

## تحلیل تجربی تأثیر نیروی فشاری حاصل از فاصله اولیه بر بهبود صحت ابعادی، با استفاده از لایه‌هایی از جنس اتیلن پروپیلن فلئورینه با ضخامت‌های مختلف در روش پردازش دیجیتال نوری

محمد صالحی<sup>۱</sup>، جمال زمانی اشنی<sup>۲</sup>، سیاوش مؤیدی مانیزانی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استاد، گروه ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

### برجسته‌ها

- افزایش صحت ابعادی در راستای محور عمودی توسط نیروی فاصله اولیه
- ضخامت غشاء انعطاف‌پذیر و افزایش صحت ابعادی قطعات در روش DLP
- تعیین فاصله اولیه توسط ضخامت پخت فُتوپلیمر

### مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷

بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴

ارائه برخط: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱

\*نویسنده مسئول:

m.salehi@email.kntu.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

ساخت افزایشی

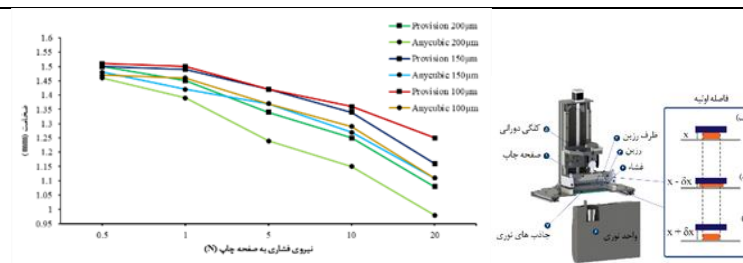
پردازش دیجیتال نوری

نیروی فشاری فاصله اولیه

صحت ابعادی

لایه نخست

### چکیده گرافیکی



### چکیده

روش‌های ساخت افزایشی به‌عنوان نوین‌ترین فرآیندهای ساخت قطعات در حوزه‌های پزشکی و صنعت در سال‌های گذشته، پیشرفت شایانی نموده‌اند. از بین روش‌های موجود، یکی از پرکاربردترین روش‌های پایه پلیمری، پردازش دیجیتال نوری (DLP) با بهره‌گیری از غشاءهای انعطاف‌پذیر است. از چالش‌های اصلی ساخت قطعات پلیمری لایه به لایه و بدون لایه، صحت ابعادی در راستای محور عمودی و صفحه‌ای قطعات چاپ‌شده است. در این مقاله با استفاده از سامانه طراحی و ساخته‌شده و با بهره‌گیری از سه غشاء انعطاف‌پذیر اتیلن پروپیلن فلئورینه با ضخامت‌های مختلف و رزین‌های Provision و Anycubic، به بررسی و تحلیل تجربی تأثیر نحوه کالیبراسیون و فاصله اولیه بر روی صحت ابعادی قطعات چاپ‌شده در روش DLP پرداخته‌شده است. با بررسی نیروهای فشاری متأثر از فاصله اولیه، مشاهده گردید که با افزایش نیروی فشار هنگام تعیین فاصله اولیه، در غشاءهایی به ضخامت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرون، در هر دو رزین، با کاهش ۱۷/۵٪ - ۳۴٪/۱۱- ضخامت قطعه همراه بوده که با قرارگیری در فاصله اولیه بهینه، می‌توان خطای حاصله را به مقدار قابل توجهی کاهش داد. همچنین کاهش ضخامت غشاء انعطاف‌پذیر، رابطه مستقیمی با افزایش صحت ابعادی در قطعات چاپ شده، برای هر دو رزین مذکور، داشته است.

## ۱- مقدمه

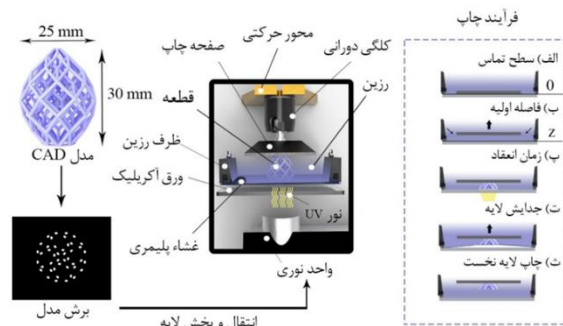
روش‌های ساخت افزایشی، به فناوری‌های نوین و قدرتمندی در زمینه ساخت ساختارهای سه‌بعدی پیچیده اطلاق می‌شوند. این فناوری‌ها بر اساس فرآیند اتصال مواد از طریق فنون متفاوت، قطعاتی از جنس پلیمر، فلز، کامپوزیت و سرامیک را تولید می‌کنند [۱]. مواد پلیمری به دو روش حرارتی و شیمیایی با ایجاد پیوندهای مولکولی و یا شیمیایی بین مونومرها تشکیل می‌شوند [۲]. تکنیک فُتوپلیمریزاسیون یا پلیمریزاسیون توسط نور، به‌عنوان یکی از روش‌های ساخت شیمیایی مواد پلیمری بشمار می‌رود. بر اساس مکانیسم حرکتی محور چاپ، این تکنیک چاپ پایه پلیمری به روش‌های استریولیتوگرافی (SLA)، پردازش دیجیتال نوری (DLP)، پلیمریزاسیون دو فوتونی (TPP)، تولید پیوسته مایع واسط (CLIP) و پلی جت (PolyJet) تقسیم‌بندی می‌شوند [۳، ۴]. سامانه‌ای متکی بر روش‌های فُتوپلیمریزاسیون توانایی چاپ قطعاتی همچون میکرو سازه‌ها [۵، ۶]، حسگرها [۶]، ربات انعطاف‌پذیر [۷]، مجرای عصبی [۸]، پروتز دندانی [۹]، بافت عروقی ریه [۱۰]، چاپ مدل اولیه از تصویربرداری پزشکی و قطعاتی باکیفیت سطحی مناسب دارند [۱۱].

پارامترهای ورودی چاپ سه‌بعدی فُتوپلیمریزاسیون شامل تکیه‌گاه، لایه نخست، تنظیمات سیستم، پخت لایه و مدل سه‌بعدی برای هر قطعه قبل از فرآیند چاپ هستند [۱۲]. در اکثر روش‌های فُتوپلیمریزاسیون، پارامتر لایه نخست در موفقیت و عدم موفقیت چاپ قطعه مؤثر است. به‌طوری‌که پس از ساخت لایه نخست، دیگر لایه‌ها اضافه می‌شوند؛ بنابراین، ساخت اولین لایه متصل به صفحه چاپ از قطعه در طول زمان چاپ بسیار حائز اهمیت است. دو پارامتر مؤثر در اتصال لایه نخست به صفحه چاپ، فاصله اولیه صفحه چاپ نسبت به بستر ظرف و میزان شدت نور هستند. تنظیم فاصله اولیه صفحه چاپ جزء پارامترهای ورودی و کالیبراسیون سیستم محسوب می‌گردد. میزان فاصله اولیه باید با میزان ضخامت پخت در هر لایه برابر باشد [۱۳]. هوانگ و همکاران برای افزایش احتمال چسبندگی لایه نخست به صفحه چاپ، تعدادی از لایه‌های نخست را با انرژی

نور بیش‌ازحد پخت کردند. در نتیجه این امر، با افزایش میزان شدت نور بیش‌ازحد، صحت ابعادی قطعات به دلیل پخت اضافی مواد کاسته شد [۱۴]. بسیاری از شرکت‌های ساخت چاپگرهای سه‌بعدی به روش فُتوپلیمریزاسیون، میزان فاصله اولیه صفحه چاپ را به‌صورت سعی و خطا و با استفاده از یک ورق کاغذی یا تغییر موقعیت منبع نوری کالیبره می‌نمایند [۱۵-۱۷]. اهمیت این موضوع در روش چاپ پیوسته CLIP مشهودتر نیز است. زیرا در این روش علاوه بر فاصله اولیه، میزان ضخامت ناحیه کنترل اکسیژن نیز اهمیت می‌یابد [۱۸]. با تشکیل لایه نخست در روش پردازش دیجیتال نوری (DLP)، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خرابی این لایه در طول زمان چاپ، میزان نیروی چسبندگی وارد بر قطعه است. به همین منظور، در راستای افزایش اتصال بین لایه نخست و صفحه چاپ و همچنین کاهش نیروی چسبندگی، روش‌های مختلفی ارائه شده است. جیانگ و همکاران به‌منظور افزایش چسبندگی لایه نخست و جداسازی آسان قطعه از صفحه چاپ از یک صفحه چاپ قابل تعویض متخلخل با مکانیسم پران فنی استفاده کردند [۱۹]. شرکت فلکس وُت با استفاده از بستر ظرف غشاء انعطاف‌پذیر تحت کشش، به افزایش میزان چسبندگی لایه نخست و کاهش میزان نیروی جدایش در هر لایه پرداختند [۲۰]. یونکووسکی و همکاران با بررسی پارامتر موقعیت و جهت قرارگیری قطعه بر روی صفحه چاپ و تأثیر آن بر خواص مکانیکی و صحت ابعادی قطعات اشاره کردند [۲۱]. در ادامه این پژوهش، گسکان و همکاران تأثیر این پارامترها را بر روی موفقیت و عدم موفقیت چاپ قطعه بررسی کردند [۲۲]. ژیانگ کوان وو و همکاران با انتخاب غشاء مناسب در بستر ظرف با اندازه‌گیری نیروی جدایش لایه‌ها در جهت افزایش کیفیت سطح و صحت ابعادی قطعات چاپ‌شده پژوهش‌هایی انجام دادند [۲۳].

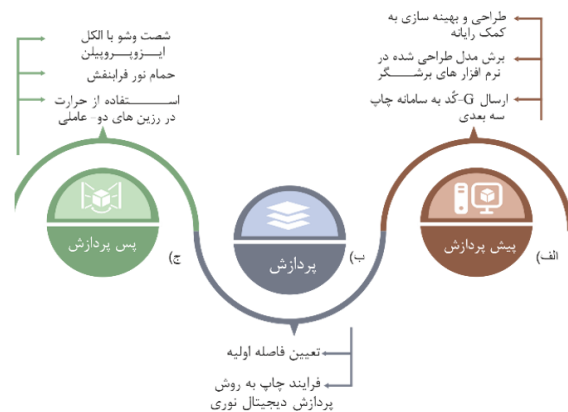
همان‌گونه که در مروری بر ادبیات مشخص گردید، بنابراین در روش پردازش دیجیتال نوری استفاده از مکانیسم غشاء انعطاف‌پذیر و موقعیت دهی مناسب قطعه در کاهش نیروی چسبندگی و خرابی لایه نخست مؤثر است. درنهایت با کنترل این پارامترهای ورودی در تشکیل لایه نخست شرایط برای ادامه چاپ دیگر لایه‌ها فراهم می‌گردد.

و ب). با ایجاد پیوند عرضی (کووالانسی) بین مونومرهای رزین و تشکیل زنجیره‌های پلیمری، لایه موردنظر ایجاد می‌گردد (شکل ۲ پ). پس از پخت رزین و تشکیل لایه نخست، با حرکت محور عمودی، این لایه از غشاء جدا شده و با پر شدن مجدداً رزین در ناحیه پخت، مراحل بالا مجدداً تکرار می‌گردد (شکل ۲ ت). عملیات فوق باعث چاپ قطعاتی لایه به لایه می‌شود (شکل ۲ ث). اغلب پس از ساخت قطعه سه‌بعدی به دلیل وجود رزین‌های پخته نشده، قطعه وارد مرحله سوم می‌گردد تا با استفاده از الکل ایزوپروپانول<sup>۲</sup> و گاهی آب (در رزین‌هایی با قابلیت شست‌وشو با آب) رزین‌های پخته نشده از سطح قطعه جدا گردد (شکل ۱ ج). در انتها نیز بنا به نوع رزین، قطعه تحت عملیات پخت نهایی با استفاده از حمام نور فرابنفش و یا حرارت (در رزین‌های دو-عاملی) قرار گرفته تا علاوه بر ایجاد استحکام در قطعه، لایه‌ها به‌صورت کامل پخت شوند [۲۵-۲۷].



شکل (۲): مراحل مختلف کالیبراسیون و ساخت قطعات سه‌بعدی در روش پردازش دیجیتال نوری: الف) قرارگیری در موقعیت ۰؛ ب) ایجاد فاصله اولیه بهینه؛ پ) پخت اولین لایه با توجه به نمودار عمق پخت و فاصله بهینه اولیه؛ ت) جدایش لایه چاپ‌شده از بستر ظرف با بالا رفتن صفحه چاپ؛ ث) چاپ نهایی لایه با ضخامت مناسب.

در اکثر تحقیقات ذکر شده نحوه کالیبراسیون صفحه چاپ و فاصله اولیه<sup>۳</sup> این صفحه با بستر ظرف اشاره نشده است. به دلیل فاصله کم بین این دو سطح، اندازه‌گیری این ناحیه بسیار پیچیده و دشوار است؛ بنابراین ارائه روشی تجربی جهت تشخیص فاصله‌ای بهینه بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش فاصله اولیه مناسب بین سطوح، از روی نیروی



شکل (۱): مراحل ساخت قطعه نهایی در فرایندهای ساخت افزایشی [۲۴].

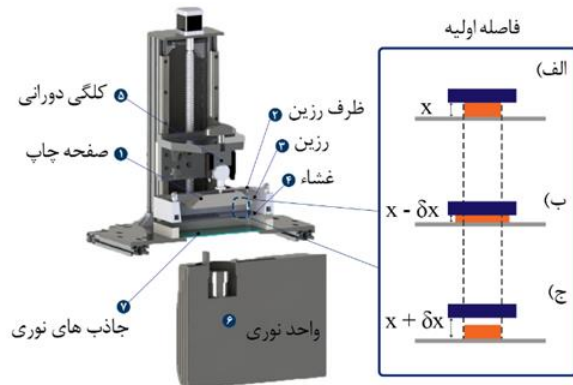
تمامی فرآیندهای چاپ قطعات سه‌بعدی، مطابق شکل ۱، طی سه مرحله پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش صورت می‌گیرند [۲۴]. در مرحله اول شکل ۱ الف پس از طراحی و بهینه‌سازی مدل سه‌بعدی پیچیده متخلخل توسط نرم‌افزارهای طراحی به کمک رایانه (CAD)، این مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزارهای برشگر<sup>۱</sup> و بر اساس پارامترهای مختلف چاپ نظیر: ضخامت هر لایه، زمان تابش، زمان تابش لایه‌های اولیه، سرعت بالاروندگی، میزان بالاروندگی و تعداد لایه‌های اولیه، به‌صورت تصاویر دوبعدی و G-کد به بخش نوری و سیستم سخت‌افزاری، انتقال داده می‌شود. در مرحله پردازش شکل ۱ ب، پیش از فرآیند چاپ و اقدام به چاپ قطعه توسط چاپگر سه‌بعدی، همان‌گونه که گفته شد، تعیین فاصله اولیه بسیار حائز اهمیت است. دلیل تعیین فاصله اولیه، تأثیر مستقیم این فاصله بر روی دو عامل، چسبندگی لایه نخست به صفحه چاپ و موقعیت قرارگیری دیگر لایه‌ها طبق ضخامت برش تعیین شده است؛ بنابراین در ادامه بخش‌های این مقاله به‌تفصیل به بررسی تأثیر تعیین فاصله اولیه و تأثیر آن بر پارامترهای مذکور پرداخته می‌شود. در چاپ سه‌بعدی به روش پردازش دیجیتال نوری، پس از تعیین فاصله صحیح اولیه، تصاویر آماده‌سازی شده در مرحله پردازش به‌صورت نور فرابنفش با طول‌موج ۳۶۵-۴۳۵ نانومتر به زیر بستر ظرف رزین، به‌صورت ماسک‌های استاتیکی تابیده می‌شوند (شکل ۱ الف

<sup>2</sup> Isopropyl alcohol

<sup>3</sup> Initial distance

<sup>1</sup> Slicer

استفاده از غشاء انعطاف‌پذیر Ethylene Fluorinated Propylene با ضخامت‌های متفاوت، تأثیر فاصله اولیه صفحه چاپ نسبت به بستر ظرف بر صحت ابعادی قطعه در راستای افقی و عمودی اندازه‌گیری و چسبندگی قطعه به صفحه چاپ بر اساس مشاهدات تجربی مورد ارزیابی قرار گرفته است.



**شکل (۳):** قسمت‌های مختلف سامانه طراحی و ساخته شده به روش پردازش دیجیتال نوری و شمایی از فاصله اولیه. (الف) فاصله اولیه بهینه  $X$  که در آن بیشینه صحت ابعادی حاصل می‌گردد، (ب) فاصله اولیه نامناسب که در آن از عمق پخت به اندازه  $\delta X$  کاهش پیدا می‌کند، (ج) افزایش فاصله اولیه به اندازه  $\delta X$  که باعث عدم چسبندگی لایه به صفحه چاپ می‌گردد.

### ۳- تجهیزات و مواد

#### ۳-۱- سخت‌افزار

سیستم پردازش دیجیتال نوری با غشاء انعطاف‌پذیر شامل بخش‌های واحد کنترل تصویر (پروژکتور)، جاذب‌های نوری، ظرف رزین، مکانیسم حرکتی، کالیبراسیون صفحه چاپ و حسگرهای اندازه‌گیری است. در این سامانه پروژکتور اصلاح شده به صورت مستقیم و پس از عبور از جاذب‌های نوری به کف ظرف می‌تابد. تفکیک‌پذیری میکروآینه‌های دیجیتالی سیستم،  $1024 \times 768$  پیکسل و حداکثر ابعاد تصویر  $53 \times 71$  میلی‌متر مربع است. همچنین میزان شدت نور فرابنفش سیستم از  $0/15$  تا  $8/2$  میلی وات بر سانتی‌متر مربع قابل تنظیم است. از جاذب‌های نوری جهت فیلتراسیون و کنترل شدت نور فرابنفش استفاده می‌شود.

فشاری اعمال شده از بستر ظرف و رزین مایع تعیین می‌گردد. از دیگر کاربردهای این روش تجربی می‌توان به تعیین فاصله اولیه در جهت افزایش صحت محل قرارگیری صفحه چاپ در بالای ناحیه کنترل اکسیژن، در روش چاپ پیوسته مایع واسط، اشاره نمود.

### ۲- فاصله اولیه

یکی از پرکاربردترین روش‌های پلیمریزاسیون توسط نور، روش پردازش دیجیتال نوری است. در این پژوهش به بررسی یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در افزایش صحت ابعادی قطعات یعنی فاصله اولیه و چسبندگی بیشتر قطعه به صفحه چاپ پرداخته می‌شود. فاصله اولیه به بیان ساده‌تر به معنی میزان فاصله صفحه چاپ از کف ظرف رزین است. اندازه‌گیری این میزان فاصله به دلیل محدوده ابعاد میکرونی، با محدودیت‌هایی همراه است. یکی از این محدودیت‌ها عدم دسترسی راحت به این ناحیه توسط ابزارهای اندازه‌گیری است که به همین منظور با روش اندازه‌گیری نیرو، این فاصله بهینه می‌گردد. روش پردازش دیجیتال نوری، روشی لایه به لایه است به صورتی که پس از چاپ لایه نخست، لایه دیگر ساخته می‌شود؛ بنابراین فاصله اولیه صفحه چاپ از کف ظرف به میزان ضخامت پخت در هر لایه مرتبط است. میزان ضخامت پخت بر اساس نوع رزین، میزان زمان تابش و شدت نور UV تعیین می‌شود؛ بنابراین تعیین میزان فاصله اولیه و ضخامت پخت در کالیبراسیون سیستم اهمیت دارد. برای مثال در شکل ۳ الف که فاصله اولیه  $X$  با ضخامت پخت برابر است، علاوه بر چسبندگی مناسب به صفحه چاپ، صحت ابعادی لایه چاپ شده در محور عمودی نیز حفظ می‌گردد. در صورتی که مطابق شکل ۳ ب، با کاهش میزان فاصله اولیه به اندازه  $\delta X$ ، ضخامت پخت و صحت ابعادی در راستای محور عمودی به همین میزان کاهش پیدا کرده و با افزایش این فاصله به اندازه  $\delta X$ ، چسبندگی لایه پخته شده به صفحه چاپ و به تبع آن چاپ قطعه میسر نمی‌گردد (شکل ۳ ج). بنابراین، در این مقاله با ثابت در نظر گرفتن انرژی، ضخامت پخت رزین و موقعیت منبع نوری در روش پردازش دیجیتال نوری با

از پارامترهای مستقل ورودی در روش‌های فتوپلیمریزاسیون می‌توان به نوع رزین فتوپلیمر، نوع بستر ظرف، شدت روشنایی، مدت زمان تابش، هندسه سطح مقطع، کالیبراسیون مکانیکی و اپتیکی سیستم، میزان فاصله اولیه صفحه چاپ، ضخامت غشاء و نیروی فشاری حاصل از فاصله اولیه اشاره نمود. این پارامترهای ورودی در نهایت بر روی پارامترهای خروجی همچون میزان نیروی چسبندگی، زمان چاپ قطعه و صحت ابعادی قطعات تأثیرگذار هستند. بنابراین، در این پژوهش، با ثابت در نظر گرفتن تعدادی از پارامترهای ورودی به بررسی تأثیر پارامترهای ضخامت غشاء و نیروی فشاری حاصل از فاصله اولیه در دو رزین فتوپلیمر بر صحت ابعادی ضخامت هر لایه در راستای عمودی قطعات پرداخته شده است. در روش پردازش دیجیتال نوری، در بسیاری از چاپگرها فرآیند کالیبراسیون صفحه چاپ نسبت به بستر ظرف جهت تعیین فاصله اولیه  $x$ ، با استفاده از یک ورق نازک (ضخامت ۱۰۰ میکرومتر)، به صورت دستی و به روش سعی و خطا صورت می‌پذیرد. در این حالت فاصله اولیه  $x$ ، با استفاده از نیروی فشاری اعمال شده به ورق با خروج ورق از بین دو سطح توسط دست، تخمین زده شده که همین امر خطای اشاره شده را ایجاد می‌کند. بنابراین در روش جدید ارائه شده نیروی فشاری توسط حسگر نیروسنج متصل به صفحه چاپ، اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به آزمایش‌های انجام شده، در مرحله کالیبراسیون، نیروی فشاری ورق، ۵- نیوتن برآورد می‌گردد که با خروج ورق بین دو سطح و افزودن رزین این مقدار به ۲- نیوتن کاهش می‌یابد.

با توجه به این که ضخامت هر لایه بر روی صحت ابعادی کل قطعه تأثیر مستقیم دارد، به منظور بررسی تأثیر پارامتر فاصله اولیه بر صحت ابعادی و چسبندگی مناسب لایه نخست به صفحه چاپ در این پژوهش بر طبق شکل ۵ الف تا پ، قطعاتی استوانه‌ای با قطر ۲۰ میلی‌متر و ضخامت ۱/۵ میلی‌متر در فواصل اولیه‌ای که نیروی فشاری به ترتیب ۲۰-، ۱۰-، ۵-، ۱- و ۰/۵- نیوتن است، چاپ گردیده و پس از آن مقادیر ضخامت و قطر برای هر داده آزمایشی، ۳۲ بار توسط میکرومتر و کولیس اندازه‌گیری می‌گردد. داده‌های ثبت شده در این پژوهش، میانگین مقادیر ضخامت و قطر

ظرف رزین سیستم، با مکانیسم غشاء پلیمری انعطاف‌پذیر از اتیلن پروپیلن فلئورینه و ورق پلیمری پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) به ضخامت ۴ میلی‌متر استفاده می‌کند. مکانیسم حرکتی سیستم، با استفاده از بال اسکرو و ریل-واگن بوده و صفحه چاپ استوانه‌ای به قطر ۳۰ میلی‌متر توسط یک کنگی دورانی نسبت به کف ظرف کالیبره می‌شود. همچنین میزان نیروی چسبندگی بین کف ظرف و صفحه چاپ به صورت مستقیم و برخط توسط نیروسنج S شکل ۵ کیلویی و شدت نور فرابنفش توسط سنسوری باقابلیت اندازه‌گیری طول موج‌های ۳۵۰ تا ۴۰۵ نانومتر اندازه‌گیری می‌شوند.

## ۲-۳- نرم‌افزار

جهت چاپ قطعاتی دقیق، فرمان‌های ارسالی به عملگرها و واحد نوری باید به صورت بلادرنگ و بدون اختلال صورت گیرد. به همین منظور در این پژوهش، از نرم‌افزار Creation Workshop که یک نرم‌افزار متن‌باز است استفاده شده تا بتوان پارامترهایی نظیر: سرعت چاپ، زمان تابش نور فرابنفش، تعداد لایه‌ها، ضخامت هر لایه، میزان بالا آمدن صفحه چاپ و دیگر فرمان‌های حرکتی را توسط G-کُد کنترل نمود.

## ۳-۳- رزین فتوپلیمر

در این پژوهش از رزین‌های حساس به نور خاکستری‌رنگ شرکت Anycubic و رزین مدل‌سازی Provision سفیدرنگ شرکت بسپار تکنولوژی استفاده شده است. این رزین‌ها بر پایه مواد آلی آکریلات بوده که با عمق پخت ۰/۱- ۰/۰۵ میلی‌متر و زمان پخت ۴ ثانیه در سیستم تنظیم می‌شود. همچنین طول موج پخت برای رزین Anycubic حدود ۴۰۵ نانومتر و برای رزین Provision در بازه ۳۸۵-۴۰۵ نانومتری است. میزان ویسکوزیته رزین‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۵۵۲ و ۳۷۰ مگاپاسکال درثانیه بوده که این ویسکوزیته، تأثیر بسزایی در زمان پر شدن و سرعت چاپ قطعه دارد.

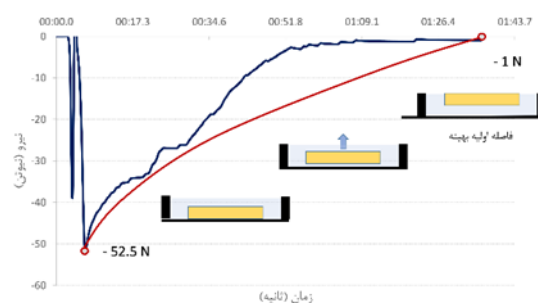
## ۴- روش آزمایش

فشاری ۲۰- و ۱۰- لایه‌ای تشکیل نشده و به تبع آن صفحه چاپ با بستر فاصله‌ای را ایجاد نمی‌کند. این در صورتی است که ضخامت لایه تشکیل شده برای نیروهای فشاری ۵- و ۱- به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. در شکل ۵ ج، تأثیر تعیین صحیح میزان فاصله اولیه از روی نیروی فشاری بر صحت ابعادی و ضخامت قطعه برای دو نیروی ۰/۵- نیوتن و ۲۰- نیوتن مشخص است.

## ۲-۴- آزمایش مرتبط به صحت در راستای عمودی

یکی از پارامترهای مؤثر بر صحت ابعادی در راستای محور عمودی ضخامت هر لایه است. به دلیل ساختار لایه به لایه، پخت نامناسب هر لایه و یا فاصله ناصحیح از بستر ظرف باعث بروز خطا در راستای عمودی قطعه چاپ شده می‌گردد. به همین منظور در این پژوهش جهت بررسی تأثیر نوع غشاء و رزین حساس به نور، بر روی صحت ابعادی محور عمودی، در نیروهای فشاری ۲۰-، ۱۰-، ۵-، ۱- و ۰/۵- نیوتن برای سه غشاء به ضخامت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرومتر با بهره‌گیری از رزین خاکستری‌رنگ و رزین سفیدرنگ، قطعات استوانه‌ای به ضخامت هدف ۱/۵ میلی‌متر چاپ گردید.

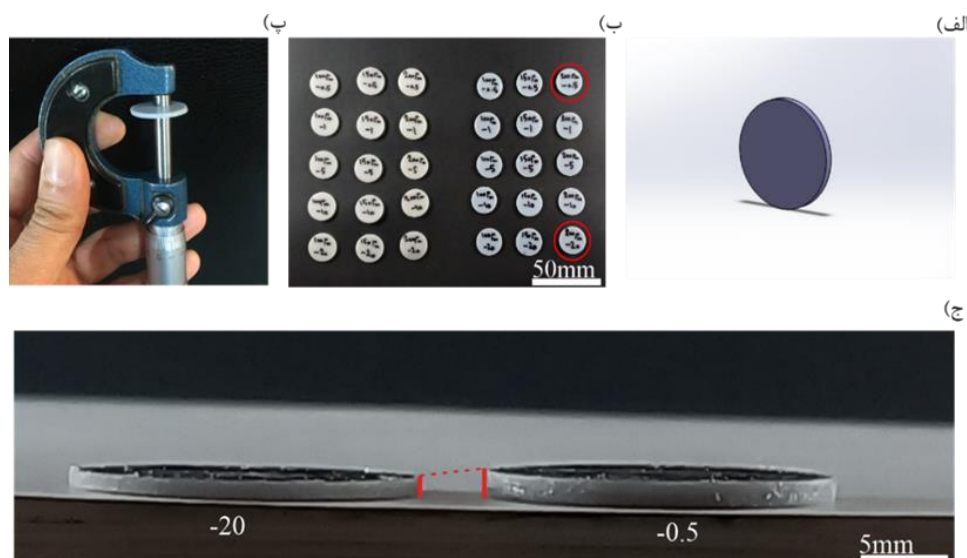
اندازه‌گیری شده می‌باشد. مدت زمان کالیبراسیون برحسب نیروهای فشاری اعمالی برای دستیابی به فاصله اولیه، مطابق شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل (۴): مراحل کالیبراسیون و انتخاب موقعیت اولیه بهینه با جابه جایی محور عمودی و بررسی میزان نیروی لودسل.

## ۱-۴- تعیین فاصله اولیه با استفاده از ضخامت پخت

همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، برآورد فاصله اولیه با بهره‌گیری از حسگرهای اندازه‌گیری مستقیم فاصله، در این روش بسیار دشوار است. بنابراین به منظور تعیین این فاصله، در نیروی‌های فشاری مذکور، یک لایه بانرژی بیش از حد پخت صحیح، بین صفحه چاپ و بستر ظرف تابیده شده و ضخامت لایه پخته شده برابر با فاصله اولیه است. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در این آزمایش، در نیروهای





**شکل (۵):** قطعات استوانه‌ای با قطر ۲۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱/۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد: الف) مدل سه‌بعدی طراحی شده؛ ب) انجام آزمایش‌های مدنظر و ساخت مدل‌های استوانه‌ای در دو رزین متفاوت، پ) اندازه‌گیری قطر و ضخامت قطعات؛ ج) مقایسه ضخامت قطعات استوانه‌ای در دو نیروی فشاری متفاوت ۲۰- و ۰/۵- نیوتن.

از دیگر موارد قابل توجه در بحث صحت ابعادی، صحت در راستای افقی قطعه است. در اکثر پژوهش‌ها به‌منظور بررسی صحت ابعادی محور افقی، کالیبراسیون صفحه‌ای واحد نوری در دستور کار قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که با افزایش تعداد پیکسل‌های نوری و کاهش ابعاد هر پیکسل، صحت ابعادی قطعات افزایش می‌یابد. در این آزمایش با تغییر میزان فاصله اولیه صفحه چاپ نسبت به بستر ظرف، تغییرات ابعادی در راستای افقی یک مدل استوانه‌ای به قطر ۲۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱/۵ میلی‌متر چاپ شده بررسی گردید. همچنین سطح مقطع تصویر دایروی در تمامی آزمایش‌ها ثابت و کالیبره شده است. همانطور که اشاره شد، نیروی فشاری حاصل از فاصله اولیه بر صحت ابعادی در راستای محور عمودی تأثیر مستقیمی دارد. بر طبق جدول‌های ۳ و ۴ در هر سه نوع غشاء پلیمری FEP با ضخامت‌های مذکور و برای دو نوع رزین با ساختار متفاوت، تغییر میزان نیروی فشاری فاصله اولیه، اندازه‌گیری و بررسی گردید.

**جدول (۳):** آزمایش مربوط به تأثیر فاصله اولیه بر قطر، در غشاءهایی با ضخامت‌های مختلف در رزین خاکستری.

نیروی فشاری فاصله اولیه (N)	ضخامت غشاء (رزین خاکستری)		
	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
۰/۵-	۱۹/۹۳۱	۲۰/۱۰۵	۲۰/۳۲۰
۱-	۲۰/۱۲۲	۲۰/۰۸۶	۲۰/۲۲۸
۵-	۲۰/۲۰۵	۲۰/۱۸۱	۲۰/۲۳۲
۱۰-	۱۹/۹۷۵	۲۰/۱۴۳	۲۰/۲۷۶
۲۰-	۱۹/۹۴۴	۲۰/۰۷۳	۲۰/۳۰۵

**جدول (۴):** آزمایش مربوط به تأثیر فاصله اولیه بر قطر، در غشاءهایی با ضخامت‌های مختلف در رزین سفید.

نیروی فشاری فاصله اولیه (N)	ضخامت غشاء (رزین سفید)		
	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
۰/۵-	۲۰/۲۸۶	۲۰/۴۴۱	۲۰/۵۳۹

با توجه به جدول ۱ در رزین خاکستری برای تمام حالت‌های غشاء، با افزایش نیروی فشاری، از صحت ابعادی کاسته می‌شود. جدول ۲ نیز برای رزین سفید رنگ نشان‌دهنده همین کاهش صحت ابعادی در راستای محور عمودی با افزایش نیروی فشاری و کاهش فاصله اولیه است. همچنین طبق جدول با افزایش ضخامت غشاء در هر دو رزین، میزان انحراف معیار میانگین افزایش می‌یابد. بنابراین پارامتر ضخامت غشاء نیز بر صحت ابعادی راستای عمودی قطعه تأثیرگذار می‌باشد.

**جدول (۱):** آزمایش مربوط به تأثیر فاصله اولیه بر ضخامت، در غشاءهایی با ضخامت‌های مختلف در رزین خاکستری.

نیروی فشاری فاصله اولیه (N)	ضخامت غشاء (رزین خاکستری)		
	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
۰/۵-	۱/۴۶۵	۱/۴۸۰	۱/۴۸۰
۱-	۱/۴۶۳	۱/۴۲۹	۱/۳۶۰
۵-	۱/۳۷۵	۱/۴۰۵	۱/۲۴۵
۱۰-	۱/۲۶۲	۱/۲۸۴	۱/۱۸۲
۲۰-	۱/۱۰۹	۱/۰۹۵	۰/۹۷۵

**جدول (۲):** آزمایش مربوط به تأثیر فاصله اولیه بر ضخامت، در غشاءهایی با ضخامت‌های مختلف در رزین سفید.

نیروی فشاری فاصله اولیه (N)	ضخامت غشاء (رزین سفید)		
	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
۰/۵-	۱/۴۹۲	۱/۴۶۲	۱/۵۲۱
۱-	۱/۴۷۰	۱/۴۴۹	۱/۴۶۵
۵-	۱/۳۷۶	۱/۳۹۷	۱/۳۹۵
۱۰-	۱/۳۶۹	۱/۳۲۸	۱/۲۶۴
۲۰-	۱/۲۳۰	۱/۱۵۷	۱/۰۸۴

### ۳-۴- آزمایش مرتبط به صحت در راستای افقی



دنیروی فشاری ۲۰- و ۱۰- نیوتن، میزان فاصله اولیه به دلیل عدم وجود رزین مایع در ناحیه واسط، بسیار ناچیز بوده و امکان چاپ لایه‌های اولیه وجود ندارد. بنابراین خطایی به میزان ضخامت برش هر لایه در همین ابتدا به وجود می‌آید که پس از چاپ نهایی قطعه، این میزان خطا مشاهده می‌گردد. همچنین برای نیروهای فشاری کمتر از ۰/۵- نیوتن، چسبندگی لایه نخست به صفحه چاپ امکان‌پذیر نمی‌باشد. به همین منظور جهت کاهش خطا و موفقیت در چاپ، انتخاب یک‌فاصله اولیه مناسب بسیار اهمیت دارد. طبق شکل ۶ فاصله بهینه اولیه در یک بازه مشخص تعیین گردیده و برای غشاءهای مختلف و در رزین‌های خاکستری و سفیدرنگ متفاوت است. با توجه به شکل ۶ الف تا پ، صحت ابعادی رزین سفیدرنگ در راستای محور عمودی در تمامی غشاءها، به دلیل ساختار شیمیایی متفاوت رزین سفیدرنگ نسبت به رزین خاکستری‌رنگ، بیشتر است. بنابراین پارامتر نوع رزین بر صحت ابعادی قطعات تأثیرگذار است. در شکل ۶ ج به مقایسه و بررسی تأثیر نیروی فشاری بر روی ضخامت پخت برای سه غشاء ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرونی و دو رزین متفاوت در تمامی حالت‌های آزمایش‌شده، قابل‌مشاهده است. به این اساس مقادیر داده‌ها با افزایش میزان نیروی فشاری نیز پراکنده‌تر و از دقت و صحت کمتری برخوردار می‌باشند. همچنین در این شکل با افزایش ضخامت غشاء، صحت ابعادی برای هر دو رزین کاهش پیدا می‌کند. برای مثال، برای غشاء پلیمری با ضخامت ۲۰۰ میکرون نسبت به غشاء پلیمری با ضخامت ۱۰۰ میکرون مقادیر نزدیک‌تری نسبت به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر نشان می‌دهند. همان‌گونه که در جدول‌های ۳ و ۴ اشاره گردید افزایش نیروی فشاری باعث کاهش صحت ابعادی در قطر مدل استوانه‌ای پخته‌شده نمی‌شود. این در صورتی است که مطابق نمودارهای شکل ۷، با افزایش ضخامت غشاء در هر دو رزین صحت ابعادی در راستای محور عمودی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در این شکل نیز به‌خوبی مشاهده می‌گردد رزین خاکستری در تمامی غشاءها صحت عرضی بهتری نسبت به رزین سفیدرنگ دارد. علت این امر تفاوت‌هایی در ساختار شیمیایی و عمق پخت این رزین‌ها است. بنابراین می‌توان

۲۰/۲۵۴	۲۰/۳۷۸	۲۰/۵۶۶	-۱
۲۰/۳۱۰	۲۰/۴۳۹	۲۰/۵۲۳	-۵
۲۰/۳۱۷	۲۰/۴۹۰	۲۰/۶۰۳	-۱۰
۲۰/۳۴۵	۲۰/۴۸۶	۲۰/۷۹۳	-۲۰

همچنین میزان میانگین و انحراف معیار داده‌ها در جدول ۵ تنظیم‌شده است. برای رزین سفید در هر سه غشاء ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرونی، انحراف معیار اندازه‌ها به ترتیب، ۰/۱۰۹، ۰/۱۰۰ و ۰/۰۷۷ و برای رزین خاکستری انحراف معیار اندازه‌ها به ترتیب، ۰/۱۸۸، ۰/۱۲۰، ۰/۰۳۳ است. این در صورتی است که انحراف معیار اندازه‌ها نسبت به ضخامت قطعه در راستای محور عمودی، برای رزین سفید به ترتیب، ۰/۰۹۲، ۰/۱۱۱ و ۰/۱۷۵ و برای رزین خاکستری به ترتیب، ۰/۱۲۳، ۰/۱۳۷ و ۰/۱۹۰ گزارش گردیده است. با توجه به این داده‌ها افزایش نیروی فشاری فاصله اولیه علاوه بر تأثیر مستقیم بر اندازه‌ها (کاهش ضخامت قطعه) دارای روند نزولی نیز می‌باشد. این در صورتی است، افزایش نیروی فشاری باعث ایجاد روند در اندازه قطر قطعه نمی‌گردد و تمامی اندازه‌ها در بازه پراکندگی تغییر می‌کنند. بر اساس همین جدول‌ها، پارامتر نوع رزین بیشترین تغییرات را در میزان صحت ابعادی قطعات و قطر استوانه مدل دارد. جدول ۳ مقادیر قطر قطعات برای رزین خاکستری‌رنگ نشان می‌دهد، که صحت داده‌های اندازه‌گیری‌شده نسبت رزین سفیدرنگ در جدول ۴ داده‌های با خطای کمتر و نزدیک به قطر واقعی است.

**جدول (۵):** آزمایش مربوط به تأثیر فاصله اولیه بر قطر، در غشاءهایی با ضخامت‌های مختلف در رزین خاکستری.

نوع رزین	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
سفید	۲۰/۴۷۲	۲۰/۵	۲۰/۶۷
میانگین	۰/۱۰۹	۰/۱	۰/۰۷۷
انحراف معیار	۲۰/۱۴۸	۲۰/۱۷	۲۰/۳۵
خاکستری	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۳
انحراف معیار			

## ۵- بحث و بررسی نتایج

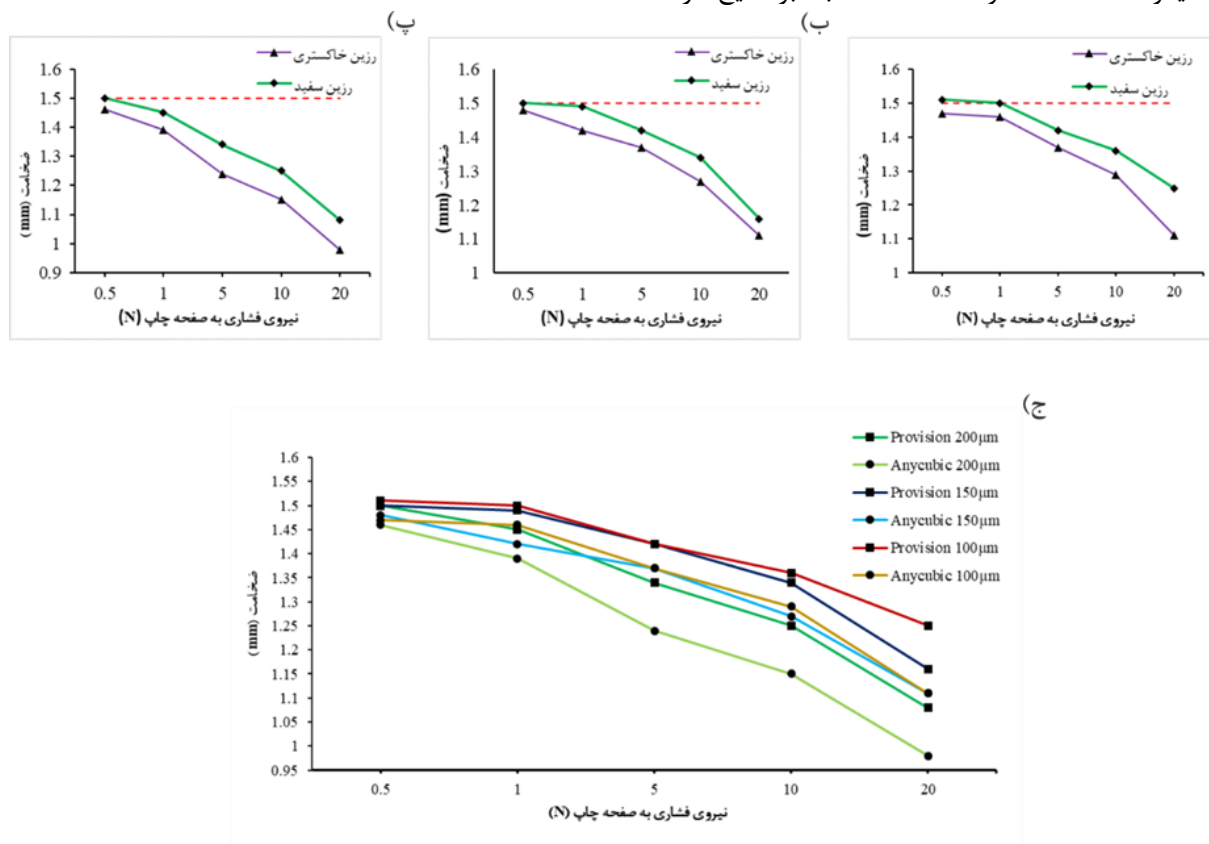
بر طبق آزمایش‌های انجام‌شده در هر دو رزین خاکستری و سفیدرنگ، برای هر نیروی فشاری اندازه‌گیری شده، فاصله اولیه‌ای در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس، برای

تمامی غشاءها و برای هر دو رزین، بهینه‌ترین فاصله اولیه در حالتی اتفاق می‌افتد که نیروی فشاری اعمالی ۰/۵- نیوتن بوده است. همچنین در بررسی‌های انجام‌شده نسبت به پارامتر ضخامت غشاء، مشاهده گردید که به‌صورت کلی غشائی با ضخامت ۱۰۰ میکرون، دارای صحت ابعادی مناسب‌تری است. این در صورتی است که قطر اندازه‌گیری‌شده در راستای محور افقی، در رزین خاکستری به مقدار مطلوب ۲۰ میلی‌متر، نزدیک‌تر بوده، بنابراین نوع غشاء بر صحت ابعادی در این راستا تأثیر نداشته و صرفاً نوع رزین یک پارامتر مؤثر در این موضوع بشمار می‌رود. پارامتر نوع رزین به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر در بحث خواص مکانیکی و فیزیکی قطعات شناخته می‌شود. در این پژوهش، صحت ابعادی رزین سفیدرنگ نسبت به رزین خاکستری‌رنگ در تمامی غشاءها، بیشتر است. بنابراین برای ساخت قطعاتی با جزئیات بالاتر همچون کاربردهای پروتز دندانی، استفاده از رزین سفیدرنگ Provision پیشنهاد می‌شود.

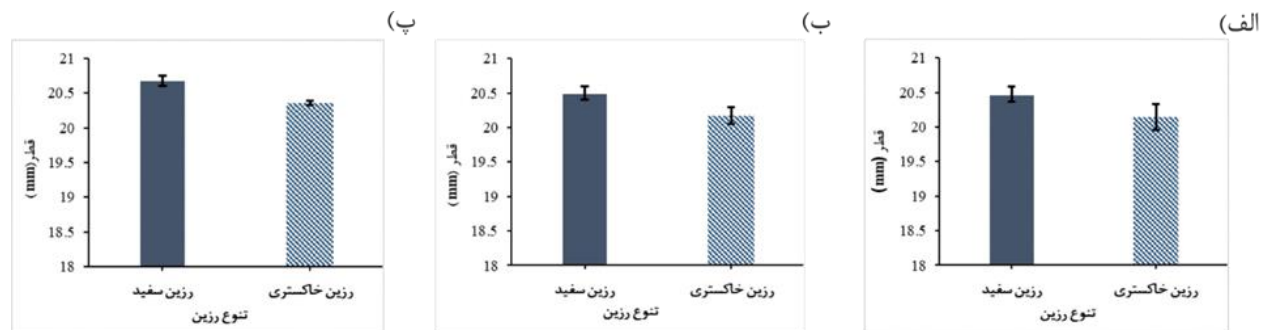
پارامترهای مؤثر بر صحت ابعادی در راستای محور افقی را نوع غشاء و نوع رزین دانست.

### ۶- نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌ها، مشاهده می‌گردد که به‌منظور دستیابی به صحت چاپ در راستای عمودی دو پارامتر فاصله اولیه و ضخامت غشاء انعطاف‌پذیر در یک رزین مشخص تأثیرگذار هستند. به‌منظور بررسی پارامتر اول به دلیل محدودیت‌های اندازه‌گیری، نیروهای فشاری ۲۰-، ۱۰-، ۵-، ۱- و ۰/۵- نیوتن اعمال‌شده بر صفحه چاپ، توسط نیروسنج در مرحله کالیبراسیون سیستم اندازه‌گیری گردید. بر طبق داده‌ها به دلیل عدم چاپ لایه‌ها در دو فاصله اولیه با نیروی فشاری ۲۰- و ۱۰-، صحت در این دو حالت بسیار نامطلوب گزارش گردید. بر طبق داده‌ها با افزایش نیروی فشاری متأثر از فاصله اولیه، درصد کاهش ضخامت قطعه چاپ‌شده به ترتیب در غشاءهایی با ضخامت‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میکرونی FEP، در رزین سفیدرنگ ۱۷/۵٪، ۲۰/۸٪، ۲۸/۷٪ و در رزین دیگر ۲۴/۲٪، ۲۶٪ و ۳۴/۱٪ است. بنا بر نتایج در



شکل (۶): نمودار تأثیر نیروی فشاری حاصل از تغییر فاصله اولیه و نوع رزین بر روی صحت ابعادی در راستای محور عمودی: الف) غشاء انعطاف‌پذیر با ضخامت ۱۰۰ میکرونی؛ ب) غشاء انعطاف‌پذیر با ضخامت ۱۵۰ میکرونی؛ پ) غشاء انعطاف‌پذیر با ضخامت ۲۰۰ میکرونی؛ ج) نمودار مقایسه‌ای تأثیر فاصله اولیه در غشاءهایی با ضخامت‌های مختلف در دو رزین سفید و خاکستری نسبت به ضخامت قطعه.



شکل (۷): نمودار تأثیر نیروی فشاری حاصل از تغییر فاصله اولیه و نوع رزین بر روی صحت ابعادی در راستای محور افقی: الف) غشاء انعطاف‌پذیر با ضخامت ۱۰۰ میکرونی؛ ب) غشاء انعطاف‌پذیر با ضخامت ۱۵۰ میکرونی؛ پ) غشاء انعطاف‌پذیر با ضخامت ۲۰۰ میکرونی.

silicone double networks. Nature communications. 2020;11(1):1-10.

[8] Zhu W, Tringale KR, Woller SA, You S, Johnson S, Shen H, et al. Rapid continuous 3D printing of customizable peripheral nerve guidance conduits. Materials Today. 2018;21(9):951-9.

[9] Hazeveld A, Slater JJH, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2014;145(1):108-15.

[10] Gou M, Qu X, Zhu W, Xiang M, Yang J, Zhang K, et al. Bio-inspired detoxification using 3D-printed hydrogel nanocomposites. Nature communications. 2014;5(1):1-9.

[11] Moayedi S, Salehi M, Zamani J, Investigating the Effect of Polyester UV Absorber on the Quality of Printed Polymer Parts in Digital Light Processing Method, Modares Mechanical Engineering, 2022; 22(10): 259-263. magiran.com/p2497011

[12] Aznarte E, Ayranci C, Qureshi A, editors. Digital light processing (DLP): Anisotropic tensile considerations. 2017 International Solid Freeform Fabrication Symposium; 2017: University of Texas at Austin.

[13] Barone S, Neri P, Paoli A, Razonale AV, Tamburrino F. Development of a DLP 3D printer for orthodontic applications. Procedia Manufacturing. 2019;38:1017-25.

## ۷- مراجع

[1] 52900 IA. Additive manufacturing. General principles. Fundamentals and vocabulary 2021. p. 28.

[2] Yagci Y, Jockusch S, Turro NJ. Photoinitiated polymerization: advances, challenges, and opportunities. Macromolecules. 2010;43(15):6245-60.

[3] Huang J, Qin Q, Wang J. A review of stereolithography: Processes and systems. Processes. 2020;8(9):1138.

[4] Pagac M, Hajnys J, Ma Q-P, Jancar L, Jansa J, Stefek P, et al. A review of vat photopolymerization technology: Materials, applications, challenges, and future trends of 3d printing. Polymers. 2021;13(4):598.

[5] Wu H, Ren Y, Ren J, Cai A, Song M, Liu Y, et al. Effect of melting modes on microstructure and tribological properties of selective laser melted AlSi10Mg alloy. Virtual and Physical Prototyping. 2020;15(sup1):570-82.

[6] Sun C, Fang N, Wu D, Zhang X. Projection micro-stereolithography using digital micro-mirror dynamic mask. Sensors and Actuators A: Physical. 2005;121(1):113-20.

[7] Wallin TJ, Simonsen L-E, Pan W, Wang K, Giannelis E, Shepherd RF, et al. 3D printable tough

- [25] Kuang X, Wu J, Chen K, Zhao Z, Ding Z, Hu F, et al. Grayscale digital light processing 3D printing for highly functionally graded materials. *Science advances*. 2019;5(5):eaav5790.
- [26] Miller AT, Safranski DL, Wood C, Guldborg RE, Gall K. Deformation and fatigue of tough 3D printed elastomer scaffolds processed by fused deposition modeling and continuous liquid interface production. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2017;75:1-13.
- [27] Raszewski Z, Kulbacka J, Nowakowska-Toporowska A. Mechanical Properties, Cytotoxicity, and Fluoride Ion Release Capacity of Bioactive Glass-Modified Methacrylate Resin Used in Three-Dimensional Printing Technology. *Materials*. 2022;15(3):1133.
- [14] Huang Y-M, Jiang C-P. On-line force monitoring of platform ascending rapid prototyping system. *Journal of materials processing technology*. 2005;159(2):257-64.
- [15] spidiq8. Anycubic photon paper levelling method 2018 [Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=gDARzoyDt9E>].
- [16] Ge Q, Li Z, Wang Z, Kowsari K, Zhang W, He X, et al. Projection micro stereolithography based 3D printing and its applications. *International Journal of Extreme Manufacturing*. 2020;2(2):022004.
- [17] GreatScott! DIY SLA 3D Printer Kit (Moai) Review 2017 [Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=UTRUMETt9qY>].
- [18] M Salehi ,S Moayedi, M shayesteh ,A Manzour, J zamani. Experimental research on the impact of oxygen control zone thickness on continuous layerless printing of porous polymer parts. *Modares Mechanical Engineering*. 2022;22.
- [19] Jiang T, Yan B, Jiang M, Xu B, Xu Y, Yu Y, et al. Enhanced Adhesion—Efficient Demolding Integration DLP 3D Printing Device. *Applied Sciences*. 2022;12(15):7373.
- [20] hlocke. The best of both worlds: Flexvat with raised edge vented acrylic FEP support plate 2017 [Available from: <http://projectsinterestsandetcetera.com/the-best-of-both-worlds-flexvat-with-raised-edge-vented-acrylic-fep-support-plate/>].
- [21] Unkovskiy A, Bui PH-B, Schille C, Geis-Gerstorfer J, Huettig F, Spintzyk S. Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereolithographically printed resin. *Dental Materials*. 2018;34(12):e324-e33.
- [22] Piedra-Cascón W, Krishnamurthy VR, Att W, Revilla-León M. 3D printing parameters, supporting structures, slicing, and post-processing procedures of vat-polymerization additive manufacturing technologies: A narrative review. *Journal of Dentistry*. 2021;109:103630.
- [23] Wu X, Xu C, Zhang Z. Flexible film separation analysis of LCD based mask stereolithography. *Journal of Materials Processing Technology*. 2021;288:116916.
- [24] Pollard M, Tran P, Dickens T. Porosity Reducing Processing Stages of Additive Manufactured Molding (AMM) for Closed-Mold Composite Fabrication. *Materials*. 2020;13(23):5328.





## Experimental Analysis of the Effect of Compressive Force Resulting from the Initial Distance on the Improvement of Dimensional Accuracy Using Fluorinated Ethylene Propylene Membranes with Different Thicknesses in Digital Light Processing Method

Mohammad Salehi<sup>1\*</sup>, Jamal Zamani Ashani<sup>2</sup>, Siavash Moayedi Manizani<sup>1</sup>

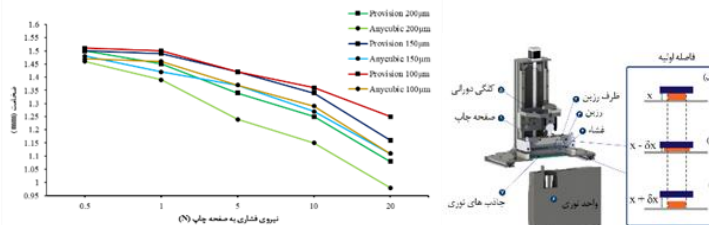
<sup>1</sup> M.Sc., Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University, Tehran, Iran

### HIGHLIGHTS

- Increasing dimensional accuracy along the vertical axis by initial distance force.
- The thickness of the flexible membrane and increasing the dimensional accuracy of the parts in the DLP method
- Determining the initial distance by the photopolymer curing thickness

### GRAPHICAL ABSTRACT



### ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 28 November 2022

Received in revised form: 9 December 2022

Accepted: 14 January 2023

Available online: 20 February 2023

\*Correspondence:

m.salehi@email.kntu.ac.ir

How to cite this article:

M. Salehi, J.Z. Ashani, S.M. Manizani. Experimental analysis of the effect of compressive force resulting from the initial distance on the improvement of dimensional accuracy, using fluorinated ethylene propylene membranes with different thicknesses in digital light processing method. Journal of Aerospace Mechanics. 2023; 19(2):55-68.

Keywords:

- Additive manufacturing
- Digital light processing
- Initial distance
- Dimensional accuracy
- First layer

### ABSTRACT

The additive manufacturing method, as the newest way of producing parts in medicinal and industrial fields, has made significant advancements in recent years. Among the existing methods, digital light processing (DLP) using flexible membranes is one of the most extensively utilized polymer-based approaches. Dimensional accuracy along the vertical and plane axis of the printed parts is one of the key issues in manufacturing polymer parts, both layer by layer and layerless. In this article, utilizing the system designed and manufactured in this faculty's laboratory, as well as three flexible fluorinated ethylene propylene membranes of varying thicknesses and Provision and Anycubic resins, the influence of the calibration technique and initial distance on the dimensional accuracy of printed parts in the DLP method have been investigated experimentally. By assessing the compressive forces caused by the initial distance, it was discovered that the compressive force increases when the initial distance was determined in membranes with thicknesses of 100, 150, and 200 microns in both resins, resulting in a 17.5% - 34.1% decrease of the part's thickness is caused by the fact that by positioning it at the appropriate initial distance, the resulting error can be greatly reduced. Furthermore, for both of the resins stated, reducing the thickness of the flexible membrane has a direct link with increasing the dimensional accuracy in the printed parts.

\* Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Imam Hossein University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit <https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>.

