

فناوری

نمونه سازی سریع

مؤلفین:

هیات علمی دانشگاه امام حسین (ع)

صادق رحمتی

مجتبی سلیمی

محمد ایلدارزاده

رحمتی، صادق، ۱۳۳۸ -

فناوری نمونه‌سازی سریع (RP) [آر.پی.] / مولفین: صادق رحمتی، مجتبی سلیمی، محمد ایلدارزاده - تهران: جهان جام جم، ۱۳۸۳.

۳۲۸ ص. مصور، جدول، نمودار.

ISBN: 964-8625-08-5

Rapid Prototyping

ص.ع. به انگلیسی

کتابنامه.

۱. نمونه‌سازی سریع. الف. سلیمی، مجتبی، ۱۳۵۴ - ب. ایلدارزاده، محمد، ۱۳۵۷ -

ج. عنوان.

۶۲۰/۱۰۰۴۲۰۲۸۵

TS۱۵۵/۶۱۳۹۹

کتابخانه ملی ایران

۸۳-۱۷۷۲۹ م

فناوری نمونه‌سازی سریع

مولفین: صادق رحمتی - مجتبی سلیمی - محمد ایلدارزاده

حروفچینی و صفحه بندی: محمد ایلدارزاده

طراحی جلد: محمد ایلدارزاده، محسن عالی

لیتوگرافی: بهنور پرواز

چاپ: نگرش

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۲۶۰۰

سال انتشار: ۱۳۸۴

قیمت: ۳۸۰۰ تومان

ناشر: موسسه انتشارات جهان جام جم

نشانی: تهران - جنت آباد - خ گلزار غربی - کوچه شهید محسنی بعد - پلاک ۱۳

تلفکس: ۴۸۲۹۲۳۱

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

بنام خدا

((قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ))

آیا کسانی که می‌دانند (علم دارند) با کسانی که نمی‌دانند (علم ندارند) یکسانند؟

زمر آیه ۹

سپاس خدای را که بر ما منت گذارد و توفیق نگارش این اثر را عطا فرمود.

از آنجائیکه فناوری حکم موتور اقتصادی را در صنعت دارا است، لذا فراگیری فناوریهای جدید بر همه مدیران، مهندسين، کارشناسان، محققين و دانشجویان امری ضروری و بدیهی است. اینجانب بنا بر احساس مسوولیتی که بر دوش خود حس می‌نموده‌ام، همواره سعی در نشر و آموزش فناوریهای نوین ساخت داشته و در فرصتهای بدست آمده در قالب کنفرانس، سمینار، پروژه، کارگاه آموزشی و چاپ مقالات علمی، سعی در ترویج این فناوری داشته‌ام. اکنون، این فرصت فراهم شده را مغتنم شمرده و تجربیات و دستاوردهای علمی خود را در قالب این کتاب عرضه می‌نمایم.

امید است که این کتاب بعنوان نخستین اثر به زبان فارسی در زمینه فناوری نمونه سازی سریع، مرجعی مفید در راستای نیاز دانشگاهیان و صنعتگران علاقمند بوده و کشور عزیزمان ایران را در جهت ترویج و نشر این فناوری یاری نماید. لذا انتظار می‌رود در کشوری که سرشار از وجود استعدادهای شکوفا است و منابع عظیم ثروت طبیعی در دسترس است، اهتمام و توجه شایانی به گسترش دانش پیشرفته و تکنولوژی روز گردد.

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از زحمات دوستان دانشجوی، آقایان مهندس محمد ایلدارزاده و مهندس مجتبی سلیمی تشکر و قدردانی نمایم، که اگر زحمات این عزیزان نبود شاید این مهم هرگز به انجام نمی‌رسید. در پایان از صبر و حمایت همسرم که همیشه مشوق من در انجام این رسالت خطیر بوده است قدردانی می‌نمایم.

والسلام

صادق رحمتی

فروردین ۱۳۸۴

پیشگفتار

ظهور فناوریهای نوین ساخت منجر به تحول عظیمی در صنعت جهانی شده است بطوریکه توانسته بسیاری از معضلات موجود در ساخت قطعات پیچیده را از میان برداشته و زمان و هزینه اجرای پروژهها را بطور چشمگیری کاهش دهد. این در حالیست که بازار تجارت جهانی (World Trade Organization) و پدیده جهانی شدن (Globalization)، رقابت بین صنعتگران را به عرصه جهانی کشانده و آنان را با انبوهی از فرصتها و چالشها مواجه ساخته است. در این میان بکارگیری روشهای سنتی که سالها در دسترس بودهاند، قدرت پاسخگویی به نیاز امروز را نداشته و بخصوص در عرصه تولید محصولات کیفی در زمان کوتاه، با کاستیهای فراوانی روبرو خواهد بود. در این شرایط تنها آن دسته از صنعتگرانی شانس بقا در بازار جهانی را خواهند داشت که با راهبردی مناسب بتوانند فناوریهای روز دنیا را بخوبی شناخته و بستر لازم جهت بکارگیری و اجرای آنها فراهم آورند. تنها در این صورت است که خواهند توانست محصولات کیفی خود را در زمان مناسب و با حداقل هزینه بدست مشتریان جهانی برسانند.

امروزه رقابت در عرصه صنعت ساخت و تولید اینگونه است که شرکتی که بتواند محصول جدید خود را سریعتر روانه بازار کند، بیشترین سهم از بازار را به خود اختصاص خواهد داد. زیرا عمر محصول همواره رو به کاهش بوده و میتوان ادعا کرد که منطقاً مهمترین عوامل در سوددهی امروزه محصول، سرعت در طراحی و توسعه محصول میباشد. در اجرای یک پروژه، کاهش ۴۰٪ از زمان توسعه محصول شاید معادل ۴۰٪ کاهش در هزینه اجرایی و عملیاتی آن باشد. در این میان کمپانیهای کوچک مجبور به رقابت سخت تر و تلاش بیشتر برای باقی ماندن در این عرصه پر رقابت میباشند.

اخیراً فناوریهای متعددی عرضه شدهاند که قادر به افزایش سرعت در تولید نمونه و ساخت مستقیم قطعه از مدل سه بعدی کامپیوتری (CAD)، میباشند که این فناوریها، نمونه سازی سریع (Rapid Prototyping) نامیده می شوند. زمانی تصور می شد که نمونه سازی سریع (RP) صرفاً وسیله ای برای ساخت مدل و نمونه است، در حالیکه امروزه RP طیف گسترده ای از صنایع و کاربردها را از قبیل هوافضا، لوازم خانگی، پزشکی، آرشیو، توپوگرافی، جواهرسازی، و هنر را شامل می شود.

دستگاه‌های نمونه‌سازی سریع (RP) این اطمینان را می‌دهند که ایده‌های طراحی، جوابگوی نیازهای کاربران از ابتدای مراحل طراحی خواهند بود و حتی قادر به انجام تستهای عملکرد، و کیفیت بطور همزمان می‌باشند. دستگاه‌های نمونه‌سازی سریع مانند استریولیتوگرافی می‌توانند قطعه مدل شده در فضای CAD را به لایه‌های بسیار نازکی برش داده و نمونه را با مبنای لایه‌های رویه هم قرار گرفته تولید نمایند. روشهای زیادی برای ساختن نمونه وجود دارد، و اختلاف آنها در نحوه ساختن قطعه از لایه‌های متوالی و مواد بکار رفته است که می‌بایست کاربر مزیت‌ها و کمبودهای هر یک را به دقت تحقیق نموده و استفاده مؤثر از تکنیکهای فناوری نمونه‌سازی سریع را به عمل آورد.

کماکان صنعت ساخت و تولید آمریکا، در جهت ارائه روشهای توسعه محصول و فناوری، از قبیل نمونه‌سازی سریع، برتری خود را در جهان حفظ کرده، و رهبری تولید و فروش این سیستمها را در اختیار دارد. تعداد ماشینهای RP فروخته شده و تعداد قطعات تولید شده توسط این ماشینها هر ساله رو به افزایش است. بیش از ۷۵٪ از سیستمهای فروخته شده در سالهای اخیر به سازندگان آمریکایی تعلق دارد. در سال ۲۰۰۴ میلادی، کمیته تصویب لوايح آمریکا مبلغ ۷۵ میلیون دلار را جهت توسعه تکنولوژی نمونه‌سازی سریع اختصاص داد، که نشانگر توجه آمریکا به توسعه هر چه بیشتر این فناوری می‌باشد. اما برای آنکه سیستمهای RP بتوانند بهتر در بازار جهانی نفوذ کنند، می‌بایست تغییراتی صورت گیرد. جهت جلب بیشتر کاربران، سیستمهای RP باید ارزانتر شده و استفاده و نگهداری آنها راحت‌تر شود. لذا روند تغییرات قیمت اینگونه ماشین آلات بگونه‌ای پیش خواهد رفت که قیمت آنها به مقدار چشمگیری کاهش یافته و سایز و اندازه برخی از این دستگاهها طوری کاهش خواهد یافت که براحتی قابل نصب در دفتر کار طراحان، مهندسین و یا مدیران خواهد بود^۱. کیفیت مواد مصرفی افزایش یافته و از گستردگی بیشتری برخوردار خواهند شد.

در عین حال، شرکتها روشهای خلاقانه‌ای را جهت بهتر به خدمت گرفتن RP به منظور ساخت قطعات نهایی و تولید سری قطعات در تعداد یک تا بیش از ۱۰۰۰ قطعه را دنبال می‌کنند. امروزه کمپانیهای متعددی در صدد توسعه کاربردهای این تکنولوژی جهت تولید محصولات تمام شده و نهایی هستند. از این رو تکنولوژیهای نمونه‌سازی سریع بطور فزاینده‌ای، برای ساخت قطعات نهایی و تولید سری قطعات، استفاده می‌شوند. این ایده جدید، ساخت سریع (Rapid Manufacturing) نامیده می‌شود که در طی آن هدف تولید سری قطعات مستقیماً بر روی ماشینهای RP، از یک عدد تا چند هزار می‌باشد. لذا روند رشد فناوریهای نمونه‌سازی سریع و قالب‌سازی سریع (RT)

بسوی ساخت سریع (RM) بوده و در آینده قطعات واقعی با خواص مکانیکی نهایی توسط دستگاههای RP ساخته خواهد شد.

با ظهور RM، مراحل عملیتهای ساخت کاهش یافته و قطعات را سریعتر، ارزانتر و با انعطاف پذیری بیشتر می توان تولید نمود. لذا در RM، ساخت سریع قطعات مستقیماً با استفاده از اطلاعات CAD جهت تولید قطعات نهایی در ۲ روز بدون نیاز به ابزار و قالب امکانپذیر خواهد بود. برآستی آینده RM بسیار امیدوار کننده است، زیرا در این فرایند ابزارآلات و قالبها حذف شده و بنابراین کاهش چشمگیری در زمان و هزینه خواهیم داشت. از دیگر مزایایی که در پی عدم نیاز به ابزارآلات بوجود می آید می توان به مواردی مانند افزایش آزادی عمل در طراحی، تولید محصولات سفارشی، تولید بهنگام و عدم تمرکز در تولید اشاره کرد.

در این کتاب قصد بر آن است که فناوریهای نوین ساخت بطور جامع از نقطه نظر مبانی، کاربردها، و کلیه نکات فنی مرتبط با فناوریهای نوین ساخت، پرداخته شود. موضوعات این مباحث عبارتند از تاریخچه RP، CAD/CAM، فرمت STL، نرم افزارها، فتوپلیمریزاسیون، لیزر، فرایند SLA، خواص مکانیکی فتوپلیمرها، انواع سیستمهای RP، کاربردهای فنی مهندسی، پزشکی، معماری، هنر، و موارد مطالعاتی. ممکن است بعضی از این موضوعات در مراجع دیگر به تفصیل آورده شده باشد لذا سعی شده است که در پایان هر فصل، لیستی از این مراجع نیز اضافه گردد. نکته مثبت در این کتاب این است که طیف گستردهای از موضوعات را با هم در یک جلد آورده است که ارتباط آنها را با هم نشان می دهد. این کتاب تلاشی است در جهت شتاب بخشیدن به فراگیری تکنولوژیهای نوین ساخت و کاربردهای صنعتی آن از طریق ارائه توضیحات روشن این تکنولوژیهای جدید. لذا در یک، جمع بندی مختصر، موضوعات آنرا می توان به صورت ذیل عنوان نمود:

- معرفی تکنیکهای مختلف فناوریهای نمونه سازی سریع
- ویژگیهای مناسب ترین کاربردهای آن در صنعت ساخت و تولید
- فراگیری سیستماتیک در جهت تصمیم گیری و انتخاب مناسب ترین دستگاه
- ترکیب کارآمد با تکنولوژیهای ساخت و تولید موجود
- شناخت ابعاد اقتصادی و تکنیکی برای ارزیابی و مقایسه با دیگر روشها
- کاربرد گسترده RP در تولید محدود و انبوه از طریق قالب سازی سریع

این کتاب عمدهً برای کاربران علاقه مند در زمینه های صنعتی مهم از قبیل CAD/CAM، ساخت و تولید، مهندسی پزشکی، عمران، آرشیکتک، جغرافیا، صنایع و هنر می باشد. در راستای کاربردهای مورد نظر، این کتاب همچنین برای دانشجویان مهندسی، مدیریت، و گرایش اقتصاد نیز مناسب

می‌باشد. در فصل یک، مروری بر تاریخچه تکنولوژیهای پیشرفته ساخت با تاکید بر RP شده و تکنولوژی کنترل عددی با RP مقایسه شده است. در فصل دوم، تکنولوژی CAD/CAM در RP مورد بررسی قرار گرفته و نحوه انتقال اطلاعات از سیستم CAD به سیستم RP تشریح گردیده، و مشخصات ورودی داده‌ها در سیستمهای RP (فایل STL) توصیف شده است. در فصل سوم، فتوپلیمریزاسیون به اختصار تشریح شده و مشخصه‌های رزین فتوپلیمریزاسیون بیان شده است. در ادامه، مشکلات اینگونه رزینها بررسی شده و راهکارهای رفع آن تشریح شده است.

فصل چهارم، به کاربرد لیزر در RP پرداخته است و فرایند تابش انرژی لیزر و فرایند فتوپلیمریزاسیون را مورد بررسی قرار داده و انواع لیزر را به اختصار تشریح کرده است. در فصل پنجم، ابتدا فرایند استریولیتوگرافی به تفصیل تشریح شده و در ادامه، دیگر فرایندهای RP نیز به اختصار توصیف شده و مزایا، معایب و کاربردهای هر یک آورده شده است. در فصل ششم کاربردهای نمونه سازی سریع در فنی مهندسی، پزشکی، معماری و جواهر سازی تشریح شده و کاربردهای آنها در قالبسازی سریع به تفصیل آورده شده است. در فصل هفتم، اصول و مبانی فرایند استریولیتوگرافی تشریح گردیده و روابط بین پارامترهای ساخت SLA از قبیل قدرت تابش اشعه لیزر، سرعت اسکن، انرژی بحرانی، عمق نفوذ لیزر، پهنای خط پخت و پارامترهای دیگر تحلیل گردیده است.

در فصل هشتم، انواع تکنیکهای نرم‌افزاری در استریولیتوگرافی از قبیل Weave, Tri-Hatch, STARWeave, Quick Cast و ACES تشریح گردیده و فرایند کار با دستگاه استریولیتوگرافی بررسی شده است. در فصل نهم، به بررسی خواص مکانیکی فتوپلیمرها پرداخته شده است. نتایج آزمایشگاهی و تئوری منحنی فتومدول برای رزینهای مختلف نشان داده شده است و انواع تستها از قبیل بررسی رفتار ایزوتروپیک، تست ضربه، تست کشش، تست برش و مدول الاستیسیته تشریح گردیده است. در فصل دهم نیز موارد مطالعاتی متعددی در زمینه هوافضا، خودرو سازی، پزشکی، هنر و معماری پرداخته شده است.

معرفی نویسندگان

دکتر صادق رحمتی

عضو هیات علمی دانشگاه، دارای لیسانس مهندسی مکانیک از دانشگاه Ottawa کانادا در سال ۱۳۶۴، فوق لیسانس CIM از دانشگاه Loughborough انگلستان در سال ۱۳۷۳، و دکترای مهندسی ساخت و تولید پیشرفته در زمینه نمونه سازی سریع (Rapid Prototyping) از دانشگاه Nottingham انگلستان در سال ۱۳۷۸، موفق به ابداع روش قالبسازی سریع بروش استریولیتوگرافی AIM Tooling با حمایت کمپانی ZENECA انگلستان در سال ۱۹۹۵ گردید. با این روش می توان قالبهای تزریق موقت را در چند روز ساخته و تا ۵۰۰ عدد قطعه تولید نمود. امروزه کمپانیهای انگلیسی از این روش جهت تولید انبوه موم ریخته گری جهت ریخته گری دقیق (Investment Casting) نیز استفاده می کنند. تاکنون ۲۵ مقاله علمی- پژوهشی در کنفرانسهای بین المللی و مجلات علمی به چاپ رسانده است. ایشان به مدت ۵ دوره عضو تیم برگزار کننده کنفرانس European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing در کشور انگلستان بوده و هم اکنون سرپرست طرح جامع نمونه سازی سریع پزشکی و مدیر مرکز تحقیق و توسعه فناوریهای نوین ساخت وابسته به دانشگاه امام حسین (ع) می باشند.

مهندس مجتبی سلیمی

کارشناس ارشد در مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، مرکز CAD/CAM، وابسته به دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دارای لیسانس مهندسی مکانیک از دانشگاه صنعتی مالک اشتر در سال ۱۳۷۸ بوده، و هم اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد در رشته CAD/CAM می باشد.

مهندس محمد ایلدارزاده

کارشناس مرکز تحقیق و توسعه فناوریهای نوین ساخت وابسته به دانشگاه امام حسین (ع)، دارای لیسانس مهندسی مکانیک از دانشگاه امام حسین (ع) در سال ۱۳۸۱ و موفق به دریافت جایزه زرین دکتر افشاری (پایان نامه برتر سال) از انجمن مهندسی مکانیک ایران در همان سال می باشد.

فصل اول: مقدمه‌ای بر فناوریهای ساخت پیشرفته

۲	۱-۱ تاریخچه نمونه‌سازی سریع
۲	۱-۱-۱ تاریخچه پیشرفتهای فنی
۲	۱-۱-۱-۱ توپوگرافی
۵	۱-۱-۱-۲ فوتواسکالپچر
۸	۱-۱-۳ اولین روشهای ساخت اجسام غیرهندسی
۱۲	۱-۱-۳-۱ اختراعات کاربردی
۱۲	۱-۱-۵ نمونه‌های ساخته شده اولیه
۱۳	۱-۱-۲ پیشرفتهای تجاری
۱۳	۱-۲-۱-۱ پیشرفتهای اولیه
۱۴	۱-۲-۲-۱ پیشرفتهای در ایالات متحده
۱۵	۱-۲-۳-۱ پیشرفتهای در اروپا و ژاپن
۱۷	۲-۱ مروری بر فناوریهای ساخت پیشرفته
۱۸	۱-۲-۱ آخرین تحولات تکنولوژیهای ساخت پیشرفته
۱۹	۲-۲-۱ ماشینکاری پیشرفته با تکنولوژی NC
۲۲	۳-۲-۱ چگونگی توسعه فناوریهای نمونه‌سازی سریع
۲۳	۳-۱ مقایسه تکنولوژیهای NC و نمونه‌سازی سریع
۲۴	۱-۳-۱ تشابهات
۲۴	۲-۳-۱ اختلافات
۲۴	۱-۲-۳-۱ آماده‌سازی اطلاعات و ورودیها
۲۵	۲-۲-۳-۱ کنترل فرایند
۲۵	۳-۲-۳-۱ جنبه‌های مواد مصرفی
۲۶	۴-۲-۳-۱ اهمیت نمونه‌سازی سریع
۲۷	مراجع

فصل دوم: ورودی داده‌ها در سیستمهای RP

۳۱	۱-۲ مقدمه
----	-----------

۳۲	۲-۲ تکنیکهای مدلسازی هندسی
۳۲	۱-۲-۲ مدلسازی قاب سیمی
۳۳	۲-۲-۲ مدلسازی سطوح
۳۵	۳-۲-۲ مدلسازی حجمی
۳۶	۳-۲ فرمتهای اطلاعات در RP
۳۷	۴-۲ STL، فرمت استاندارد سیستمهای RP
۳۹	۱-۴-۲ مزایا
۴۰	۲-۴-۲ معایب
۴۲	۵-۲ نرم افزارهای نمونه‌سازی سریع
۴۳	۱-۵-۲ وظایف نرم افزارهای آماده سازی قطعه
۴۳	۱-۱-۵-۲ عیب یابی و اصلاح فایل STL
۴۶	۲-۱-۵-۲ تعیین جهت ساخت
۴۸	۳-۱-۵-۲ بررسی حجم محصور
۴۹	۴-۱-۵-۲ جانمایی و چیدمان
۴۹	۵-۱-۵-۲ ساخت تکیه‌گاهها
۵۱	۶-۱-۵-۲ لایه بندی و یکپارچه سازی
۵۳	مراجع

فصل سوم: مقدمه‌ای بر فتوپلیمریزاسیون

۵۵	۱-۳ مقدمه
۵۶	۲-۳ فرایند فتوپلیمریزاسیون
۵۸	۱-۲-۳ پلیمریزاسیون رادیکالی
۶۰	۲-۲-۳ انواع فتوپلیمرها
۶۱	۱-۲-۲-۳ اکریلیکها
۶۱	۲-۲-۲-۳ اپوکسی‌ها
۶۱	۳-۳ دورنمای فتوپلیمرها
۶۲	۴-۳ اصول و روشهای تعیین خواص و پارامترهای رزین

۶۵	۱-۴-۳ استحکام سبز
۶۸	۲-۴-۳ پیچش کرل
۷۲	۱-۲-۴-۳ تغییرات پیچش کرل با مقدار تابش لیزر
۷۲	مراجع

فصل چهارم: کاربرد لیزر در نمونه‌سازی سریع

۷۵	۱-۴ مقدمه
۷۶	۲-۴ فرایند تابش لیزر
۸۱	۳-۴ اصول لیزرهای نمونه‌سازی سریع
۸۳	۱-۳-۴ لیزرهای هلیوم-کادمیم
۸۵	۲-۳-۴ لیزرهای آرگون
۸۵	۳-۳-۴ لیزرهای دی اکسید کربن
۸۶	۴-۴ کاربردهای امروزی لیزرها در نمونه‌سازی سریع
۸۷	مراجع

فصل پنجم: سیستمهای نمونه‌سازی سریع

۸۹	۱-۵ مقدمه
۹۰	۲-۵ فرایند نمونه‌سازی سریع
۹۰	۱-۲-۵ مدل CAD
۹۱	۲-۲-۵ فایل STL
۹۲	۳-۲-۵ لایه بندی
۹۲	۴-۲-۵ تکیه‌گاه
۹۳	۵-۲-۵ ساخت
۹۳	۶-۲-۵ پس پردازش
۹۳	۳-۵ استریولیتوگرافی (SLA)
۹۵	۱-۳-۵ مزایا
۹۶	۲-۳-۵ معایب

۹۶	۳-۳-۵ کاربردها
۱۰۰	۴-۵ تف جوشی انتخابی لیزری (SLS)
۱۰۱	۱-۴-۵ مزایا
۱۰۲	۲-۴-۵ معایب
۱۰۲	۳-۴-۵ کاربردها
۱۰۳	MJM ۵-۵
۱۰۴	۱-۵-۵ مزایا
۱۰۵	۲-۵-۵ معایب
۱۰۵	۳-۵-۵ کاربردها
۱۰۶	FDM ۶-۵
۱۰۷	۱-۶-۵ مزایا
۱۰۸	۲-۶-۵ معایب
۱۰۹	۳-۶-۵ کاربردها
۱۱۰	۷-۵ سیستمهای EOS
۱۱۱	۱-۷-۵ فرایند
۱۱۱	۲-۷-۵ مواد
۱۱۳	۳-۷-۵ مزایا
۱۱۴	۴-۷-۵ معایب
۱۱۴	۵-۷-۵ کاربردها
۱۱۵	LOM ۸-۵
۱۱۵	۱-۸-۵ فرایند
۱۱۶	۲-۸-۵ مزایا
۱۱۷	۳-۸-۵ معایب
۱۱۸	۴-۸-۵ کاربردها
۱۱۹	۹-۵ چاپ سه بعدی
۱۲۰	۱-۹-۵ مزایا
۱۲۱	۲-۹-۵ معایب

۱۲۲	SGC ۱۰-۵
۱۲۲	۱-۱۰-۵ فرایند
۱۲۳	۲-۱۰-۵ مزایا
۱۲۴	۳-۱۰-۵ معایب
۱۲۴	۴-۱۰-۵ کاربردها
۱۲۶	۱۱-۵ سیستمهای PATTERN MASTER و MODELMAKER
۱۲۶	۱-۱۱-۵ فرایند
۱۲۷	۲-۱۱-۵ مزایا
۱۲۸	۳-۱۱-۵ معایب
۱۲۸	۴-۱۱-۵ کاربردها
۱۲۹	۱۲-۵ سیستم SCS
۱۲۹	۱-۱۲-۵ فرایند
۱۳۱	۲-۱۲-۵ مزایا
۱۳۱	۳-۱۲-۵ معایب
۱۳۲	۱۳-۵ سیستم SOLIFORM
۱۳۲	۱-۱۳-۵ مبانی
۱۳۲	۲-۱۳-۵ فرایند
۱۳۳	۳-۱۳-۵ مزایا
۱۳۳	۴-۱۳-۵ معایب
۱۳۳	۵-۱۳-۵ کاربردها
۱۳۴	LENS ۱۴-۵
۱۳۵	۱-۱۴-۵ مبانی
۱۳۶	۲-۱۴-۵ فرایند
۱۳۷	۳-۱۴-۵ مزایا
۱۳۷	۴-۱۴-۵ معایب
۱۳۷	۵-۱۴-۵ کاربردها
۱۳۸	۶-۱۴-۵ جهت گیریهای آینده

۱۳۹	۱۵-۵ تفت جوشی بازداري انتخابي (SIS)
۱۳۹	۱-۱۵-۵ مراحل
۱۴۱	۲-۱۵-۵ مزایا
۱۴۲	۱۶-۵ ساخت پیرامونی (Contour Crafting)
۱۴۲	۱-۱۶-۵ فرایند
۱۴۵	۳-۱۶-۵ ویژگیهای بارز CC
۱۴۶	۴-۱۶-۵ جهت گیریهای آینده
۱۴۶	مراجع
	فصل ششم: کاربردهای نمونه سازی سریع
۱۴۹	۱-۶ ارتباط بین کاربردها و مواد
۱۵۰	۲-۶ کاربردهای فنی مهندسی
۱۵۰	۱-۲-۶ کاربردهای طراحی و مجسم سازی
۱۵۰	۱-۲-۶-۱ بازبینی مدل CAD
۱۵۰	۲-۲-۶-۲ مجسم سازی
۱۵۱	۳-۲-۶-۳ تأیید مفاهیم
۱۵۱	۴-۲-۶-۴ بازاریابی و کاربردهای تجاری
۱۵۱	۲-۲-۶-۲ کاربردهای مهندسی و تحلیل
۱۵۱	۱-۲-۶-۲ مقیاس کردن
۱۵۲	۲-۲-۶-۲ مدل های انطباقی و دقیق
۱۵۲	۳-۲-۶-۲ تحلیل جریان
۱۵۲	۴-۲-۶-۲ تحلیل تنش
۱۵۳	۵-۲-۶-۲ مدل های یک به یک
۱۵۳	۶-۲-۶-۲ قطعات پیش تولید
۱۵۴	۳-۲-۶ کاربرد در ساخت و تولید و قالب سازی
۱۵۵	۱-۳-۲-۶ روش های قالب سازی سریع غیرمستقیم
۱۵۶	۱-۳-۲-۶-۱ قالب سازی RTV Silicon Rubber

۱۵۸	۲-۱-۳-۲-۶ قالبگیری تزریقی عکس العملی (RIM)
۱۵۸	۳-۱-۳-۲-۶ ریخته‌گری دورانی
۱۵۹	۴-۱-۳-۲-۶ قالبسازی رزینی
۱۵۹	۶-۱-۳-۲-۶ قالبسازی اسپری فولاد (Sprayed Steel Tooling)
۱۶۲	۷-۱-۳-۲-۶ فرایند جامدسازی سریع
۱۶۳	۸-۱-۳-۲-۶ فرایند قالبگیری گچی
۱۶۴	۹-۱-۳-۲-۶ فرایند الکتروفرمینگ
۱۶۴	۱۰-۱-۳-۲-۶ قالبسازی Kirksite روی و آلومینیوم
۱۶۴	۱۱-۱-۳-۲-۶ ریخته‌گری دقیق
۱۶۶	۱۲-۱-۳-۲-۶ ریخته‌گری ماسه‌ای
۱۶۷	۱۳-۱-۳-۲-۶ ریخته‌گری با الگوی نبخیری
۱۶۷	۱۴-۱-۳-۲-۶ فرایند 3D Keltool
۱۶۹	۲-۳-۲-۶ روشهای قالبسازی و ساخت سریع مستقیم
۱۶۹	۱-۲-۳-۲-۶ قالب سازی Direct AIM
۱۷۰	۲-۲-۳-۲-۶ قالب سازی AIM Tooling
۱۷۰	۳-۲-۳-۲-۶ تف جوشی لیزری قالبهای ریخته‌گری ماسه‌ای
۱۷۰	۴-۲-۳-۲-۶ فرایند SLS RapidSteel
۱۷۱	۵-۲-۳-۲-۶ قالبسازی پلی آمید - مس
۱۷۲	۶-۲-۳-۲-۶ تف جوشی لیزری مستقیم فلزی (DMLS)
۱۷۲	۷-۲-۳-۲-۶ قالبسازی فلزی لایه‌ای
۱۷۳	۸-۲-۳-۲-۶ فرایند LENS
۱۷۴	۲-۳-۲-۶ فرایند ساخت فلزی کنترل شده (CMB)
۱۷۴	۱۰-۲-۳-۲-۶ قالب سازی سریع ProMetal
۱۷۶	۱۱-۲-۳-۲-۶ ساخت مستقیم پوسته سرامیکی ریخته‌گری (DSPC)
۱۷۸	۱۲-۲-۳-۲-۶ فرایند MJS
۱۷۹	۱۳-۲-۳-۲-۶ فرایند ذوب با پرتو الکترونی (EBM)
۱۷۹	۱۴-۲-۳-۲-۶ فرایند LASERFORM

۱۸۱	۳-۶ کاربردهای پزشکی
۱۸۱	۱-۳-۶ مقدمه
۱۸۱	۲-۳-۶ نمونه‌سازی سریع پزشکی
۱۸۴	۳-۳-۶ فرایند مدلسازی پزشکی
۱۸۵	۱-۳-۳-۶ استخراج داده‌ها
۱۸۵	۲-۳-۳-۶ بازسازی یا پردازش داده‌ها
۱۸۶	۳-۳-۳-۶ ساخت پروتز به روش نمونه‌سازی سریع
۱۸۹	۴-۶ کاربردهای معماری
۱۸۹	۱-۴-۶ مقدمه
۱۹۰	۲-۴-۶ مشکل انتقال ایده در طراحی
۱۹۲	۳-۴-۶ طراحی صنعتی و معماری
۱۹۳	۱-۳-۴-۶ شباهتها
۱۹۴	۲-۳-۴-۶ تفاوتها
۱۹۵	۴-۴-۶ کاربردهای جاری
۱۹۶	۵-۴-۶ جهت گیریهای آینده
۱۹۸	۵-۶ صنعت جواهرسازی
۱۹۸	۱-۵-۶ مقدمه
۱۹۸	۲-۵-۶ ساخت جواهرات با استفاده از مدل دائمی
۱۹۹	۳-۵-۶ ساخت جواهرات با استفاده از مدل فنا شونده
۲۰۰	۴-۵-۶ نرم افزارهای طراحی جواهرات
۲۰۱	۵-۵-۶ مزایا
۲۰۱	مراجع
	فصل هفتم: فرایند استریولیتوگرافی (SLA)
۲۰۷	۱-۷ مقدمه
۲۰۸	۲-۷ اصول و مبانی فرایند استریولیتوگرافی
۲۰۸	۳-۷ تابع توزیع خط لیزر گاوسی

۲۱۴	۴-۷ پروفیل سهمی شکل خط پخت
۲۱۶	۵-۷ معادله منحنی کاری
۲۱۸	۱-۵-۷ رفتار سوپر لگاریتمی
۲۱۹	۲-۵-۷ رفتار زیر لگاریتمی
۲۲۰	۶-۷ تابع پهنای خط پخت
۲۲۳	مراجع

فصل هشتم: تکنیکهای نرم افزاری و فرایند ساخت در استریولیتوگرافی

۲۲۵	۱-۸ مقدمه
۲۲۵	۲-۸ Tri-Hatch
۲۲۶	۳-۸ WEAVE
۲۲۶	۴-۸ STAR WEAVE
۲۲۸	۵-۸ Quick Cast
۲۲۹	۶-۸ ACES
۲۲۹	۷-۸ جبران پهنای خط
۲۳۰	۸-۸ ساخت قطعه
۲۳۳	۱-۸-۸ تکمیل و تخلیه رزین اضافی
۲۳۴	۲-۸-۸ پس پردازش
۲۳۴	۱-۲-۸-۸ پیرایش و تمیز کردن
۲۳۴	۲-۲-۸-۸ فرآوری نهایی
۲۳۵	۳-۲-۸-۸ پرداخت قطعه
۲۳۶	مراجع

فصل نهم: خواص مکانیکی فتوپلیمرها

۲۳۷	۱-۹ مقدمه
۲۳۷	۲-۹ تئوری
۲۳۹	۳-۹ تشعشع دو طرفه روی یک نمونه نازک

۲۴۱	۴-۹ مدل فتومدولها
۲۴۶	۵-۹ روشهای آزمایشگاهی
۲۵۱	۱-۵-۹ نتایج آزمایشگاهی اندازه گیری مدول الاستیسیته فتوپلیمرها
۲۵۴	۲-۵-۹ بررسی خواص مکانیکی رزین اپوکسی SL5170 در آزمایشگاه
۲۵۵	۱-۲-۵-۹ رفتار ایزوتروپیک قطعات استریولیتوگرافی
۲۵۵	۲-۲-۵-۹ تست ضربه قطعات استریولیتوگرافی
۲۵۶	۳-۲-۵-۹ تست ضربه اپوکسی SL5170
۲۵۶	۴-۲-۵-۹ مقاومت کششی رزینهای استریولیتوگرافی
۲۵۷	۵-۲-۵-۹ مقاومت برشی رزینهای استریولیتوگرافی
۲۵۸	۶-۲-۵-۹ مدول الاستیسیته رزینهای استریولیتوگرافی
۲۵۹	مراجع

فصل دهم: نمونه‌های مطالعاتی

۲۶۱	۱-۱۰ صنایع هوافضا
۲۶۱	۱-۱-۱۰ بررسی طراحی یک ژنراتور الکتریکی هوایی
۲۶۲	۲-۱-۱۰ اجزاء موتور Fanjet
۲۶۲	۳-۱-۱۰ نمونه‌سازی پوسته ورودی هوا برای موتور توربین گازی
۲۶۴	۴-۱-۱۰ ساخت محصول ریختگی با ضمانت پرواز
۲۶۵	۵-۱-۱۰ نمونه‌سازی یک ایمپلر هوایی
۲۶۶	۲-۱۰ صنعت خودروسازی
۲۶۶	۱-۲-۱۰ نمونه‌سازی پوسته پیچیده جعبه دنده برای بازبینی طراحی
۲۶۶	۲-۲-۱۰ نمونه‌سازی سیستم کنترل محرک پیشرفته با استریولیتوگرافی
۲۶۷	۳-۲-۱۰ ساخت موتور فلزی ریختگی با استفاده از فرایند RP
۲۶۸	۴-۲-۱۰ استفاده از SLA در ساخت قالب پوسته موتور برف پاک‌کن
۲۶۹	۳-۱۰ پزشکی
۲۷۰	۱-۳-۱۰ نمونه‌سازی سریع پزشکی مفصل زانو به روش FDM
۲۷۱	۲-۳-۱۰ ترمیم شکستگی دو طرفه جمجمه با استفاده از فرایند SLA

۲۷۳	۳-۳-۱۰ مدل‌سازی و طراحی ایمپلنت چند قسمتی مجسمه
۲۷۶	۴-۱۰ هنر
۲۷۶	۱-۴-۱۰ ساخت مجسمه
۲۷۷	۵-۱۰ معماری
۲۷۷	۱-۵-۱۰ بررسی اصول طراحی معماری بنای Palladio
۲۷۹	مراجع

پیوستها

۲۸۱	پیوست A/ لیست شرکتهای ارائه دهنده خدمات RP
۲۸۹	پیوست B/ اختصارات
۲۹۳	پیوست C/ اختصارات
۲۹۷	پیوست D/ اختصارات