‌هایی که ما استفاده می‌کنیم، همه اتوماتیک ساخته می‌شود به همین دلیل، قیمتشان بسیار