ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):253-257.

Design and Manufacturing of 5-Dof FDM Printer Based on Parallel Mechanism

ARTICLE INFO

Authors
Mahboubkhah M.[1*],
Dumlu A.[2],
Khabazi Barab F.[1],
Koray Ayten K.[2]

[1] Mechanical Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
[2] Department of Electrical & Electronic Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Erzurum Technical University, Erzurum, Turkey.

*** Correspondence**
Address: Mechanical Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
mahboobkhah@tabrizu.ac.ir

How to cite this article
Mahboubkhah M, Dumlu A. Khabazi Barab F, Koray Ayten K. Design and manufacturing of 5-Dof FDM printer based on parallel mechanism. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):253-257.

ABSTRACT

Fused deposition modeling (FDM) is one of the most common 3D printings technologies. Low cost and the ability to produce models using wide range of thermoplastic makes this process suitable for rapid prototyping and manufacturing some commercial parts. The mechanism of this printer is 4-DOF parallel machanism with one additional degree of freedom resulting from rotation of printer bed about z-axis. In order to generate tool path for 5-DOF printer, a CAM software was developed with python. For controling the printer, control software was designed based on open-source marlin framework. Since original framework only supports 3-axis printers, source code needed to be changed such as extending source code to support 5-axis and adding machanism inverse kinematics. By using this 5-Dof mechanism, the prints of complicated parts without using the support are possible.

Keywords 5-DOF 3D Printer, FDM Process, Parallel Mechanism

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۲۵۳-۲۵۷.

طراحی و ساخت پرینتر FDM پنج درجه آزادی با سازوکار موازی

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
مهران محبوب‌خواه[1*]
احمد دوملو[2]
فرهاد خبازی براب[1]
کاغان کورای آیتن[2]

[1] دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز
[2] دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه ارزروم تکنیک، ارزروم، ترکیه

*** نویسنده مسئول**
آدرس:
mahboobkhah@tabrizu.ac.ir

چکیده

فرآیند ساخت افزودنی (FDM) به دلیل هزینه پایین وهمچنین قابلیت تولید با محدوده وسیعی از مواد ترموپلاستیک، برای نمونه‌سازی سریع بسیار مناسب است. برای ساخت برخی قطعات پیچیده وافزایش کیفیت، می‌توان با افزایش درجات آزادی پرینتر امکان چاپ مدل پیچیده در جهات مختلف را بوجود آورد. برای این منظور در این مقاله یک پرینتر سه‌بعدی پنج درجه آزادی معرفی و طراحی و ساخت آن مورد بررسی قرار گرفته و قابلیت‌هایی که این پرینتر نسبت به سایر پرینترهای سنتی دارد مورد بحث قرار گرفته است. پرینتر معرفی شده در مقاله یک مکانیزم موازی چهار درجه آزادی است که با اضافه شدن یک درجه آزادی دورانی به سکوی متحرک مجموعاً دارای پنج درجه آزادی حرکتی می‌باشد. به منظور ایجاد مسیر حرکت پرینتر سه‌بعدی با پنج درجه آزادی، نرم افزار CAMبا زبان برنامه نویسی پایتون توسعه داده شده است که برنامه حرکتی مسیر مورد نیاز برای پرینت قطعه را تولید می‌کند. برای کنترل حرکتی پرینتر، از یک میکروکنترلر آردینو با قابلیت کنترل حداقل شش موتور حرکتی بهره گرفته شده و نرم افزاری بر پایه مارلین نوشته شده است که با استفاده از این نرم افزار امکان پرینت قطعه با استفاده از پنج محور حرکتی وجود دارد.

کلیدواژه‌ها پرینتر ۳ بعدی پنج درجه آزادی، فرآیند FDM، مکانیزم موازی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.39.2]

۱- مقدمه

اولین تکنولوژی چاپ سه بعدی در اواخر دهه ۱۹۸۰ ظاهر شد. با این حال، تا اواخر سال ۲۰۰۰ فن آوری چاپ سه بعدی هنوز گران بود و بیشتر توسط صنایع بزرگ مورد استقاده قرار می گرفت . در سال ۲۰۰۹ اولین پرینتر سه بعدی تجاری بر اساس مفهوم RepRapوارد بازار شد و به فروش گذاشته شد. این پرینتر از روش فرآیند ساخت افزودنیFDM استفاده می‌کرد. کم هزینه بودن و همچنین قابلیت تولید با محدوده وسیعی از مواد ترموپلاستیک، فرآیند FDM را برای نمونه‌سازی و تولید بعضی از قطعات تجاری مناسب کرده است. با اینکه پرینترهای FDM به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، این نوع پرینترها دارای نقاط ضعفی نیز هستند. از جمله دقت نسبتا کم و همچنین نیاز به ساخت تکیه‌گاه برای قسمت های برآمده که زاویه زیادی دارند که می‌تواند موجب محدودیت‌های در ساخت بعضی از قطعات و همچنین افزایش زمان پرینت شود[1] .

آقای کوپک و همکاران[2] در سال ۲۰۱۸ روشی جدید برای بهینه-سازی و تولید مسیر برای پرینتر چند محوره بجای پرینتر سه محوره معرفی کردند. این روش شامل جهات مختلف ساخت برای تطبیق با قسمت های مختلف قطعه و الگوریتمی برای مورد خاص محور استوانه ای است. این روش می‌تواند زمان ساخت قطعه را بوسیله جلوگیری از ساخت تکیه‌گاه به شدت کاهش دهد.

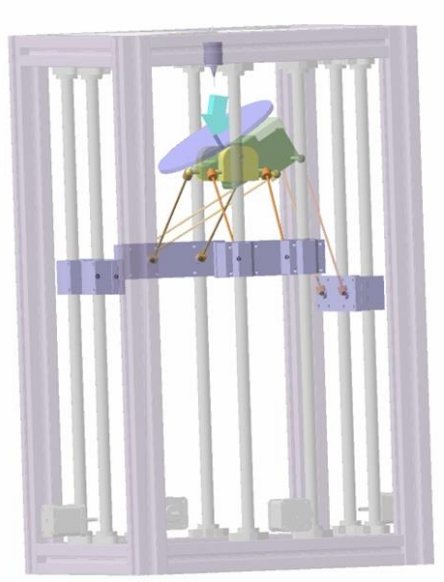
آقای لی و همکاران [3]در سال ۲۰۱۵ الگوریتمی برای تولید مسیر حرکت برای پرینتر پنج محوره در فرآیند ساخت افزودنی فلزی جهت حذف تکیه گاه معرفی کردند. مراحل اجرای این الگوریتم شامل تشخیص قسمت هایی که برای ساخت نیاز به تکیه گاه دارند، جدا کردن این قسمت ها و تولید مسیر حرکت می باشد.

همانگونه که در بالا اشاره شد، یکی از نقاط ضعف پرینترهای سه بعدیFDM، نیاز به ساخت تکیه گاه برای بعضی از قطعات است که موجب افزایش زمان و هزینه پرینت می شود. هدف از این مقاله طراحی و ساخت ربات پرینتر سه بعدی ۵ درجه آزادی است تا بتوان این مشکل را تا حدودی برطرف کرد برای این کار، ابتدا با زبان برنامه نویسی پایتون[4] نرم افزارCAM برای به دست آوردن جی کد و سپس برای کنترل پرینتر، با استفاده از نرم افزار متن باز مارلین [5]و اضافه کردن دو محور دورانی به آن، واحد کنترلر توسعه داده می شود.

۲- معرفی مکانیزم موازی پنج درجه آزادی

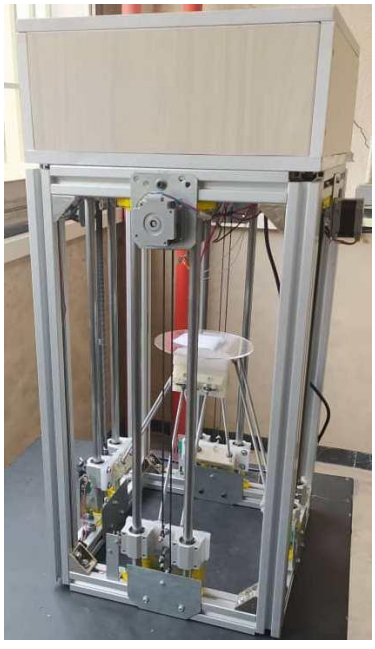
۲-۱- اجزاء مکانیکی

مکانیزم استفاده شده در این مقاله از نوع موازی و دارای پنج درجه آزادی است که سه درجه انتقالی و دو درجه آن نیز دورانی است که یک درجه آزادی آن حول محور x و دیگری حول محورz با استفاده از میز دوار ایجاد می شود. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می گردد، دستگاه از یک بدنه ثابت و یک سکوی متحرک تشکیل شده است. هشت بازو نیز سکوی متحرک را به بدنه وصل می کنند. اکسترودر پرینتر به سکوی ثابت وصل بوده و هیچگونه حرکتی ندارد.



شکل ۱) ساختار مکانیزم موازی پنج درجه آزادی

حرکت موتور توسط تسمه و پولی به حرکت خطی بلبرینگ ها تبدیل شده و توسط بازوها به سکوی متحرک منتقل می شود. بازوهای مورد استفاده دو به دو زنجیره سین،تیکی را تشکلیل می دهند که سکوی ثابت را از طریق چهار مفصل کروی(که به دلیل یک درجه آزادی کم به مفاصل یونیورسال تبدیل می شوند) به سکوی متحرک وصل می کند (شکل ۲)



شکل ۲) ربات پرینتر۵ درجه آزادی ساخته شده

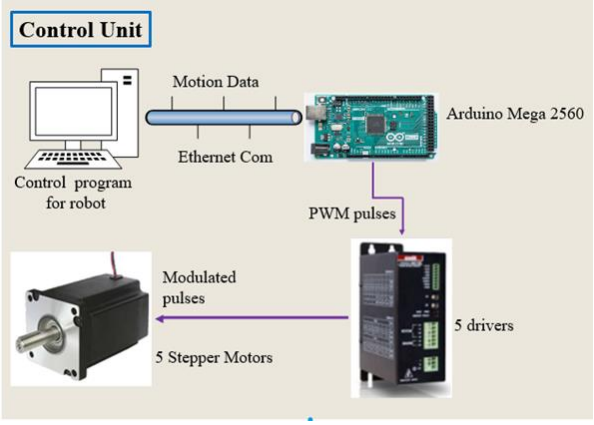
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.39.2]

۲-۲- اجزاء الکتریکی و الکترونیکی

برای کنترل حرکتی یک ربات موازی نیاز به یک سری تجهیزات ازجمله موتورها، درایورها، کنترلر، سنسورها و غیره می باشد که در ادامه به توضیح آنها پرداخته می شود .

یکی از عمومی ترین محرکه‌ها که برای کنترل حرکتی ربات استفاده می شود، موتور پله‌ای می‌باشد، در ربات حاضر نیز برای حرکت مکانیزم از موتورهای پله‌ای استفاده شده است. این موتورها برای راه‌اندازی نیاز به درایو دارند که در قسمت کنترلی از آنها نیز استفاده شده است. همچنین برای کنترل قطعات الکترونیکی و الکتریکی ربات از یک میکرو کنترل آردوینو مگا ۲۵۶۰ استفاده شده است. برای تغذیه برد از یک منبع تغذیه که ولتاژهای لازم را تأمین می‌کند استفاده شده است. همچنین برای تقویت و حذف نویز از یک برد واسط RAMPS1.4 برای سازماندهی و تقویت اطلاعات ارسالی استفاده شده است. برای تشخیص محدوده حرکتی ریلها از میکرو سوئیچ های الکترو مکانیکی استفاده شده است. در شکل۳ شماتیک سیستم کنترل حرکتی ربات نشان داده شده است.



شکل ۳) شماتیک سیستم کنترل حرکت ریلها

۳-سینماتیک مکانیزم

به منظور کنترل و یافتن محل سکوی متحرک ربات لازم است معادلات لازم برای ارتباط بین عملگرها و اتصالات بدست آید. به کمک سینماتیک مستقیم با استفاده از موقعیت عملگرها می توان موقعیت سکوی متحرک ربات را پیدا کرد و به کمک سینماتیک معکوس با داشتن موقعیت سکوی متحرک، می توان موقعیت عملگرها را به دست آورد.

برای یک موقعیت مشخص از سکوی متحرک یک مجموعه منحصربه فرد از طول پایه ها از طریق سینماتیک معکوس مکانیزم به دست می‌آید. لذا سینماتیک معکوس مکانیزم، موقعیت مشخص سکوی متحرک مکانیزم را به طول پایه‌ها تبدیل می‌کند. منظور از موقعیت، ترکیبی از مکان سکوی متحرک در دستگاه مختصات عمومی و جهت آن در دستگاه مختصات محلی است. درحالیکه سینماتیک معکوس با داشتن موقعیت سکوی متحرک به طول پایه‌ها می‌رسد، سینماتیک مستقیم عکس آن عمل می‌کند. به این معنی که برای یک مجموعه طول پایه‌ها در مکانیزم می‌توان از طریق سینماتیک مستقیم مکانیزم، یک موقعیت منحصربه فرد برای سکوی متحرک مکانیزم، به دست آورد. بنابراین سینماتیک مستقیم مکانیزم طول پایه‌ها را به موقعیت سکوی متحرک تبدیل می‌کند.

۳-۱- سینماتیک معکوس مکانیزم

برای کنترل حرکت سکوی متحرک که در این دستگاه بعنوان میز متحرکی که قطعه کار روی آن قرار می‌گیرد، نیاز است که میزان حرکت خطی هر کدام از ریلها که در شکل ٤ مشخص است مشخص باشد. بنابراین برای تعیین و محاسبه مقدار حرکت لازم هر کدام از ریلها و به تناسب آن میزان دوران هر کدام از موتورهای مربوط به آنها بایستی محاسبات سینماتیک معکوس با مشخص شدن موقعیت سکوی متحرک بدست آید. برای این منظور یک زنجیره سینماتیکی با بردارهایی که در شکل ٤ مشخص شده تشکیل می‌شود و رابطه برداری بین آنها مطابق روابط زیر نوشته می‌شود.

$$o_p + {}^{o}_{p}\mathbf{R}\,{}^{p}\mathbf{b} = {}^{o}\mathbf{a} + {}^{o}\mathbf{d} + {}^{o}\mathbf{l} + {}^{o}\mathbf{c} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق o_p بردار رابط بین سکوی متحرک و ثابت می‌باشد. ${}^{p}\boldsymbol{b}$ بردار رابط بین مفاصل کروی روی سکوی متحرک و در دستگاه مختصات محلی {O} می‌باشد. ${}^{o}\mathbf{l}$ هم طول بازوهای ربات می‌باشد که سکوی متحرک را به هرکدام از ریلها متصل می کند. در رابطه ۱ همچنین ارتباط بین دستگاه مختصات محلی {O} و{P} به ترتیب زیر تعریف می‌شود.

$${}^{o}_{i}\mathbf{b} = {}^{o}_{p}\mathbf{R}\,{}^{p}_{i}\mathbf{b} \qquad (۲)$$

همچنین بردار دوران ${}^{o}_{p}\mathbf{R}$ به ترتیب زیر تعریف می‌شود:

$${}^{o}_{p}\mathbf{R} = \mathbf{R_X}(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{\cos\,\theta_x} & \mathbf{-\sin\,\theta_x} \\ \mathbf{0} & \mathbf{\sin\,\theta_x} & \mathbf{\cos\,\theta_x} \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

در رابطه۳ $\boldsymbol{\theta_x}$ دوران حول محور X می‌باشد. رابطه۱ را میتوان به ترتیب زیر بازنویسی کرد:

$$(\mathbf{p} + \mathbf{b_i} - \mathbf{a_i} - c_i\hat{\mathbf{d}}_\mathbf{i})\text{ - }\mathbf{l_i} = d_i\,\hat{\mathbf{d}}_\mathbf{i} \qquad (٤)$$

در رابطه٤ $\hat{\mathbf{d}}_\mathbf{i}$ بردار یکه در راستای ریلهای ربات می‌باشد.

در نهایت میزان حرکت هر کدام از زینهای پایه‌ها برای اینکه سکوی متحرک در موقعیت کارتزین مورد نظر قرار گیرد به ترتیب رابطه ۵ مشخص می‌شود:

$$d_i = -c_i + \hat{\boldsymbol{d}}_i^T(\boldsymbol{p} + \boldsymbol{b}_i - \boldsymbol{a}_i) \pm \sqrt{l_i^2 - (\boldsymbol{p} + \boldsymbol{b}_i - \boldsymbol{a}_i)^T(\boldsymbol{I}_{3x3} - \hat{\boldsymbol{d}}_i\hat{\boldsymbol{d}}_i^T)(\boldsymbol{p} + \boldsymbol{b}_i - \boldsymbol{a}_i)} \qquad (۵)$$

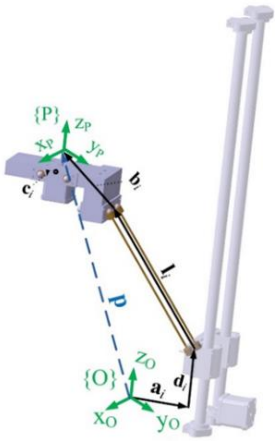
۴-نرم‌افزار CAM

نمونه‌ای از قطعات و روشی که برای تولید مسیر حرکت پرینت قطعه در این تحقیق انجام گرفته به ترتیب زیر می‌باشد:

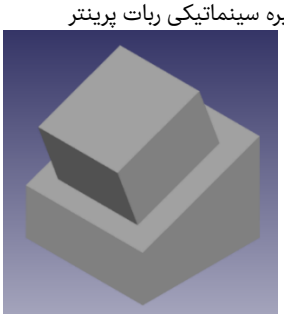
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.39.2]

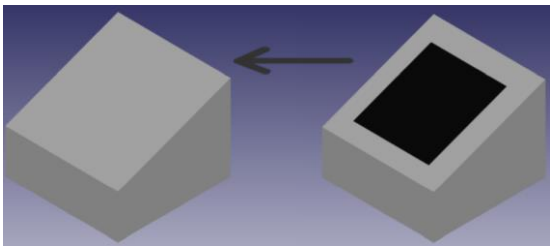
در ابتدا قطعه مورد نظر در نرم افزار تحلیل می‌شود و قسمتهای مستقل از هم تفکیک می‌شوند. یک نمونه از این قطعات در شکل ۵ نمایش داده شده است. سپس قطعه جدا شده و قطعه پایه که هر دو با فرمت STL هستند در نرم‌افزار نوشته شده ترمیم و سطوح آن بسته می‌شود (شکل۶). سپس برای هر کدام از قطعات مستقل، مسیر حرکت پرینت با انجام اسلایس‌بندی در نرم‌افزار کد نوشته شده به زبان پایتون بدست می‌آید. قطعه پایه می‌تواند با سه درجه آزادی حرکتی به راحتی پرینت شود. ولی برای پرینت قطعه بالایی میز دستگاه پرینتر به اندازه شیب قطعه پایینی حول محور X دوران میکند و پرینت قطعه دوم بلافاصله آغاز می‌شود.



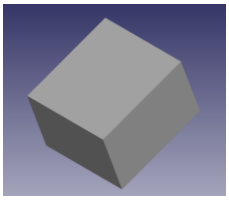
شکل ۴) مدل زنجیره سینماتیکی ربات پرینتر



شکل ۵) نمونه‌ای از قطعه برای پرینت با درجه آزادی بیش از سه محور



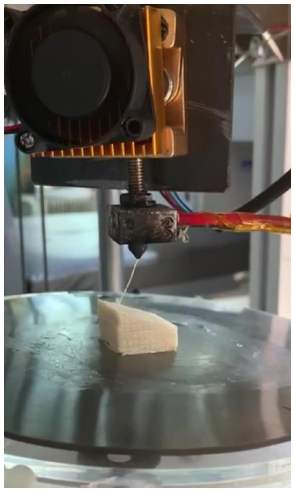
شکل ۶) مدل زنجیره سینماتیکی ربات پرینتر



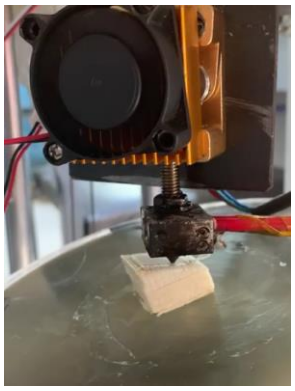
شکل ۷) مدل زنجیره سینماتیکی ربات پرینتر

۵-ساخت قطعه نمونه با پرینتر پنج درجه آزادی

قطعه نمونه‌ای که در شکل۵ نشان داده شده بود با استفاده از روش توضیح داده شده در قسمت ۴ اسلایس‌بندی و مسیر حرکت پرینت بدست آمد. قسمت اول بدون نیاز به استفاده از درجات آزادی بیش از سه درجه آزادی مطابق شکل۸ روی میز متحرک پرینتر پرینت شد. در مرحله بعد پس از دوران میز حول محور X و استفاده از درجه آزادی دورانی میز، قطعه دوم نیز بر روی قطعه اول بلافاصله پرینت شد که مرحله پرینت قطعه دوم در شکل۹ نمایش داده شده است. یکی از مزایای این روش پرینت که با دوران میز انجام شده این است که در صورت افزایش شیب قطعه دوم با روش پرینت سه درجه آزادی حتماً نیاز به پرینت ساپورت وجود خواهد داشت. در حالیکه با روش حاضر دوران میز نیاز به پرینت ساپورت را حذف می‌کند. علاوه بر این مزیت، قطعه‌ای که با استفاده از دوران یا سایر درجات آزادی بیش از سه درجه آزادی پرینت می‌شود دارای نظم بیشتری از نظر خطوط پرینت نسبت به روش معمول پرینت می‌باشد.



شکل ۸) پرینت قطعه اول با سه درجه آزادی



شکل ۹) پرینت قطعه دوم با دوران میز و استفاده از درجه آزادی چهارم

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.39.2]

۶-بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله یک ربات موازی پنج درجه آزادی معرفی و قسمتهای سخت‌افزاری مکانیکی و کنترلی آن معرفی شده است و کاربرد آن برای انجام پرینت قطعاتی که با بیش از سه محور نیاز به ساپورت را در فرآیند پرینت FDM حذف میکنند توضیح داده شده است. همچنین روش کار با بیان الگوریتم مورد استفاده در نرم‌افزار CAM برای حرکت نسبی بین هد پرینتر و میز متحرک تشریح شده است. در انتها یک قطعه نمونه که با استفاده از پرینتر معرفی شده ساخته شده نشان داده شده و روش ساخت آن با استفاده از دورانهای اضافی ربات پرینتر بیان شده است. قابلیت پرینت قطعات پیچیده‌تر و دقیقتر با استفاده از انعطاف-پذیری که این پرینتر دارد بیش ار بیش قابل استفاده می‌باشد.

تشکر و قدردانی: کار تحقیقاتی این مقاله تحت قرارداد و حمایت پژوهشی بین‌المللی ایران-ترکیه (MSRT-TUBITAK) به شماره ۸۰۰-۹۹-۲۴ مورخ ۹۹/۴/۳۰ انجام شده است.

مراجع

1- SD3DPrinting. FFF vs SLA vs SLS: 3D Printing.2013.URL:http://sd3d.com/fff-vs-sla-vs-sls
2- Daoiel Coupek, Jeos Friedrich, David Batrao, liver Riedel, 11th CIRP confereoce on Intelligent Computation in Manufacturing Eogineeriog - CIRP ICME 17.
3- Kyubok Lee, Haeseong Jee, Journal of Mechanical Science and Techoology 29(12):5139i5144 · December 2015
4- Python Software Foundation. Python Language Reference, version 3.5. Available at http: //www.python.org.
5- Scott L, Chris P, Bob K, Erik Z, Roxanne N. Marlin 3D printer firmware. Github repos. https: //github.com/MarlinFirmware/Marlin

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.39.2]