

بسمه تعالی

## مروری بر نمونه سازی سریع

نویسندگان:

سعید غنی\*

دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی

اصفهان، saeed.ghany@yahoo.com

علی افلاکیان

دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان،

ali\_aflakiyan@yahoo.com

مجید پاکیزه

دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان،

m.pakize1989@gmail.com

دکتر رضا تیکنی

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی

اصفهان، r\_tikani@cc.iuc.ac.ir

## ۱. چکیده

رمز موفقیت شرکت‌های طراح و سازنده، به روز نمودن به موقع محصولاتشان می باشد. در بازار رقابتی امروز، نیاز به ساخت محصولات جدید و جایگزینی با محصولات موجود به خوبی حس می شود. نمونه سازی سریع اولین و مهم‌ترین قدم در این راه است. نمونه سازی سریع تکنولوژی نسبتاً جدیدی است که در آن یک نمونه به صورت لایه لایه مستقیماً از روی فایل مدل سه بعدی آن ساخته می شود. در این روش هیچ محدودیتی از نظر شکل هندسی وجود نداشته و نمونه بدون نیاز به هیچ قالب یا ابزاری با سرعت و دقت بسیار بالایی ساخته می شود. کاربرد این روش در زمینه طراحی مهندسی در صنایع مختلف به عنوان یکی از زنجیره‌های طراحی تا تولید محصولات جدید می باشد. با استفاده از فن آوری نمونه سازی سریع می توان بلافاصله پس از طراحی، نمونه فیزیکی را مشاهده و بررسی نمود و مورد ارزیابی قرار داد. در این روش ابتدا مدل سه بعدی توسط نرم افزار- های موجود مدلینگ ترسیم می گردد سپس یک نرم افزار دیگری مدل را به لایه لایه (با توجه به ضخامت لایه‌ها) تقسیم می کند. در این مقاله تلاش شده است تا خواننده را با کلیات این روش و نحوه عملکرد و معایب و مزایای این روش آشنا کنیم.

## ۲. مقدمه

نمونه سازی سریع این امکان را فراهم می کند تا مهندسان در مدتی کوتاه و ارزان به مدلی سه بعدی از قطعه مد نظر خود برسند. با استفاده از فن آوری نمونه سازی سریع می توان بلافاصله پس از طراحی، نمونه فیزیکی را مشاهده و بررسی نمود و مورد ارزیابی قرار داد. از آنجا که هر طراحی همیشه به دنبال کیفیت بهتر است، چنین نمونه‌ای می تواند برای تصحیح طراحی و ارزیابی ویژگی‌های مطلوب در محصول طراحی به کار گرفته شود. به طور خلاصه می توان گفت که در دست داشتن یک نمونه واقعی فیزیکی از جسم کمک شایانی به اطمینان بخشی طراحی، کاهش آزمون و خطا و در نهایت افزایش کیفیت بهره وری فرآیند طراحی و تولید می نماید. استفاده از فن آوریهای نمونه سازی سریع در فرآیند طراحی، تحقیق، توسعه، تولید، و مونتاژ مزایای فراوانی را به دنبال دارد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱. تجسم (Visualization)

۲. تصحیح طرح (Verification)

۳. تکرار طرح (Iteration)

۴. بهینه سازی (Optimization)

۵. آزمایش های عملکردی (Functional Tests)

در این مقاله ما به بررسی اجمالی روش ها و متوذهای نمونه سازی سریع در انواع صنعت می پردازیم.

### ۳. متن اصلی

تمامی فعالیت های طراحی دارای یک طبیعت تکرار هستند و طراحی مجدد (Redesign) از کارهای همیشگی طراحان است. از آنجا که یک محصول معین ممکن است از ترکیب چند جزء توسط طراح تشکیل شده باشد، می توان در یک روش آزمون و خطا و یا طراحی مجدد و یا بهره گیری از CAD در چندین حالت مختلف این اجزاء را با یکدیگر ترکیب نمود تا شکل هندسی مورد نظر ایجاد شود. سپس آن را تحت آنالیز تنش نیرو و ... مورد ارزیابی و بررسی قرار داد. در صورتی که مدل این محصول از روش سنتی ساخته شده باشد، بعد از اتمام کار مدل سازی ممکن است نتوان کوچکترین تغییراتی را در آن ایجاد کرد. اما با استفاده از فرآیند نمونه سازی سریع بعد از انجام این مراحل تکراری، نمونه فیزیکی قابل لمس محصول برای بررسی در اختیار طراح قرار خواهد گرفت. بهینه سازی طرح می تواند کارایی محصول، کیفیت و قابلیت اطمینان آن را بهبود بخشد. فن آوری نمونه سازی سریع توام با تکنیک ها و نرم افزارهای قدرتمند طراحی و آنالیز، این امکان را به طراح می دهد که بدون صرف هزینه ای گزاف جهت ساخت قالب و نمونه و بدون اتلاف وقت و با دقت بسیار بالا طرح خود را آنالیز و بهینه نماید. چنین نمونه ای می تواند برای اصلاح و بهینه سازی طراحی و ارزیابی ویژگی های مطلوب در محصول طراحی به کار گرفته شود. به طور خلاصه می توان گفت که در دست نگه داشتن یک نمونه فیزیکی از محصول کمک شایانی به افزایش کیفیت و بهره وری فرآیند طراحی و تولید می نماید. با استفاده از فن آوری نمونه سازی سریع نمونه فیزیکی قابل لمس از محصول در اختیار طراح قرار خواهد گرفت. بنابراین امکان انجام آزمایش های عملکردی مانند مونتاژ پذیری، سهولت تولید و آسانی تعمیر و نگهداری در مورد محصول طراحی فراهم می گردد و از این طریق هزینه های طراحی و تولید کاهش می یابد. بعد از اتمام مراحل تجسم تحقیق، تکرار پذیری، بهینه سازی، مونتاژ پذیری و ساخت مدل اولیه به دنبال ساخت یک نمونه واقعی از محصول نهایی خواهیم بود. در این راستا تکنیک های زیادی موجود هستند که به طور موفقیت آمیزی برای دستیابی از یک نمونه RPM به یک قطعه دارای عملکرد واقعی FTM با یک روش نسبتا سریع و کم هزینه استفاده می کنند. بعضی از این تکنیک ها عبارتند از، ریخته گری خلایی، قالبگیری با رزین های قبل انتقال، استفاده از قطعات ماهیچه ای یونیلیت و ... لذا تحقیقات زیادی جهت بکار گیری این فناوری در تولید سریع یک نمونه واقعی از محصول برای ارسال به بازار انجام شده است. با توجه به اینکه در حال حاضر قالب سازی سریع نیازمند به

MASTER MODEL نمونه سازی سریع می باشد بنابراین در اینجا مروری بر روش های نمونه سازی سریع خواهیم داشت.

عموما روش های نمونه سازی سریع از این الگوریتم استفاده می کنند که: ابتدا مدل سه بعدی توسط نرم افزارهای موجود مدلینگ ترسیم می گردد، سپس یک نرم افزار دیگری مدل را به لایه لایه (با توجه به ضخامت لایه ها) تقسیم می کند. در واقع فایل Slice آن تهیه می گردد این فایل شامل مختصات X,Y هر لایه می باشد مختصات Z نیز با توجه به ضخامت لایه تعیین شده به دستگاه معرفی می گردد. در نهایت با توجه به نوع روش، مدل فیزیکی سه بعدی ساخته می شود.

#### مزایای استراتژیک استفاده از نمونه سازی سریع:

- ۱) کاهش زمان و هزینه سیکل 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 محصول 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
- مقایسه با روش CNC :**

نمونه سازی سریع راه حلی برای تمام مسائل ساخت نیست.

مزیت عمده نمونه سازی سریع در مقایسه با روش CNC امکان ساخت قطعات با هرگونه پیچیدگی شکل هندسی می باشد.

روش CNC یک تکنولوژی اقتصادی، رایج و در دسترس می باشد که امکان استفاده از هر نوع مواد در آن وجود دارد.

در برخی روش ها دقت نمونه سازی سریع به خوبی روش CNC نیست.

بسته به فرآیند هر روش، مواد محدودی قابل استفاده می باشند. مواد های گوناگونی با خواص مکانیکی متنوع برای هر روش به سرعت در حال گسترش و عرضه می باشد. دامنه مواد مورد استفاده عبارت است از پلاستیک، فلز، کاغذ، سرامیک

به منظور تنظیم لایه ها برای انجام عملیات لزوما باید نمونه را با کمک نرم افزار های مخصوص از جمله Magics برش زد ولایه لایه کرده و به دستگاه ارسال کرد. به طور کلی هرچه ضخامت این لایه ها کمتر باشد هم دقت عملیات بالاتر میرود و هم کیفیت نهایی سطح بهبود میابد. ولی باید توجه داشت کاهش بی اندازه ضخامت لایه ها باعث افزایش هزینه ها و زمان انجام عملیات می شود.

دسته بندی روش ها به چهار صورت انجام می پذیرد که عبارت اند از:

۱. دسته بندی بر اساس نوع ماده مورد استفاده
  ۲. روش هایی که از مایع استفاده می کنند
  ۳. روش هایی که از پودر استفاده می کنند
  ۴. روش هایی که از ماده جامد استفاده می کنند
- روش های متداول در نمونه سازی سریع از قرار زیر است:

SLA (Stereo Lithography Apparatus)

SLS (Selective Laser Sintering)

FDM (Fused Deposition Modeling)

PolyJet (Polymer Jet Printing)

ThermoJet

۳DP (۳Dimensional Printing)

LOM (Laminated Object Manufacturing)

### مدل سازی سریع به روش SLA :

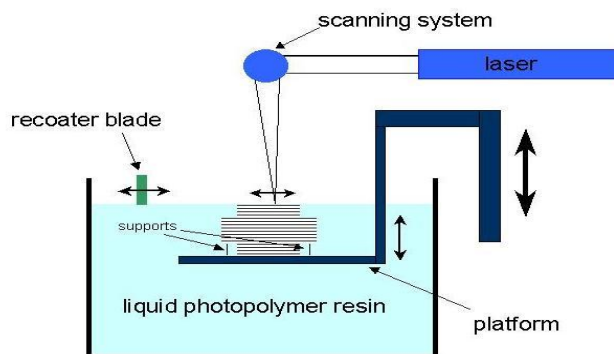
- ۱- تابش باریکه لیزر روی سطح رزین مایع (فوتو پلیمر)
- ۲- پلیمریزاسیون نوری رزین و جامد شدن لایه
- ۳- چسبیدن لایه ها به یکدیگر به دلیل خاصیت خود چسبندگی مواد
- ۴- ساخت ساپورت مشبک هم زمان از همان ماده

### ساپورت چیست؟

در برخی از فرایندهای RP به دلیل سیال بودن رزین و ماده تحت پوشش نمونه پس از ریخته شدن لایه ها به دلیل گرانش امکان ریخته شدن رزین ها در محلی غیر مورد نظر وجود دارد که این قطعات به صورت ستون هایی در حین انجام عملیات زیر نمونه قرار میگیرند. این ستون ها در برخی روش ها از جنس خود نمونه و در برخی از روش های دیگر از جنسی دیگر به منظور سهولت در جدا کردن از نمونه اصلی است.

استریو لیتوگرافی (Stereolithography) یا SLA، متداول ترین روش نمونه سازی سریع است. با این روش می توان قطعات پلیمری بسیار دقیق و با جزئیات زیاد به دست آورد. SLA اولین فرآیند نمونه سازی سریع است و در سال ۱۹۸۸ توسط شرکت ۳D Systems معرفی شد. در این روش ، با نیروی کم و با استفاده از

پرتو متمرکز لیزر فرابنفش، سطح مقطع های جسم سه بعدی در حمامی از مایع پلیمری حساس به نور، یکی بعد از دیگری ساخته می شوند. شماتیک این فرآیند به صورت زیر است.



<http://www.mec-eng.blogfa.com/category/۱۱>

#### مزایا:

- اولین روش نمونه سازی سریع (سال ۱۹۸۶)
- صافی سطح بالا
- دقت بالا (۰.۰۱ mm)
- حداقل ضخامت لایه ۰.۰۵ mm
- امکان ساخت قطعات بزرگ
- امکان استفاده از مواد شفاف
- امکان تغییر رنگ محدوده خاصی از قطعه

#### معایب:

- خواص مکانیکی نسبتاً ضعیف
- سرعت ساخت پایین
- نیاز به ساخت ساپورت
- کثیفی کار با رزین مایع
- پایداری ابعادی کوتاه مدت
- نیاز به عملیات تکمیلی در دستگاه (PCA)
- قیمت بالای دستگاه
- هزینه نسبتاً بالای خدمات

## مدل سازی سریع به روش SLS :

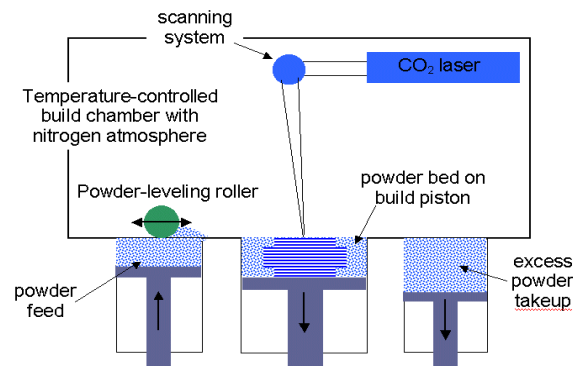
- ۱- پهن شدن یک لایه پودر ترموپلاستیک
- ۲- پیش گرم پودر توسط هیتر تا دمای زیر سینتر شدن
- ۳- تابش باریکه لیزر روی سطح پودر گرم و اعمال توان حرارتی
- ۴- جوش سطحی ذرات پودر (سینتر شدن)
- ۵- بدون نیاز به ساخت ساپورت

### مزایا:

- عدم نیاز به ساپورت
- خواص مکانیکی بالا (قطعات عملکردی)
- تنوع مواد (پلاستیک - فلز - ماسه)
- استفاده از مواد پلی آمید

### معایب:

- صافی سطحی پایین
- دقت ۰.۲ mm
- نیاز به سیکل خنک شدن
- عدم توانایی ساخت قطعات ظریف
- قیمت بالای دستگاه
- هزینه نسبتاً بالای خدمات شماتیک این فرآیند بصورت زیر است.



(<http://draw.parsiblog.com/Posts/۲>)

## مدل سازی سریع به روش FDM:

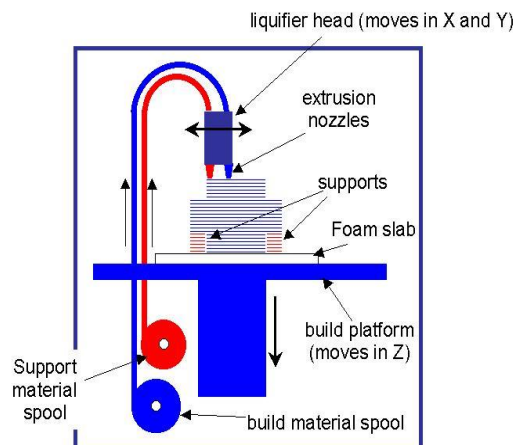
- ۱- تغذیه فیلامنت پلاستیکی به یک نازل
- ۲- گرم شدن نازل و ذوب مواد
- ۳- حرکت نازل در صفحه XY
- ۴- خروج مذاب پلاستیک از نازل
- ۵- سرد شدن مواد و تشکیل لایه
- ۶- ساخت هم زمان ساپورت متراکم

### مزایا:

- استفاده از مواد ABS، پلی کربنات، موم
- استفاده به عنوان قطعات عملکردی
- حل شدن ساپورت در حلال
- پولیش پذیری مناسب
- سادگی کار با دستگاه
- بی صدا بودن و مناسب محیط اداری

### معایب:

- کیفیت سطحی متوسط
  - ابعاد کوچک ساخت
  - نیاز به ساخت ساپورت
  - سرعت نسبتاً پایین ساخت
- شماتیک این فرآیند به صورت زیر است.



(<http://gtalk.ir/thread۱۳۰۵۸۵.html>)



## مدل سازی سریع به روش PolyJet:

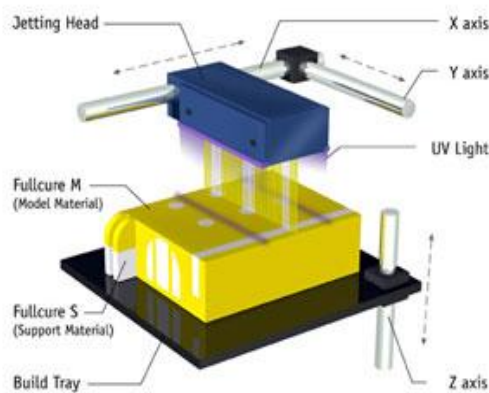
- ۱- خروج رزین فوتوپلیمر از هد دستگاه
- ۲- تابش هم زمان نور UV توسط لامپ
- ۳- جامد شدن رزین و تشکیل لایه
- ۴- ساخت هم زمان ساپورت متراکم

### مزایا:

- نازک ترین ضخامت لایه (۱۶ میکرون) و صافی سطح عالی
- قابلیت ساخت جزئیات و ظرایف قطعات
- دقت ساخت ۰.۱ mm
- ساخت دیواره های نازک با حداقل ضخامت ۰.۶ mm
- سرعت نسبتاً بالای ساخت
- امکان استفاده از مواد شفاف
- ساخت قطعات از جنس مشابه ABS و PP

### معایب:

- نیاز به ساخت ساپورت
  - سختی خروج ساپورت
  - خواص مکانیکی متوسط
  - هزینه خدمات متوسط
  - ابعاد کوچک ساخت
- شکل شماتیک این فرایند به صورت زیر است:



The Objet PolyJet Process

<http://www.mec-eng.blogfa.com/category/۱۱>

## مدل سازی سریع به روش ThermoJet:

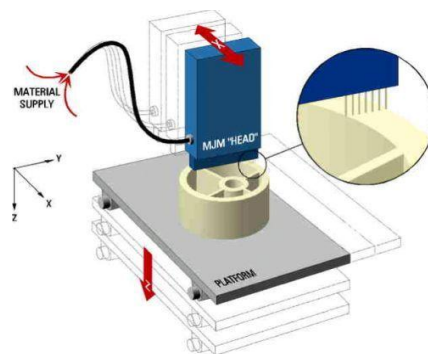
- ۱- خروج موم مذاب از هد دستگاه
- ۲- سرد شدن موم و تشکیل لایه
- ۳- فرز کاری سطح لایه برای رسیدن به ضخامت لایه مورد نظر
- ۴- ساخت هم زمان ساپورت متراکم

### مزایا:

- ساخت مدل مومی جهت ریخته گری دقیق
- صافی سطح مناسب
- ابعاد دستگاه مناسب محیط اداری

### معایب:

- استحکام ضعیف قطعات مومی
  - ناپایداری در برابر حرارت
  - سرعت پایین ساخت
  - صدای فرز کاری
  - نیاز به ساخت ساپورت
- شکل شماتیک این فرایند به صورت زیر است.



(<http://draw.parsiblog.com/Posts/r>)

## مدل سازی سریع به روش DP<sup>۳</sup>:

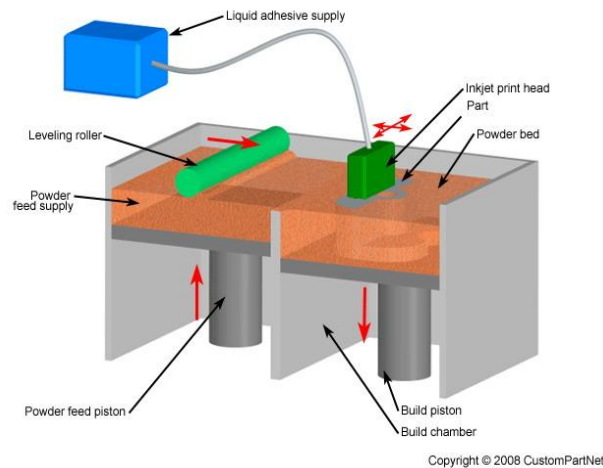
- ۱- پهن شدن یک لایه گچ روی سطح
- ۲- پرینت شدن چسب روی گچ
- ۳- چسبیدن ذرات گچ و تشکیل لایه

### مزایا:

- عدم نیاز به ساپورت
- امکان استفاده از مواد رنگی هم زمان
- سرعت ساخت بالا (۵ تا ۱۰ برابر سایر روش ها)
- هزینه پایین خدمات (۲۵٪ هزینه سایر روش ها)
- بازیافت مواد استفاده نشده

### معایب:

- استحکام ضعیف قطعات
  - صافی سطح ضعیف
  - دقت متوسط
  - ابعاد کوچک ساخت
- شماتیک این فرایند به صورت زیر است.



<http://gtalk.ir/thread۱۳۰۵۸۵.html>

## مدل سازی سریع به روش LOM:

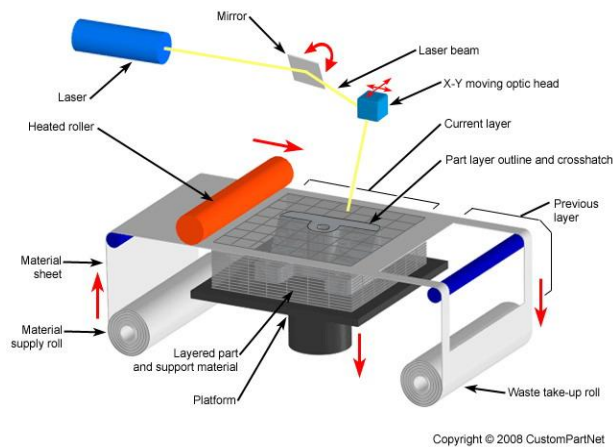
- ۱- لایه گذاری کاغذ چسب دار
- ۲- حرکت غلطک داغ روی کاغذ
- ۳- فعال شدن چسب حرارتی و چسبیدن لایه کاغذ
- ۴- برش مرز های مقطع مربوطه در صفحه XY
- ۵- برش قسمت های اضافی کاغذ به صورت مربعی

### مزایا:

- ظاهر شبه چوب
- قابلیت کار با مدل مشابه مدل های چوبی
- مناسب برای قطعات حجیم و توپر
- مناسب برای مدل های ریخته گری
- عدم نیاز به ساپورت

### معایب:

- استحکام ضعیف قطعات
  - ناپایداری در برابر رطوبت
  - دقت ابعادی ضعیف
  - نامناسب برای دیواره های نازک
  - صافی سطح پایین
- شماتیک این فرآیند به صورت زیر است.



<http://www.mec-eng.blogfa.com/category/11>

#### ۴. جمع بندی و نتیجه گیری

به طور کلی نمونه سازی سریع روشی بسیار آسان و ارزان برای مدلینگ سه بعدی است که با استفاده از نرم افزار و ایجاد یک مدل مجازی سه بعدی آن را به یک مدل سه بعدی پیوسته و حقیقی تبدیل می کند.

#### ۵. سپاس گذاری

لازم است در پایان از مهندس الهام غنی که در طول این تحقیق اینجانب را در امر تایپ و ویرایش راهنمایی کردند، سپاس گذاری کنیم.

#### ۶. منابع

"سریعترین و ارزان ترین روش برای دستیابی به یک قطعه ملاموس از یک فایل سه بعدی (نمونه سازی سریع و تولید) " مجید سبز علیان (۱۳۸۹)

"فناوری های نمونه سازی و تولید سریع"، محمدرضا باروزه (۱۳۸۹)

وبلاگ مهندسی ساخت و تولید و شکل دهی (<http://www.mec-eng.blogfa.com/category/۱۱>)

وبلاگ تخصصی طراحی صنعتی (<http://draw.parsiblog.com/Posts/۲>)

سایت جی تاک (<http://gtalk.ir/thread۱۳۰۵۸۵.html>)

سایت آپارات (<http://www.aparat.com/v/hfEwU>)