

# مهارت‌آموزی و افزایش بهره‌وری بر پایه فناوری‌های تولید نوین صنعتی

محمد رضا مرکی<sup>۱</sup>، هادی تقی‌ملک<sup>۲\*</sup>، مجید آذرگمان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> مربی، هیئت علمی گروه مهندسی مواد و متالوژی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، دانشگاه ارومیه، ارومیه

<sup>۳</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

\*مسئول مکاتبات: h\_tagimalek@semnan.ac.ir

## چکیده

## واژگان کلیدی

نمونه‌سازی سریع  
قالب‌سازی سریع  
بهره‌وری  
مهندسی معکوس  
مهارت‌آموزی

## تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۰۵/۱۱

امروزه در صنایع بزرگ پارامترهای زمان و هزینه دو اصل مهم در بحث تولید حساب می‌شود. بنا به این دلایل ائتلاف زمان و هزینه‌های اضافی از نظر اقتصادی صرفه‌ای ندارد، برای همین علم روز دنیا برای رفع این مشکلات به سیستم‌های کنترل عددی و نمونه‌سازی سریع رو آورده است. تنوع و انعطاف‌پذیری از دلایل عمده در تولید قطعات برای بقای واحدهای صنعتی بوده، که در روش‌های نمونه‌سازی سریع جزو مزایا محسوب می‌شوند. در صنایع کنونی، با افزایش تنوع‌طلبی مشتری و تنگ‌تر شدن عرصه رقابت، تنها کسانی می‌توانند به حیات خود ادامه دهند که بتوانند کالاهای خود را با سرعت بالاتر، در عین حال با کیفیت و عملکرد بهتر روانه بازار مصرف کنند. اگر چه توسعه سیستم طراحی با رایانه و فرآیند کنترل-عددی کاهش زیادی در زمان تولید به‌وجود آورده است، اما نیاز صنعت به طراحی برای تولید و مونتاژ بدون صرف زمان و هزینه اضافی، هنوز برطرف نشده است، بنابراین تکنولوژی نمونه‌سازی سریع در پاسخ به چنین نیازی وارد بازار تولید شده است. هدف اصلی از طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر افزایش بهره‌وری بوده و می‌توان از روی ایده جدید یا از مهندسی معکوس نمونه‌ای ایجاد نمود. به منظور اینکه یک طراحی در نهایت ساخته و به محصول تبدیل شود طراحی و ساخت باید با یکدیگر در ارتباط بوده که این منظور در روش‌های نمونه‌سازی سریع منظور شده است. بر اساس روش‌های نمونه‌سازی سریع می‌توان میزان بهره‌وری، اشتغال و مهارت‌آموزی، سهولت انجام کارها در صنعت برای رونق بنگاه‌های کسب‌وکارهای کوچک و بزرگ مورد استفاده قرار گیرد.

## ۱ مقدمه

جدول ۱: روند پیشرفت فناوری‌های مهم [۴].

سال	فناوری
۱۷۷۰	انقلاب صنعتی
۱۹۴۶	ساخت رایانه
۱۹۵۲	ساخت ماشین‌کاری کنترل عددی
۱۹۶۰	لیزر تجاری
۱۹۶۱	ربات تجاری
۱۹۶۳	سیستم طراحی توسط کامپیوتر
۱۹۸۸	سیستم نمونه‌سازی سریع تجاری

در گذشته به دلیل تأکید مراکز آموزشی بر دانش نظری، مهارت‌آموزی از جریان تعلیم و تربیت رسمی به‌دور بوده است. مهارت‌آموزی از روش استاد شاگردی به صورت کاملاً عملی و مشاهده‌ای انجام می‌شد و به تدریج مهارت کسب می‌کرد [۱]. تمامی شواهد نمایان‌گر این است که حرفه‌آموزی باید یک قدم فراتر از چگونگی انجام کار باشد. متخصصان تعلیم و تربیت معتقدند کارگران نیز هم‌چون مدیران به توانایی‌هایی مانند حل مسئله، تصمیم‌گیری و مسئولیت‌پذیری نیاز دارند و باید آن‌گونه تربیت شوند که در محیط‌کار نه عنوان ابزار تولید، بلکه به منزله استفاده‌کنندگان هوشمند ابزارهای تولید به‌کار گرفته شوند [۲]. در جدول ۱ روند پیشرفت فناوری‌های مهم را نمایش می‌دهد. از اواخر قرن ۱۹ میلادی تکنولوژی نمونه‌سازی سریع پا به عرصه صنایع گذاشت. با ظهور این نوع از تولید دید صنایع به تولیداتی که با ماشین‌های سنتی یا حتی پیشرفته، امکان تولیدشان وجود نداشت وسعت پیدا کرد [۳، ۴]. فرآیند نمونه‌سازی سریع یکی از بخش‌های مجزای حلقه طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر بوده که در فرآیند کاهشی نرم‌افزارهای مربوطه کار مدل‌سازی سطح را انجام داده که در حالی که در فرآیند افزایشی این نرم‌افزارها کار مدل‌سازی جامد را انجام می‌دهد [۵].

## ۲ نمونه‌سازی سریع

اولین تکنیک برای نمونه‌سازی سریع در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی در دسترس قرار گرفت و در تولید نمونه اولیه مدل‌ها و قطعات از آن استفاده شد. کوتاه نمودن زمان توسعه یک محصول از طراحی تا تولید، رمز موفقیت یک سازمان تولیدی در دنیای رقابتی کنونی به‌شمار می‌آید، که روش‌های نمونه‌سازی سریع عاملی در تسریع فرآیند تولید است. از طرفی این روش‌ها امکان تجسم یافتن طراحی را قبل از تولید واقعی قطعه فراهم می‌آورد فقط کافی است مشتری فایل CAD قطعه را با هر میزان پیچیدگی ارائه نماید. با این روش می‌توان از روی یک فایل سه‌بعدی کامپیوتری، یک قطعه واقعی و ملموس تولید نمود.

## ۲.۲ الگوریتم عملکردی روش‌های نمونه‌سازی سریع

در شکل ۲ مراحل کار نمونه‌سازی سریع به کامل نشان داده شده است. در اولین مرحله، مدل سه‌بعدی محصول با نرم‌افزارهای CAD طراحی شده و مدل حجمی به دست می‌آید. مدل سه‌بعدی باید تبدیل به فرمتی شود که برای روش‌ها قابل شناخت بوده که فرمت STL مشترک بین روش‌های نمونه‌سازی سریع قرارداد شده است. سپس مدل مثلی به دستگاه نمونه‌سازی سریع برای ساخت نمونه اولیه محصول انتقال داده می‌شود. دستگاه نمونه‌سازی سریع یک فرآیند ساخت لایه‌وار بوده و باید مدل حجمی انتقال یافته به صورت لایه‌لایه و با لایه‌های یکسان برای دستگاه تعریف شود. چاپ محصول به صورت پایین به بالا، از اولین لایه تا لایه بالایی ساخته شده و نمونه اولیه تولید می‌شود. مراحل نهایی از قبیل تمیزکاری، پرداخت‌کاری روی مدل ساخته شده صورت گرفته و مدل نمونه اولیه مد نظر بدست می‌آید.

## ۳.۲ معایب و محدودیت‌های نمونه‌سازی سریع

استفاده از فناوری‌های نمونه‌سازی سریع نیز محدودیت‌هایی را در تولید محصولات ایجاد می‌کنند. به‌گونه‌ای که استفاده از این روش‌ها در تولید انبوه و ساخت قطعات حجیم با مشکل مواجه بوده و کاربرد آن را در تولید محصولات سفارشی با تیراژ پایین محدود شده است. صافی سطح قطعات تولیدی به این روش با توجه به لایه‌لایه ساخته شدن قطعات مطلوب نبوده و در سطوح شیب‌دار و منحنی پدیده‌ای موسوم، پله‌ای شدن مشاهده می‌شود. اغلب قطعات تولیدی با این روش پس از اتمام مراحل ساخت نیاز به عملیات پردازش نهایی دارند که هزینه‌ی مازاد بر هزینه ساخت را بر قیمت محصول نهایی اضافه می‌کند. قیمت بالای دستگاه، توان مصرفی بالا در برخی روش‌ها، هزینه بالای مواد و محدودیت در انتخاب مواد از دیگر عواملی تاثیرگذار بر گسترش و کاربرد این فناوری‌ها می‌باشد [۱۲].

## ۴.۲ مزایای استفاده از نمونه‌سازی سریع

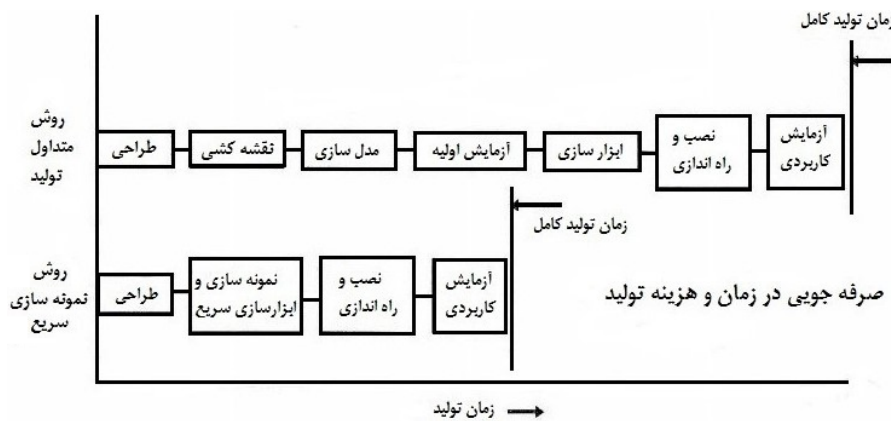
افزایش تعداد قطعات یک محصول احتمال مونتاژ مطلوب یک محصول را به صورت نمایی کاهش داده و هزینه‌های تولید و مونتاژ را افزایش خواهد داد. که این مهم باعث کاهش سهولت در امر مونتاژ، افزایش هزینه‌های جابه‌جایی و انبارداری نیز می‌گردد. از این رو، طراحان همواره سعی در کاهش تعداد قطعات و حذف یا کاهش زمان مونتاژ محصولات دارند. رالف بکر و همکارانش را با در نظر گرفتن و توجه به مزایای فناوری نمونه‌سازی سریع محصولی را طراحی کرده‌اند که در طرح جدید اتصالاتی نظیر پیچ و مهره‌ها حذف شده و قطعات در یک دیگر ادغام شده و یک قطعه جای چند قطعه را گرفته است. به طوری که محصول قابلیت تولید در یک مرحله را داشته باشد [۱۳]. در جدول ۲ به طور کامل مزایا و معایب ماشین‌کاری و ریخته‌گری سنتی شرح داده شده است. نمونه‌سازی سریع نسبت به روش‌های سنتی پیش از پیش در پی حذف مراحل طولانی تولید بوده و هدف در کم کردن مراحل تولید دارد که از مزایای آن می‌توان موارد زیر اشاره کرد:

نمونه‌سازی سریع یک فرآیند ساخت لایه‌وار و یا چاپ سه‌بعدی است [۶]. فناوری نوین نمونه‌سازی سریع، روش جدیدی است که برای تولید سریع قطعه از داده‌های دیجیتالی ابداع شده است که برای ساخت سریع قطعات استفاده می‌شود. اولین دستگاه نمونه‌سازی سریع توسط چارلز هال در سال ۱۹۸۸ میلادی ساخته شد و به نام شرکت 3D Systems ثبت گردید [۷]. هر چند که بنیان کلیه سیستم‌های نمونه‌سازی سریع یکسان بوده ولی بیشترین سیستم‌های موجود نمونه‌سازی سریع در جهان از نوع سیستم استریولیتوگرافی ایجاد شده است [۸]. امروزه مدل‌سازی سه‌بعدی در رشته‌های گوناگونی چون قطعه-سازی، معماری، طراحی صنعتی، رباتیک و صنایع هوافضا رایج است. این مدل‌سازی‌ها تا پیش از این به شکل تصاویر دوبعدی روی صفحه‌های نمایشگر یا روی کاغذ ارائه می‌شده‌اند تا افراد با دیدن آن‌ها درکی از آنچه طراحان در ذهن‌شان دارند بدست آورند. امروزه با چاپگرهای سه‌بعدی که جزء فناوری‌های نوین نمونه‌سازی سریع بوده می‌توان با استفاده از آن، از فایل‌های سه‌بعدی نمونه واقعی ساخت. نمونه‌سازی سریع یک فرآیند است که قادر به تبدیل یک طراحی CAD به یک حجم فیزیکی با استفاده از روش‌های لایه‌لایه به وسیله مواد مصرفی پودر، جامد یا مایع است [۹]. در شکل ۱ مراحل تولید یک قطعه را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل ۱ نشان داده شده که زمان تولید در نمونه‌سازی سریع کم‌تر از روش‌های سنتی بوده و راندمان بالایی دارد.

از دید مهندسی آنچه که در طراحی بسیار حائز اهمیت است پرداختن به سه اصل مهم هزینه، زمان، کیفیت بوده و اصولاً یک طرح خوب طرحی است که در حالت بهینه این سه اصل را تامین نماید. در کنار این سه اصل مهم در طراحی و ساخت به دو اصل ضریب اطمینان و قابلیت اعتماد باید توجه داشت [۶].

## ۱.۲ فرمت STL

فرمت استاندارد برای ساخت محصول در نمونه‌سازی سریع به‌طور معمول از فرمت STL قطعه‌کار استفاده می‌شود. عبارت STL به اختصار برای عبارت استریولیتوگرافی استفاده می‌شود. در برخی از مطالعات برای عبارت‌های زبان مثل استاندارد و یا زبان موزاییکی استاندارد نیز استفاده شده است [۱۰]. وقتی که مدل طراحی شده به فرمت STL تبدیل شده باشد، تمام مدل به تعداد زیادی مثلث در فضای سه‌بعدی تقسیم می‌شود. در فایل‌های STL با حجم بالا، زمان بیشتری صرف لایه‌بندی و ایجاد مقاطع می‌شود البته این امر، اثر ناچیزی بر زمان ساخت قطعه دارد [۱۱]. از یک فایل STL می‌توان لیست کامل مختصات رئوس مثلث‌ها و بردار عمود بر هر یک از این مثلث‌ها را استخراج کرد. در این فرمت شکل اجسام به وسیله تعداد زیادی مثلث کوچک که بین سطوح قرار گرفته تعریف می‌شود. دقت انحناها به تعداد مثلث‌ها زیاد بستگی دارد. هر مثلث به وسیله‌ی سه‌راس و یک بردار یکه‌ی نرمال تعریف می‌شود. هرچه تقسیم‌بندی ریز، انحراف و تری که تعیین کننده‌ی فاصله بین سطح واقعی و سطح موزاییکی است کم‌تر خواهد بود. برای ساخت سطح قطعه هرچه تعداد مثلث‌ها بیشتر، حجم فایل بزرگ‌تر شده و قطعه دقیق‌تر به دست می‌آید.



شکل ۱: مقایسه زمان تولید کامل یک محصول به روش متداول سنتی و نمونه سازی سریع [۵].



شکل ۲: فرآیند کلی ساخت مدل فیزیکی بر اساس نمونه سازی سریع [۵].

جدول ۲: مزایا و معایب ماشین کاری و ریخته گری سنتی

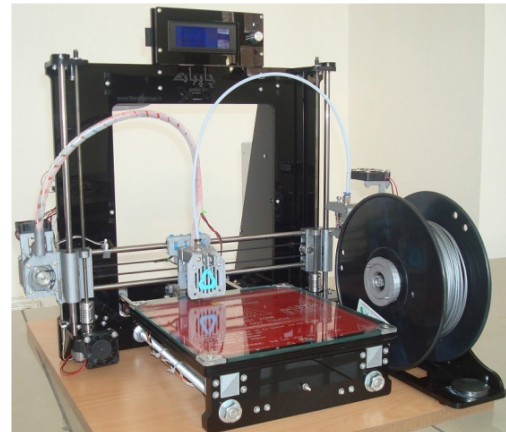
ریخته گری		ماشین کاری	
معایب	مزایا	معایب	مزایا
۱. زمان بالای تولید قالب	۱. راحتی تولید اشکال پیچیده	۱. عدم هزینه قالب	۱. مشکل ماشین کاری فلزات سخت
۲. هزینه بالای قالب گیری	۲. قابلیت تولید قطعات تو خالی	۲. زمان کوتاه تولید	۲. مشکل تولید مدل های تو خالی
۳. تغییرات وقت گیر و هزینه بر	۳. کاربرد راحت فلزات سخت	۳. تغییرات سریع	۳. میزان ائتلاف بالای مواد
	۴. کاهش ائتلاف مواد		۴. مشکل تولید اشکال پیچیده

### ۳ قالب سازی سریع

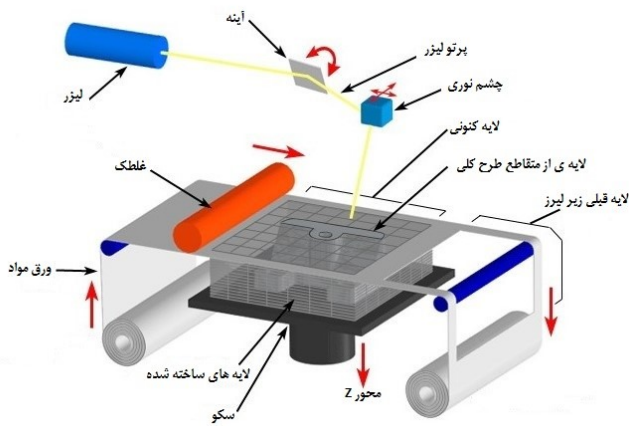
به دلیل محدودیت در استفاده از مواد در فرآیندهای نمونه سازی سریع، ساخت بسیاری قطعات با جنس اصلی امکان پذیر خواهد بود. به این دلیل این روش های به عنوان الگو در فرآیندهای ساخت استفاده می شود. از ترکیب نمونه سازی و ریخته گری، فناوری جدیدی به نام قالب سازی سریع (RT) پدید آمد. از طریق آن می توان با صرف هزینه و زمان کمتر نسبت به روش های سنتی، به قالب قطعه اصلی رسید [۱۴]. با پیشرفت و توسعه دستگاه ها و روش های نمونه سازی سریع هم اکنون روش هایی نیز وجود دارند که از طریق آن ها می توان مستقیماً قطعه نهایی را به مدت زمانی بسیار کوتاه تولید نمود. این حوزه جدید از فناوری های نمونه سازی، ساخت سریع نام دارد و جزء جدیدترین روش های نمونه سازی سریع محسوب می شود. در تولید اگر بتوان مزایای ماشین کاری و ریخته گری را با هم در روشی ادغام کرد، می توان آن روش را بهترین و کاربردی ترین روش ساخت معرفی کرد. امروزه با استفاده از ساخت سریع به این مهم دست یافته اند. در شکل ۳ چاپگر سه بعدی نمایش

۱. کاهش زمان و هزینه مراحل طراحی تا تولید محصول جدید
۲. افزایش سرعت طراحی محصول جدید و اعمال سریع اصلاحات
۳. عرضه سریع محصولات جدید در بازار رقابتی
۴. امکان بازاریابی محصولات جدید قبل از تولید و کاهش ریسک تولید
۵. امکان ساخت نمونه های پیچیده بدون هیچ گونه محدودیت در شکل هندسی
۶. سرعت و راحتی فرآیند
۷. دقت بالای نمونه سازی
۸. عدم نیاز به تعریف مواد خام اولیه
۹. حذف کامل برنامه ریزی فرآیند
۱۰. عدم تعریف تنظیمات گوناگون
۱۱. عدم نیاز به قید و بند
۱۲. عدم وجود ابزار و قالب مثل روش های سنتی ساخت [۶، ۱۳].

داده شده که در دانشگاه هنر اسلامی تبریز برای تولید نمونه هنری به جای تجسم نمونه استفاده می‌شود.



شکل ۳: چاپگر سه بعدی مرکز رشد دانشگاه هنر اسلامی تبریز



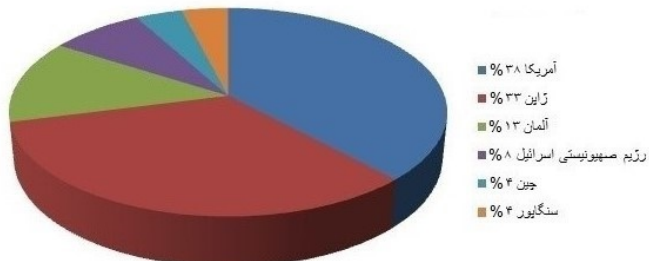
شکل ۵: دستگاه نمونه سازی سریع LOM [۷].

## ۵ روش های متداول نمونه سازی سریع

در روش های نمونه سازی سریع، ابتدا مدل سه بعدی توسط نرم افزارهای طراحی ترسیم می‌شود. با انتقال فایل به نرم افزار نمونه سازی سریع، مدل را به لایه های یکسان تقسیم بندی می‌کند. در واقع فایل لایه لایه شده مدل تهیه می‌گردد. این فایل شامل مختصات  $X$  و  $Y$  هر لایه بوده و مختصات  $Z$  نیز با توجه به ضخامت لایه تعیین شده به دستگاه معرفی می‌گردد. در نهایت با توجه به نوع روش مدل فیزیکی سه بعدی ساخته می‌شود [۶]. در میان روش های نمونه سازی سریع، روش های مهم و پرمصرفی در صنایع روز رایج بوده که در جدول ۳ به شرح کامل این روش ها پرداخته شده است. با توجه به مزایا و معایبی روش ها نوع کاربرد و جنس مواد مصرفی می‌توان نوع روش انتخاب کرد.

## ۶ گستردگی سیستم های نمونه سازی سریع

امروزه دستگاه های نمونه سازی سریع بسیاری در جهان وجود دارد. طبق آمار تعداد آنها به بیش از ۶۷۵۰ سیستم در ۵۸ کشور جهان می‌رسد [۱۴]. در شکل ۶ آمریکا، ژاپن و آلمان به ترتیب بیشترین سهم را در ابداع روش و استفاده از سیستم های نمونه سازی سریع به خود اختصاص داده اند.



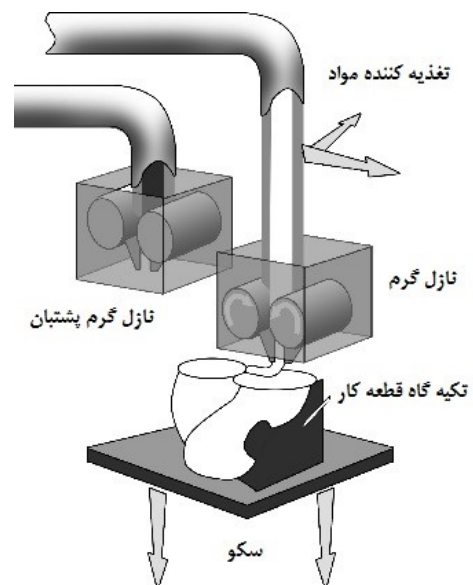
شکل ۶: کشورهای ابداع کننده روش های نمونه سازی سریع [۱۲].

## ۴ انواع روش های نمونه سازی سریع

به طور کلی فرآیندهای نمونه سازی سریع به چهار گروه تقسیم می‌شوند. این فرآیندهای برای اساس فناوری های نوین ابداع شده اند. اصول روش ها بر اساس دست یابی به نمونه اولیه از مدل محصول مدنظر به صورت زیر بیان می‌شود:

۱. سخت کاری پلیمر و رزین های مایع با نور فرابنفش مانند روش SLA.
۲. برش ورق های پلیمری، فلزی یا کاغذی و چسباندن آنها روی یکدیگر مانند روش LOM.
۳. ذوب و لایه نشانی مواد پلیمری یا فلزی مانند روش FDM.
۴. ایجاد اتصال بین ذرات پودر با استفاده از چسب یا تفجوشی مانند روش SLS [۶].

در شکل ۴ و ۵ شماتیکی از عملکرد و اجزای دستگاه نمایش داده شده است، که شکل ۴ نمونه سازی به روش اکستروژن مذاب بوده در حالی که شکل ۵ نمونه سازی به روش چسباندن لایه ها اتفاق می‌افتد.



شکل ۴: دستگاه نمونه سازی سریع FDM [۷].



**جدول ۳:** انواع روش‌های مهم و پرمصرف نمونه‌سازی سریع [۶، ۱۳].

روش	روش کار	مزیت	معایب
SLA	لایه‌ها از تابش اشعه (گاما) بر روی سطحی از رزین مایع حساس به نور تشکیل می‌شوند. بین روش‌های مختلف مدل‌سازی سریع، روش SLA بهترین دقت و صافی سطح را دارد.	بالاترین کیفیت سطح قطعه، سرویس‌دهی مناسب به کاربر، دارای حجم‌های ساخت متفاوت، دقت بالا، دامنه وسیع مواد	نیاز به تکیه‌گاه، نیاز به پردازش (جدا کردن تکیه‌گاه و مواد زائد از قطعه)، نیاز به پخت نهایی برای جامد شدن کامل
SLS	در این فرآیند، ذرات پودر متناظر با مقطع قطعه به وسیله پرتوهای لیزر در محل ذوب شده و مطابق با طرح روی سطح به هم جوش می‌خورند و مواد مذاب جامد شده یک لایه جامد را تشکیل می‌دهد.	مناسب برای ساخت مدل‌های تجسمی، قطعات کاربردی، ریخته‌گری دقیق و قالب‌های فلزی برای تیراژ پایین، دامنه وسیع مواد، پایداری مناسب قطعات	تجهیزات اولیه گران قیمت، نور پرتو مضر لیزر برای اپراتور، مصرف بالای انرژی، ابعاد بزرگ دستگاه، پرداخت سطح نسبتاً ضعیف
LOM	در این روش از یک پرتوی لیزر (مثل برش چاقو) برای بریدن طرحی که بر روی هر یک از لایه‌ها در نظر گرفته شده است، استفاده می‌شود.	گستره وسیع مواد (کاغذ، پلاستیک‌ها، فلزات، کامپوزیت‌ها)، مناسب برای قطعات بزرگ، عدم نیاز به تکیه‌گاه، قطعه ساخته شده عاری از هرگونه تنش و دیگر تغییر شکل‌هاست بنابراین به پخت نهایی نیاز ندارد.	نیاز به اپراتور ماهر برای تنظیم دقیق دستگاه، یکپارچگی نمونه توسط چسب و حرارت، زمان‌بری جدا کردن مواد اضافی
3DP	یک لایه پودر با ضخامت کنترل شده روی سطح الگو پخش می‌شود. از طریق سرچاپگر (نازل) و متناظر با اولین مقطع قطعه روی پودر چسب پخش می‌شود.	سرعت و کیفیت بالا، هزینه پایین در ساخت، ساخت قطعات معیوب، مفقود و کمبود در اشیاء و دستگاه‌ها، کاربرد چندگانه، سادگی کار تنها با یک اپراتور، به هدر نرفتن مواد اولیه و ساخت قطعات رنگی مهندسی معکوس	محدودیت در استحکام، صافی سطح نامناسب
FDM	در این فرآیند رشته قابل ارتجاع (مواد ترموپلاست) گداخته شده از داخل نازل گرم شده بیرون می‌آید و لایه‌لایه روی قطعه به صورت طرحی که به آن داده شده می‌نشیند با ادامه این لایه‌ها قطعه مورد نظر ساخته می‌شود.	سادگی عمل‌کرد، حداقل اتلاف مواد و راحتی ایجاد تغییر در آن‌ها، جداسدن آسان تکیه‌گاه از قطعه، ساخت قطعات عملکردی (مشابه نمونه اصلی)، مواد مورد استفاده: پلی‌وینیل سولفون، پلی‌کربنات، ABS و موم	دقت محدود در مقایسه با روش SLA، غیر قابل پیش‌بینی بودن انقباض

رونق بنگاه‌های کسب‌وکارهای کوچک و بزرگ مورد استفاده قرار داد.

## ۷ نتیجه‌گیری

بر اساس شواهد موجود کشورهای توسعه‌یافته برای پاسخ به تنوع‌طلبی مشتری و بقای واحدهای صنعتی به کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان و مواد روی آورده‌اند. با استفاده از مهارت‌آموزی عملی و علمی فناوری‌های نوین بخصوص نمونه‌سازی سریع توانسته‌اند با حفظ کیفیت، هم‌رقباهای خود را از میدان بدر کرده و هم‌برخی قطعات صنعتی و نظامی را انحصاری کرده و در کل جهان به خود اختصاص دهند. مهارت‌آموزی در بازارهای نو باید مبتنی بر فناوری نوین بوده تا هم سهمی از این فناوری‌ها در کنار کشورهای توسعه‌یافته پیدا کرد و هم با استفاده از این فناوری‌ها نیاز بازار داخل کشور را پاسخ گفت. تکنولوژی نمونه‌سازی سریع نیز برای پاسخ به چنین نیازی پا به دنیای صنعت گذاشته که با مهارت‌آموزی و سهولت کار هم به رونق هرچه بیشتر بنگاه‌های کسب‌وکار و در نتیجه اشتغال کمک کند. تکنولوژی نوظهور مدل‌سازی سریع با شتاب چشم‌گیری روبه‌رشد است. به طور قطعی در آینده تکنولوژی نمونه‌سازی سریع جایگزین همه روش‌های سنتی در تولید خواهد شد. از ویژگی‌های خاص این تکنولوژی توانایی آن در ساخت اشکال هندسی بسیار پیچیده خواهد بود. امروزه این مدل‌ها را می‌توان از جنس پلاستیک و یا فلز تولید کرد، که نسبت به فرآیندهای نمونه‌سازی سنتی توأم به صرفه‌جویی در هزینه و زمان خواهد شد. با استفاده از روش‌های نمونه‌سازی سریع می‌توان میزان بهره‌وری، اشتغال و مهارت‌آموزی، سهولت انجام کارها در صنعت برای

## مراجع

- [۱] شهین ایروانی، بهناز مرجانی. جایگاه دانش در مهارت‌آموزی. راهبرد فرهنگ، (۳۰)، ۱۳۹۴.
- [۲] مرجانی، بهناز. بررسی و مقایسه مبانی معرفت‌شناسی تربیت حرفه‌ای در ایران با مبانی معرفت‌شناسی حرفه‌گرایی جدید. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تهران، ۱۳۸۱.
- [3] Noorani, Rafiq. *Rapid prototyping: principles and applications*. John Wiley & Sons Incorporated, 2006.
- [4] Upcraft, S. and Fletcher, R. The rapid prototyping technologies. 23(4):318-330, Jan 2003.
- [۵] امری، مهدی و رامین، درویش. نمونه‌سازی سریع (قسمت اول). قالب‌سازان، (۲۱)-۸-۱۱، ۱۳۸۰.
- [۶] خلیل‌پور آذری، سامان و خانجانی ویشکی، علی. روش‌های نمونه‌سازی و قالب‌سازی سریع بر مبنای CAD/CAM. جلد اول. انتشارات ناقوس اندیشه، تهران، ۱۳۸۵.
- [7] Hull, Charles W. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography, 1986. US Patent No: US4575330A.
- [8] Richter, J. and Jacobs, P. The present state of accuracy in stereolithography. in *Proceedings of 2nd international conference on Prototyping*, University of Dayton, Ohio, 1991.

- [9] Kai, Chua Chee, Fai, Leong Kah, and Chu-Sing, Lim. *Rapid prototyping: principles and applications in manufacturing*. World Scientific Publishing Co., Inc., 1997.
- [10] Dolenc, A. Rapid prototyping from a computer scientist's point of view. 2(2):18-25, Jan 1996.
- [11] Pulak, Mohan Pandey. Slicing procedures in layered manufacturing: a review. 9(5):274-288, Jan 2003.
- [۱۲] صفوی، محسن، بدرسمای، محسن، گدازنده‌ها، احسان، و خرم، داود. طراحی محصولات سفارشی جهت ساخت به روش نمونه‌سازی و تولید سریع. در سومین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید. دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ۱۳۹۰.
- [13] Boothroyd, Geoffrey. Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, 26(7):505 - 520, 1994.
- [۱۴] ایلدارزآله، محمد، رحمتی، صادق، و سلیمی، مجتبی. فناوری نمونه‌سازی سریع. مؤسسه انتشاراتی جهان جام جم، تهران، ۱۳۸۴.