

The Effective Factors in the Accuracy of 3D Printers in Dentistry: A Systematic Review

Seyed Shojaedin Shayegh¹, Maryam Jahangiri^{2*}

¹Professor, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Shahed University, Tehran, Iran

²Postgraduate Student, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Shahed University, Tehran, Iran

Received: 12 May 2024, Accepted: 30 July 2024

Background: The use of digital technology in dentistry has gained prominence over the past decade and 3D dental printing has become popular in various fields of dentistry. Very few studies have investigated the factors that impact a precise three-dimensional print. In this review, we examine the factors influencing the accuracy of dental prints.

Methods and Materials: A comprehensive search was conducted across databases such as PubMed, Google scholar, Scopus, Springer Link, Science Direct, and Wiley using terms related to “Digital dentistry”, “3D printer”, “CAD/CAM”, “Stereolithography” and “Accuracy”. We retrieved studies published from January 2017 to February 2024 in English or Persian language.

Results: A total of 800 studies were initially identified and 70 studies were screened by title and abstract. Finally, 22 studies were qualified for full text review. The findings showed that the main effective factors fall in to one of the four categories: printer type, material combinations, and factors during and after the printing process.

Conclusion: Various factors have an effect on the accuracy of printers and identifying these factors increases the accuracy, dimension and color stability of the printed samples. Regarding the factors during printing, the angle of the print, the layer thickness of the printed samples and the curing process affect the accuracy of the prints. Regarding the material combinations, the powder size used in powder-based and resin type in resin-based printers are recognized as influential factors. The post-printing factors also include the storage method and duration, which has a significant effect on dimensional stability.

Keywords: Accuracy; Digital dentistry; Stereolithography; 3D printing

*Corresponding Author: Maryam.jahangiri@shahed.ac.ir

➤ Please cite this paper as: Shayegh SS, Jahangiri M. The effective factors in the accuracy of 3d printers in dentistry :a systematic review. *J Mash Dent Sch* 2023, 48(3):820-839.

➤DOI: [10.22038/jmnds.2024.24666](https://doi.org/10.22038/jmnds.2024.24666)



فاکتورهای موثر در دقت پرینت‌ها در دندانپزشکی: مرور سیستماتیک

سید شجاع‌الدین شایق^۱، مریم جهانگیری^{۲*}

استاد، گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
دانشجوی دوره تخصصی، گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

تاریخ ارائه مقاله: ۱۴۰۲/۲/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۹

چکیده:

مقدمه: استفاده از ابزارهای دیجیتال و پرینت‌ها، امروزه در دندانپزشکی بسیار رایج شده است. مطالعات زیادی در مورد فاکتورهای موثر در یک پرینت دقیق وجود ندارد. در این مطالعه مروری، به بررسی فاکتورهای موثر در دقت پرینت‌های دندانپزشکی می‌پردازیم.

مواد و روشها: ما در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed, Science Direct, Springer Link, Scopus, Google scholar و Wiley از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ به جست و جو پرداختیم. در این مطالعه از میان ۱۲۰ مقاله مرتبط به زبان انگلیسی و فارسی، ۲۰ مقاله که بیشترین ارتباط به موضوع را داشتند، مورد بررسی قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: فاکتورهای مختلفی در دقت پرینت‌ها تاثیر دارند. آگاهی از این فاکتورهای موثر موجب افزایش دقت، ثبات ابعادی و ثبات رنگ نمونه‌های پرینت شده می‌شود. این فاکتورها در چهار دسته کلی نوع پرینت، فاکتورهای حین پرینت، ترکیبات مواد و پس از پرینت تقسیم می‌شوند. در مورد فاکتورهای حین پرینت، زاویه ی پرینت، و ضخامت لایه پرینت و فرآیند کیورینگ بر دقت پرینت‌ها تاثیرگذار است. در مورد ترکیبات مواد، پودر مورد استفاده در پرینت‌های بر پایه پودر و نوع رزین در پرینت‌های رزینی موثر است. فاکتورهای پس از پرینت نیز شامل نحوه نگهداری و مدت زمان نگهداری است که بصورت معنی داری بر ثبات ابعادی تاثیر دارد.

کلمات کلیدی: دقت، دندانپزشکی دیجیتال، استریولیتوگرافی پرینت‌های سه بعدی.

مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۴۰۳ / دوره ۴۸ / شماره ۳: ۸۲۰-۳۹

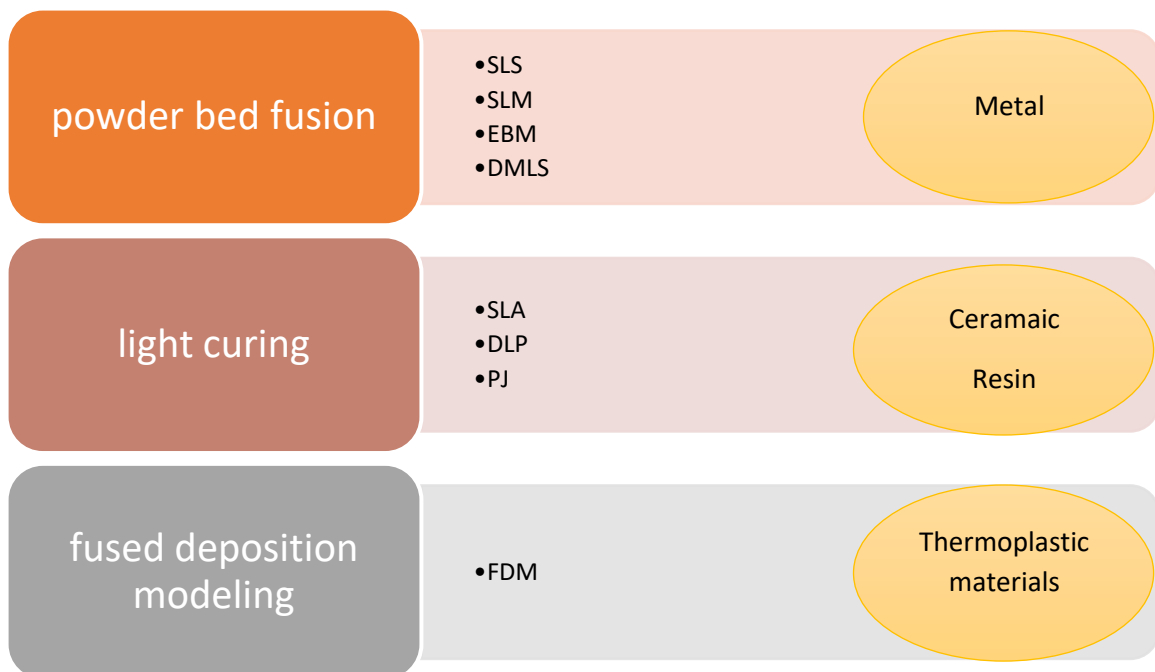
مقدمه:

اولین نمونه پرینت‌ها، انواع استریولیتوگرافی (SLA) بود که در سال ۱۹۸۶ توسط دکتر Hull معرفی شد.^(۵،۶) در سال ۱۹۹۰، Scott Crump پرینت‌های fused deposition Modeling (FDM) را معرفی کرد.^(۷) در حال حاضر انواع مختلفی از پرینت‌ها با فناوری‌های متعدد در دسترس است.^(۷) پرکاربردترین فناوری‌های پرینت در دندانپزشکی (SLA, Stereolithography) و Direct Light Processing DLP و LCD (Liquid Crystal Display) هستند. این پرینت‌های پرکاربرد دندانپزشکی براساس فناوری پلیمریزاسیون (Vat polymerization) و با کمک

تکنولوژی پرینت سه بعدی (3D printing) فرآیند ساخت لایه به لایه است که با نام‌های فرآیند افزایشی (additive manufacturing, AM) نیز شناخته می‌شود.^(۱) در مقالات متعدد از پرینت سه بعدی با نام‌های Generative process، Rapid prototyping نیز نام برده می‌شود.^(۲) انجمن تست مواد آمریکا پرینت یا additive manufacturing را به صورت فرآیند اتصال لایه به لایه مواد برای ساخت اشیا از مدل سه بعدی تعریف می‌کند.^(۳) با توجه به اینکه فرآیند پرینت امکان نمونه سازی سریع از مدل‌ها را ممکن می‌کند، امروزه در دندانپزشکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است.^(۴)

پرینت‌ها براساس تکنیک کاری به سه دسته اصلی، فیوژن بستر پودری (Powder bed fusion) و لایت کیورینگ (Light curing) و مدل سازی رسوب ذوب شده (Fused deposition modeling) تقسیم میشوند. (۵) طبقه بندی کلی پرینت‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است

رزین مایع و کیورینگ با نور عمل می‌کنند. (۸،۹) علت محبوبیت این پرینت‌ها در دندانپزشکی، دقت بالا و استحکام آنان است. (۹) گرچه پرینت‌ها سرعت کار را افزایش می‌دهند، اما هنوز دقت بالایی ندارند. با این وجود، پیشرفت روزافزون فناوری پرینت‌ها موجب تولید پرینتهایی با دقت بالاتر نسبت به نمونه های اولیه شده است. (۴)

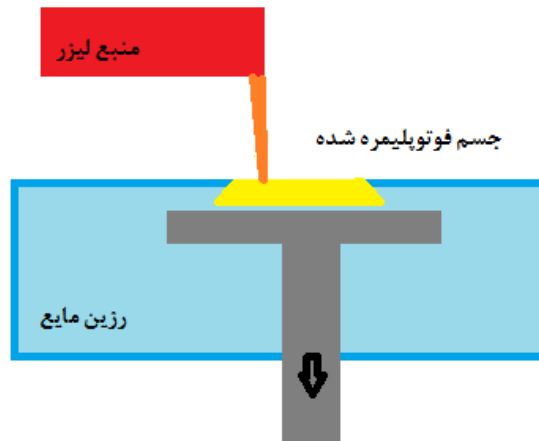


شکل ۱: طبقه بندی پرینت‌ها (۵)

به نور و یک منبع لیزری فرابنفش وجود دارد. (شکل ۲) در این تکنیک مطابق اطلاعات ارسال شده به پرینتر، لیزر فرابنفش به نقاط مشخص در رزین مایع برخورد میکند و پرینت بصورت لایه به لایه انجام می‌شود. (۱) این روش پرکاربردترین تکنیک پرینت در دندانپزشکی است. (۹)

در ادامه به توضیحی اجمالی در مورد نحوه ی کار هرکدام از پرینت‌ها می پردازیم. روشهای لایت کیورینگ (light curing)

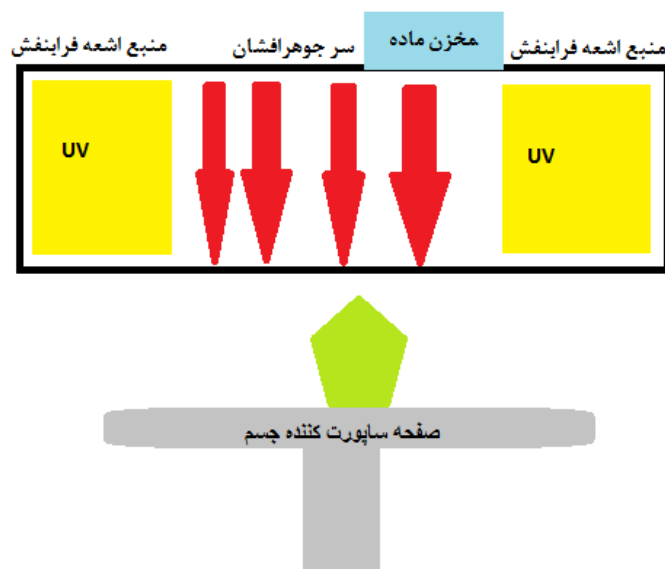
Stereolithography (SLA)
اولین پرینتر معرفی شده به روش استریولیتوگرافی عمل میکرد. در این روش یک محفظه حاوی رزین مایع حساس



شکل ۲: تصویر شماتیک تکنیک استریولیتوگرافی

دومین تکنیک پر کاربرد پرینت در دندانپزشکی، DLP است.^(۹) در این روش یک میکرو آینه دیجیتال وجود

Polyjet در این تکنیک (شکل ۳) ذرات پروپیلن ویا پلاستیکی بصورت جوهرافشان بر سطح صفحه ساپورت کننده پرینت میشوند و بلافاصله با منبع نوری فرابنفش کیور می شوند.^(۱۰)

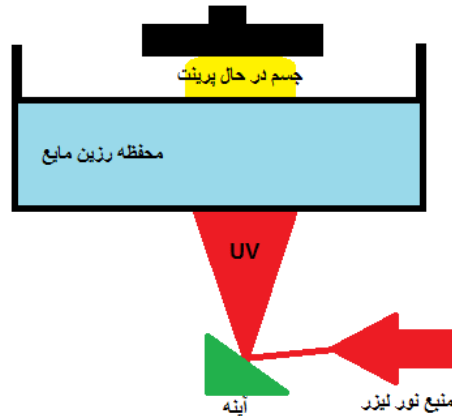


شکل ۳: تصویر شماتیک تکنیک polyjet

است. مزیت این تکنیک نسبت به SLA امکان کیور هر لایه با یکبار تابش است. این مسئله به دلیل وجود میکرو

دارد (شکل ۴) که نور را از منبع به سطح در حال پرینت منعکس میکند. دقت پرینت به تعداد آینه ها وابسته

آینه‌هاست. این روش می‌تواند در صورتی که نور بازتابی زیاد شود، دقت بالایی داشته باشد.^(۹)



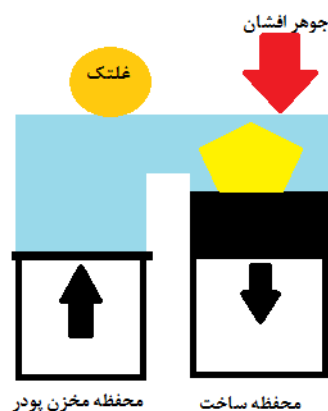
شکل ۴: تصویر شماتیک تکنیک Digital Light Process (DLP)

حرکت است. (شکل ۵) طبق الگویی که به پرینتر داده می‌شود، سر جوهر افشان یک چسب مایع را بر روی پودر می‌پاشد و الگو بصورت لایه به لایه تولید میشود. پس از پرینت هر لایه پیستونها حرکت می‌کنند. لایه پودری جدید در معرض سر جوهر افشان قرار می‌گیرد.^(۱)

روشهای فیوژن بستر پودری (powder bed fusion)

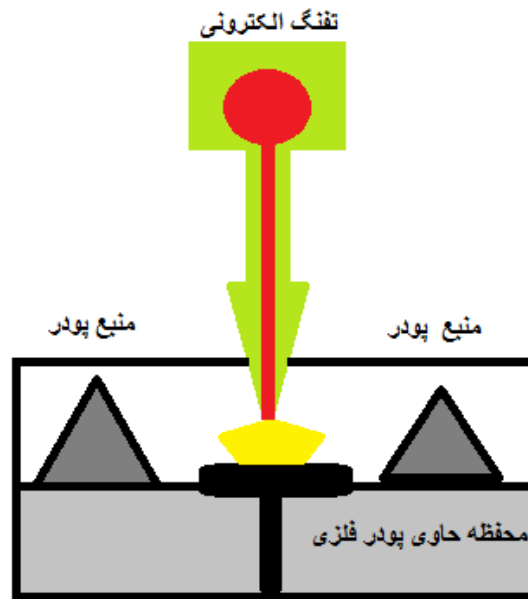
• Multi Jet Fusion (MJF)

در این روش دو محفظه حاوی پودر مرتبط به هم وجود دارد که مقدار پودر با کمک دو پیستون تنظیم می‌شود. یک غلتک جهت توزیع پودر بین دو محفظه دائما در حال



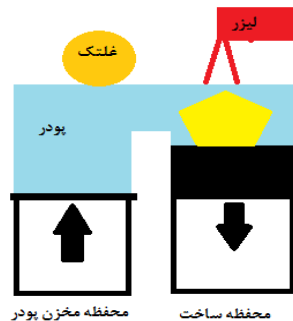
شکل ۵: تصویر شماتیک تکنیک Multi Jet Fusion

- Electron Beam Melting (EBM)
این پرینترها جهت پرینت فلزی با جریان پرانرژی الکترون عمل میکنند. (شکل ۶) در این روش به جای لیزر از انرژی جریان الکترون استفاده میشود. (۱۲)

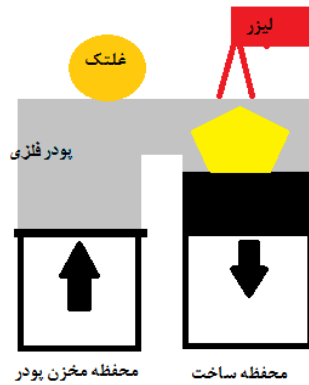


شکل ۶: تصویر شماتیک تکنیک Electron Beam Melting (EBM)

- Selective Laser Sintering (SLS)
روش Selective Laser Sintering (SLS) نوعی روش فیوژن بستر پودری است که برخلاف سایر روشهای این گروه از فناوری جوهرافشان بهره نمی برد و با لیزر عمل می کند. (شکل ۷) این روش در پرینت انواع فلزات، سرامیکها، مومها، کامپوزیتها و مواد ترموپلاستیک کاربرد دارد و در نتیجه در دندانپزشکی بسیار پر کاربرد است. (۱)



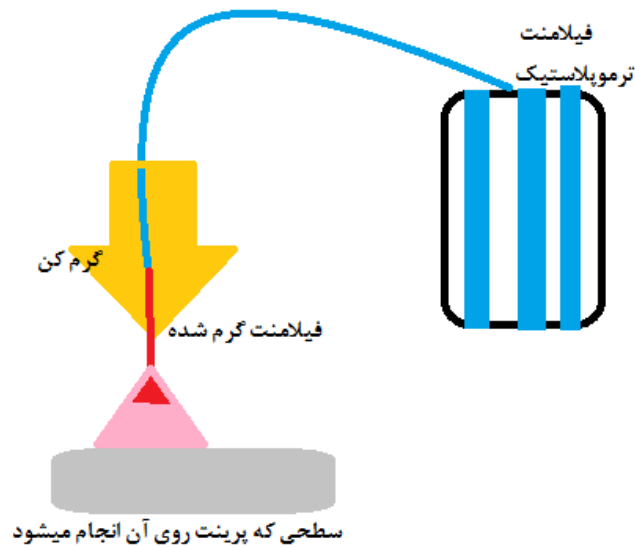
شکل ۷: تصویر شماتیک تکنیک فیوژن بستر پودری SLS



شکل ۸: تصویر شماتیک تکنیک فیوژن بستر پودری (DMLS) Direct Metal Laser Sintering

ترموپلاستیک وارد سر گرم کن دستگاه می شود، سپس تا دمای ذوب گرم شده و براساس طرح موردنظر، لایه به لایه پرینت انجام می شود.^(۱)

Fused Deposition Modeling (FDM)
مدل سازی رسوب ذوب شده یا Fused Deposition Modeling (FDM) روشی است (شکل ۹) که در آن فیلامنت



شکل ۹: تصویر شماتیک تکنیک Fused Deposition Modeling (FDM)

پودر فلز با قطر ۲۰ میکرون، بدون هیچگونه بایندر استفاده میشود. مطابق الگویی که به پرینتر داده میشود، جسم

(DMLS) Direct Metal Laser Sintering این پرینتر (شکل ۸) جهت پرینت انواع فلزات استفاده می شود. روش کار دقیقاً مانند SLS است. با این تفاوت که

مواد روش کار:

این بررسی سیستماتیک مطابق با گایدلاین PRISMA سؤال PICO بدین صورت فرموله شد: در نمونه های پرینت شده (P)، آیا فاکتورهای متعدد (I) در مقایسه با سایر نمونه های پرینت شده (C) در افزایش دقت نمونه ها (O) موثر هستند؟

برای یافتن مقالات مرتبط با موضوع از یک استراتژی جستجو استفاده و معیارهای ورود و خروج برای آن تعریف کردیم. معیارهای ورود به جستجو عبارت بودند از: مطالعات منتشر شده ۷ سال اخیر بین ۱ ژانویه ۲۰۱۷ و ۳۰ فوریه ۲۰۲۴، شامل مطالعات منتشر شده به زبان انگلیسی و فارسی، که شامل تمام یا بخشی از کلمات کلیدی در عنوان یا چکیده آنها بود. معیارهای خروج شامل مطالعات بر روی دقت اسکنرهای لابراتواری و پرینترها و همچنین مطالعاتی که به سوال PICO پاسخ نمی دادند، بود. (جدول ۱) جستجو در پایگاه های اطلاعاتی

Science, Scopus Direct Science Web of Science, PubMed Cochrane Library و Google scholar، با استفاده از واژه های "3D printer" OR "stereolithographic" OR "Accuracy" OR "digital dentistry" OR "CAD/CAM" انجام شد. استراتژی جستجو برای این بررسی شامل ۳ مرحله بود؛ ابتدا مرور عنوان ها، سپس مطالعه خلاصه مقالات و در نهایت انتخاب مقالات و تجزیه و تحلیل متن کامل انجام شد.

پس از بررسی ۸۰۰ مقاله که عنوان مرتبط با کلمات کلیدی داشتند، چکیده ۷۰ مقاله مطالعه شد، مقالات گزارش مورد و مقالاتی که با سوال PICO مرتبط نبودند، از مطالعه کنار گذاشته شدند و از این تعداد، متن کامل ۲۲ مقاله مطابق با معیارهای ورود، وارد مطالعه شد. (۳۶-۱۵) اطلاعات خارج شده از مطالعات در جدول شماره ۱ (نمودار ۱) بطور خلاصه بیان شده است.

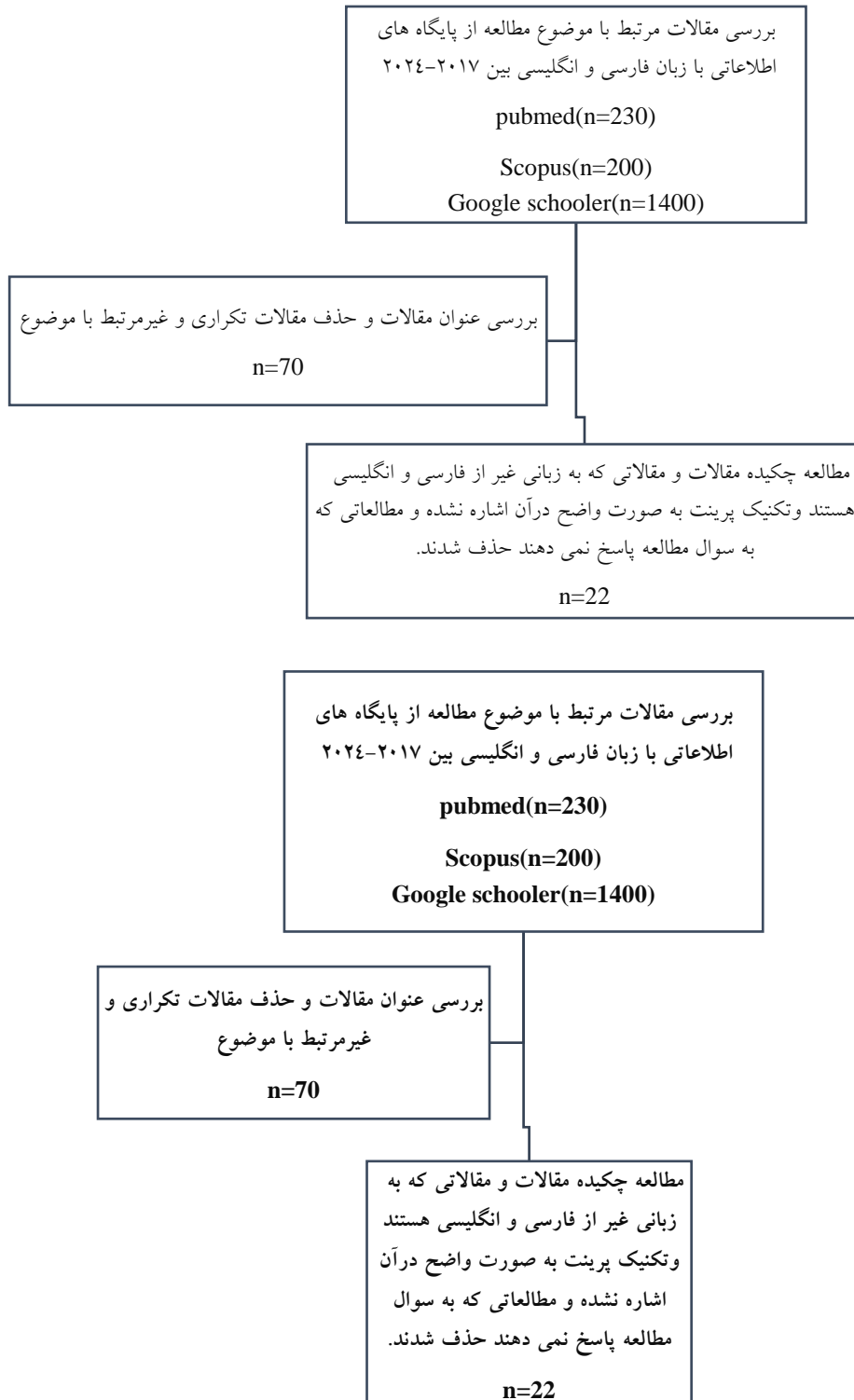
بصورت لایه لایه با برخورد لیزر به پودر فلزی و فرآیند Melting پرینت میشود. (۱۱)

پرینترها در پرینت انواع مختلف مواد مانند فلزها و آلیاژها، سرامیک، کامپوزیت، موم، رزین و پلیمرها کاربرد دارد. (۵، ۱) سرامیکها به دلیل استحکام مکانیکی بالا و سختی و ثبات حرارتی و شیمیایی بالا در صنایع مختلف بسیار پرکاربرد هستند. (۱۳) پرینت سرامیک ها اولین بار توسط Marcus و همکارانش در سال ۱۹۹۰ معرفی شد. مواد اولیه مورد استفاده در پرینت سرامیک ها به شکل slurry ، powder و bulk solid است. (۱۳) پرینترهای PJ، SLA و DLP در پرینتهای سرامیکی کاربرد دارد. (۵) پرینترهای SLM، SLS، EBM و DMLS در پرینت فلزی کاربرد دارند. (۵) پرینترهای PJ، SLA و DLP در پرینتهای رزینی کاربرد دارد. (۵) پرینترهای Fused deposition modeling در پرینت مواد ترموپلاستیک و کامپوزیتی استفاده می شوند. (۵، ۱۴)

کاربرد پرینترها در پروتزهای دندانپزشکی، تشخیص و طرح درمان و همچنین درمان بیماران است. این فناوری در ساخت انواع روکشهای دندانی، بریج ها، دنچرهای کامل و فریم ورک دنچرهای پارسیل در جلسات کمتر و با هزینه مقرون به صرفه کاربرد دارد. (۵) پرینترها در ساخت گایدهای جراحی ایمپلنت و همچنین طراحی و ساخت تری های قالبگیری ایمپلنت کاربرد دارند. (۵) کاربرد پرینترها در جراحی کرایوفیشیال در ساخت گایدها، اسپلینت ها، ایمپلنتهای کرایوفیشیال و مدلها است. (۱۴)

با توجه به کاربرد وسیع پرینترها، در دست داشتن پرینتی دقیق جهت تشخیص و درمان، بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه به بررسی فاکتورهای موثر در دقت پرینترها می پردازیم.

نمودار ۱. استراتژی جستجو



جدول ۱: توصیف مقالات وارد شده به مطالعه

طبقه بندی	فاکتور موثر در دقت پرینتورها	سال	محققین	نوع پرینتورها	کاربرد	نتایج
قبل پرینت	نوع پرینتورها	۲۰۲۱	Park et al.	DLP FDM Poly jet SLA	کست ماگزایلا	FDM, DLP تمایل به انبساط باکولینگوالی و قدامی خلفی دارند، اگرچه تغییرات در بعد عمودی زیاد نیست.
		۲۰۱۸	Brown et al.	DLP PJ	کست ماگزایلا	دقت پرینتورها را با کست مقایسه و بیان کرد که از نظر کلینیکی قابل قبول است.
		۲۰۱۸	Park et al.	DLP PJ	مدل دای دندان از جنس peek	بهترین دقت در روش معمول تهیه دای بود. با این وجود بین انواع مختلف پرینتورها مورد استفاده تفاوت وجود داشت و استفاده از UV و DLP دقت بالاتری از سایر پرینتورها داشت.
		۲۰۱۷	Dietrich et al.	SLA PJ	کست ماگزایلا	این مطالعه دقت بالاتر پرینت SLA و trueness بالاتر PJ را نشان داد.
		۲۰۲۰	Sherman et al.	DLP	مدل طراحی شده ساده و سوراخدار	بطور کلی دقت DLP از نظر کلینیکی قابل قبول است.
		۲۰۲۰	Sherman et al.	DLP	مدل طراحی شده ساده و سوراخدار	بطور کلی دقت DLP از نظر کلینیکی قابل قبول است. و هر دو مدل ساده و سوراخ دار دقت قابل قبولی داشتند.
		۲۰۱۷	Ide et al.	PJ FDM	جسم مثلثی	زوایای حاده دقت کمتری دارند.
		۲۰۲۰	Tasaka et al.	SLS	فریم ورک پارسیل	طرح مورد پرینت در دقت نتایج نهایی تاثیرگذار است.
		۲۰۲۰	Sherman et al.	DLP	مدل طراحی شده ساده و سوراخدار	بطور کلی دقت DLP از نظر کلینیکی قابل قبول است. محل قرار گرفتن صفحه در مرکز و حاشیه تاثیری در دقت پرینت ندارد.
		طبقه بندی	فاکتور موثر در دقت پرینتورها	سال	محققین	نوع پرینتورها

حین پرینت	زاویه پرینت	۲۰۲۳	Gyrmak et al.	DentaCAST NextDent SuperCAST	فریم ورک پارسیل	پرینت بازایه ۴۵ درجه بیشترین دقت را نشان داد.
		۲۰۱۷	Osman et al.	DLP SM	تک کراون فول کانتور	این مطالعه بیشترین دقت را در زاویه ۱۳۵ درجه و کمترین را در ۲۱۰ درجه نشان داد.
		۲۰۲۱	KO et al.	DLP	کست ماگزایلا	کمترین دقت در زاویه ۰ درجه و ضخامت ۲۰ میکرون است.
	ضخامت لایه ها	۲۰۲۳	Gyrmak et al.	DentaCAST NextDent SuperCAST	فریم ورک پارسیل	بیشترین دقت در پرینت DentaCAST در ضخامت ۱۰۰ میکرون و در SuperCAST در ۵۰ میکرون و در NextDent در ۷۵ میکرون است.
		۲۰۲۱	KO et al.	DLP	کست ماگزایلا	کمترین دقت در زاویه ۰ درجه و ضخامت ۲۰ میکرون است.
		۲۰۱۹	Lofin et al.	SLA	مدل ارتودنسی	این مطالعه تمامی ضخامت ها را از نظر کلینیکی قابل قبول دانسته و ضخامت ۱۰۰ میکرون را به دلیل سریع تر شدن فرآیند پرینت توصیه نمود.
	Post curing	۲۰۲۴	Kim et al.	3D printer (Zenith L2; Dentis, Daegu, Korea)	دیسک های ۱ و ۲ میلیمتری	دیسک هایی که ۴ بار در هر دو سمت و یا ۸ بار در یک سمت کیور شدند، بیشترین دقت را داشتند. دیسک های ۱ میلیمتری سختی بیشتری بعد کیور داشتند. کیورینگ با LCU ها بصورت معنی داری نتایج بهتری را نشان دادند.
طبقه بندی	فاکتور موثر در دقت پرینتورها	سال	محققین	نوع پرینتر	کاربرد	نتایج
ترکیبات مواد	سایز ذرات پودر	۲۰۲۰	Edelmann et al.	SLM 50 (Realizer)	ساخت همراه اتچمنت	استفاده از پودرهای با ذرات fine بهبود معنی داری در خصوصیات سختی پرینت نشان داد.
	نوع رزین	۲۰۲۳	Al-Qarni et al.	ASIGA Formlabs NextDent	بیس رزینی دنچر	نوع رزین مورد استفاده در دقت پرینت ها موثر است

طبقه بندی	فاکتور موثر در سال	محققین	نوع پرینتر	کاربرد	نتایج
پس از پرینت از پرینت ها	۲۰۲۴	Alshaibani et al.	-	کست ماگزایلا و مندیل پرینت شده	نمونه هایی که در دمای ۵۰ درجه برای طولانی مدت نگهداری میشوند، بیشترین تغییر ابعادی را دارند.
	۲۰۲۳	Revilla-leon et al.	SLM	کست	این مطالعه نشان داد که زمان نگهداری و زاویه پرینت تفاوت معنی داری داشتند. بهترین دقت در زاویه ۰ درجه پرینت و مدت نگهداری ۰ درجه بود. بین زوایای مختلف پرینت و مدت زمان نگهداری تفاوت معنی داری نبود.
	۲۰۲۲	Hazem et al.	digital light projection 3D printer (Asiga MAX) and material jetting (MJ) 3D printer (ProJet 3510 DPPro)	پرینت ماگزایلا	این مطالعه دقت بالاتر نمونه های پرینت شده با DLP را نشان داد. بعلاوه نمونه هایی که سه ماه در معرض نور قرار داشتند، تغییرات رنگ نشان دادند
مدت زمان نگهداری	۲۰۲۱	Sabbah	3D-printer (Formlabs)	پرینت دندان تراش خورده مولر بالا جهت روکش تمام سرامیک	هرچه مدت نگهداری طولانی تر شود، ثبات ابعادی کاهش می یابد.
	۲۰۲۰	Lin et al.	DLP	فک بالا	استفاده از اشعه فرابنفش موجب ثبات ابعادی و رنگی پرینت ها میشود.
	۲۰۲۴	Asiga fotovat et al.		دیسک رزینی پرینت شده	بیشترین تغییرات در گروه پرینت را به هیپوکلریت و کمترین را به کلر هگزادین نسبت داد. در حالیکه در گروه Heat-cure نتایج برعکس بود

بحث:

ترکیبات مورد استفاده و فرآیندهای بعد از پرینت تقسیم میشود.^(۵) در نمودار ۲ فاکتورهای موثر در دقت پرینت ذکر شده است.

بطور کلی فاکتورهای موثر در دقت پرینت‌ها در چهار دسته نوع پرینتر، فاکتورهای موثر در حین پروسه پرینت، مواد و

نمودار ۲: فاکتورهای موثر در دقت پرینت‌ها

**قبل پرینت****نوع پرینتر**

تمایل به انبساط باکولینگوالی و قدامی خلفی دارند، اگرچه تغییرات در بعد عمودی زیاد نیست. مطالعه‌ای توسط Brown و همکارانش^(۲۱)، جهت مقایسه دقت پرینت‌های DLP و PJ و کست تهیه شده از قالب آلژیناتی انجام شد. این مطالعه دقت پرینت‌ها را با کست مقایسه و بیان کرد که از نظر کلینیکی قابل قبول است. در مطالعه‌ای که توسط Park و همکارانش^(۳۱) به جهت بررسی دقت روش معمول قالبگیری و تهیه کست و پرینتر PJ

در مطالعه‌ای که توسط Park و همکارانش^(۳۰) انجام شد، به بررسی انواع پرینت‌های DLP, SLA, FDM, PJ در دقت نمونه‌های پرینت شده در سه محور X, Y, Z پرداختند. بیشترین عدم دقت در نمونه‌های پرینت شده با FDM دیده شد. در محور DLP, X, FDM انقباض و PJ, SLA, انبساط نمونه‌ها را نشان دادند. در محور Y, DLP, مقداری جمع شدگی و FDM مقداری انبساط به سمت جلو را نشان دادند. بطور کلی مطالعه نشان داد که FDM, DLP

است. بعنوان مثال محل رست ها از دقت پایبندی برخوردار بود.

محل قرارگیری صفحه پرینت

در مطالعه Sherman و همکارانش^(۳۲) جهت بررسی محل قرارگیری صفحه پرینت در دقت پرینت های DLP، تفاوت معنی داری در محل قرارگیری مرکزی یا در حاشیه پرینت نشان داده نشد.

فاکتورهای حین پرینت

زاویه پرینت

در مطالعه ای توسط Grymak و همکارانش^(۳۷) انجام شد، به بررسی تاثیر زاویه پرینت ۰ و ۴۵ درجه و ضخامت لایه پرینت ۵۰ میکرون و ۷۵ میکرون، ۱۰۰ میکرون در سه پرینتر DentaCAST، NextDenT، SuperCAST جهت پرینت فریم ورک دنچر پارسیل پرداختند. این مطالعه نشان داد که پرینت بازایه ۴۵ درجه بیشترین دقت را دارد.

در مطالعه ای که توسط Osman و همکاران^(۳۳) انجام شد، به بررسی زوایای مختلف پرینت تک کراون در پرینت های SM و DLP پرداختند. در این مطالعه زوایای پرینت ۹۰، ۱۳۵، ۱۲۰، ۱۵۰، ۲۱۰، ۱۸۰، ۲۷۰، ۲۴۰، ۲۲۵ درجه بررسی شدند. این مطالعه بیشترین دقت را در زاویه ۱۳۵ درجه و کمترین را در ۲۱۰ درجه نشان داد.

Ko و همکارانش^(۱۸)، به بررسی زوایای پرینت در دقت پرینت کست ماگزیلا پرداختند. این کست ها بازوایای ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه پرینت شدند. و در این فرآیند از پرینت های DLP استفاده شد. بین زاویه پرینت و دقت کست پرینت شده روابط معنی داری وجود داشت. زاویه ۰ درجه، کمترین دقت و زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه بالاترین دقت را داشتند.

و DLP+UV و DLP+UV+LED انجام شد. مدلی از جنس Peek تهیه و قالبگیری و مدلی گچی ساخته شد. به علاوه مدل اسکن و با سه روش نام برده پرینت شد. این مطالعه تفاوت معنی داری بین تغییرات ابعادی پروه های مختلف نشان داد. مدل پچی کمترین تغییر ابعادی را داشت و در میان گروه های پرینت، بیشترین دقت مربوط به DLP+UV+LED بود.

در مطالعه ای که توسط Dietrich و همکارانش^(۳۲) انجام شد، به بررسی دقت پرینت دو نوع پرینتر SLA و PJ در پرینت دنتیشن ماگزیلا پرداختند. این مطالعه دقت بالاتر پرینتر SLA و trueness بالاتر PJ را نشان داد.

یک مطالعه مروری توسط Tsolakis و همکارانش^(۸) در خصوص دقت استفاده از پرینترها در ارتودنسی انجام شد. این مطالعه نشان داد که اگرچه نوع پرینتر و فناوری آن، طراحی اپلاینس و مواد مورد رزینی استفاده در پرینت، دقت را تحت تاثیر قرار می دهد، اما تمامی نمونه های پرینت شده از نظر کلینیکی جهت درمان ارتودنسی قابل قبول می باشند.

شکل جسم

مطالعه ای توسط Ide و همکارانش^(۱۶) جهت بررسی اثر زاویه جسمی مثلثی تحت پرینت با یک زاویه ۵ درجه، ۱۰ درجه، ۲۰ درجه، ۳۰ درجه، ۴۵ درجه و ۶۰ درجه بر دقت پرینت های poly jet و fused deposition modeling طراحی شد. این مطالعه نشان داد که زوایای حاده دقت کمتری دارند. در مطالعه دیگری Sherman و همکارانش^(۳۲) جهت بررسی وجود حفره در جسم در دقت پرینت های DLP، تفاوت معنی داری در شکل جسم در دقت پرینت نشان داده نشد. مطالعه Tasaka و همکارانش^(۳۷)، جهت بررسی دقت پرینت فریم ورک پارسیل انجام شد. این مطالعه نشان داد که طرح مورد پرینت در دقت نتایج نهایی تاثیرگذار

ضخامت لایه ها

در مطالعه Grymak و همکارانش^(۳۷) بیشترین دقت در پرینتر DentaCAST، در ضخامت ۱۰۰ میکرون و در SuperCAST در ۵۰ میکرون و در NextDent در ۷۵ میکرون مشاهده شد.

Ko و همکارانش^(۳۸) به بررسی ضخامت لایه های پرینت در دقت پرینت کست ماگزیلا پرداختند. این کست ها با ضخامت ۲۰ میکرون، ۵۰ میکرون و ۱۰۰ میکرون پرینت شدند. و در این فرآیند از پرینترهای DLP استفاده شد. بین ضخامت لایه ها پرینت و دقت کست پرینت شده روابط معنی داری وجود داشت. ضخامت لایه ۲۰ میکرون و ۵۰ میکرون در صورت استفاده از زوایای پرینت مایل بالاترین دقت را داشتند.

در مطالعه ای که توسط Loflin و همکارانش^(۳۹) انجام شد، به بررسی ضخامت لایه ها (۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ میکرون) در پرینت مدل های ارتودنسی پرداختند. این مطالعه تمامی ضخامت ها را از نظر کلینیکی قابل قبول دانسته و ضخامت ۱۰۰ میکرون را به دلیل سریع تر شدن فرآیند پرینت توصیه نمود.

فاکتورهای پس از کیور شدن

پس از پایان فرآیند پرینت، کیورینگ نمونه پرینت شده در حفظ ویژگی های فیزیکی بسیار مهم است. در مطالعه ای که در سال ۲۰۲۴ توسط kim و همکارانش^(۳۷) انجام شد، به بررسی اثر لایت کیور مطبی LED و لایت کیور لابر اتواری (LCU) (light-curing unit) پرداختند. در این مطالعه دیسکی پرینت شده در دو ضخامت ۱ و ۲ میلیمتری تهیه شد. در یک سمت، دو بار، چهار بار، هشت بار و در دو سمت، یک بار، دو بار و چهار بار با هردو دستگاه کیور شدند. دیسک هایی که ۴ بار در هر دو سمت و یا ۸ بار در یک سمت کیور شدند، بیشترین دقت را داشتند. دیسک های

۱ میلیمتری سختی بیشتری بعد کیور داشتند. کیورینگ با LCU ها بصورت معنی داری نتایج بهتری را نشان دادند.

ترکیبات مواد

سایز ذرات پودر

مطالعه ای توسط edelmann و همکارانش^(۳۶)، جهت بررسی سختی فریم باری شکل همراه با اتچمنت انجام شد. این مطالعه به بررسی اثر دو نوع پودر فلزی با ذرات نرم و سخت در پرینتر SLM پرداخت. نتایج بصورت معنی داری سختی بیشتری در پرینت با پودرهای سخت را نشان داد.

نوع رزین

Al-Qarni و همکارانش^(۲۵)، به بررسی سه نوع رزین DentaBASE (ASIGA) Denture Base Resin LP (Formlabs) و Denture 3D+ (NextDent) پرداختند. این مطالعه بیشترین خطا در عرض را با رزین Formlabs و بیشترین خطا در ضخامت را با رزین NextDent نشان داد. با این حال مطالعه ای که توسط Yoo و همکارانش^(۲۵) انجام شده بود، بیشترین دقت را به رزین NextDent مربوط میدانست.^(۳۵) بطور کلی نوع مواد مورد استفاده در دقت پرینت بسیار تاثیرگذار است.

فاکتورهای پس از پرینت

نحوه نگهداری از پرینت ها

مطالعه ای توسط Hazem و همکارانش^(۳۶) جهت بررسی تاثیر شرایط نگهداری پرینت ها در دقت و ثبات ابعادی نمونه های پرینت شده طراحی شد. در این مطالعه از ۴ پرینتر DLP و Asiga MAX و material jetting (MJ) و ProJet 3510 DPP Pro استفاده شد. با کمک هر پرینتر ۲۰ نمونه پرینت تهیه شد. نمونه ها بعد یک روز و سه ماه بررسی شد. نمونه ها در شرایط نور محیطی و جعبه تاریک نگهداری و مقایسه شدند. این مطالعه دقت بالاتر نمونه های پرینت

پرداختند. در این مطالعه نمونه ها بعد ۳ هفته، و ۶ ماه و ۱ سال از نظر ثبات ابعادی بررسی شدند. هرچه مدت نگهداری طولانی تر شود، بر ثبات ابعادی اثر دارد.

استفاده از لیزر و فرابنفش پس از پرینت در مطالعه ای که توسط lin و همکارانش^(۲۸)، انجام شد، نمونه های پرینت شده رزینی با لامپ UV در تماس بسیار نزدیک مجدداً تحت کیور قرار گرفت. این مطالعه نشان داد استفاده از اشعه فرابنفش موجب ثبات ابعادی و رنگی پرینت ها میشود.

استفاده از مواد ضد عفونی کننده مطالعه ای توسط fotovat و همکارانش^(۲۴)، به جهت بررسی تاثیر مواد ضد عفونی مختلف سدیم هیپوکلریت ۰٫۵٪، کلرهگزایدن ۲٪، هیدروژن پروکساید ۱٪ بر سختی سطحی و ثبات رنگی بیس های رزینی پرینت شده و Heat-cure پرداختند. این مطالعه بیشترین تغییرات در گروه پرینت را به هیپوکلریت و کمترین را به کلرهگزایدن نسبت داد. در حالیکه در گروه Heat-cure نتایج برعکس بود. با توجه به بررسی های انجام شده در این مطالعه مروری، عوامل متعددی در یک پرینت دقیق و ثبات ابعادی دخیل هستند. تمامی عوامل موثر در دقت پرینت در جدول ۲ بصورت خلاصه بیان شده اند.

شده با DLPI را نشان داد. بعلاوه نمونه هایی که سه ماه در معرض نور قرار داشتند، تغییرات رنگ نشان دادند.

مطالعه ای توسط Alshabani و همکارانش^(۱۵)، در مورد تاثیر شرایط نگهداری بر ثبات ابعادی نمونه ها پرینت شده صورت گرفت، نمونه ها در شرایط دمای سرد ۴ درجه، خشک و گرم ۵۰ درجه، دمای اتاق ۲۵ درجه برای ۱ هفته، ۲ هفته، ۳ هفته، ۴ هفته و ۸ هفته بررسی شدند. نمونه هایی که در دمای ۵۰ درجه برای طولانی مدت نگهداری می شدند، بیشترین تغییر ابعادی را داشتند.

مطالعه ای توسط Revilla-leon و همکارانش^(۳۸)، با هدف بررسی تاثیر رطوبت محیط نگهداری بر ثبات ابعادی، تاثیر زاویه پرینت ۰، ۴۵، ۷۰ و ۹۰ درجه بر دقت پرینت و مدت نگهداری ۰ روز، ۳۰ روز، ۶۰ روز و ۹۰ روز روی نمونه های پرینت شده انجام شد. در این مطالعه با کمک پرینتر های SLM، نمونه تهیه و سپس ۱۶ ساعت در ظرف شفاف خشک و ۸ ساعت در بزاقت مصنوعی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که زمان نگهداری و زاویه پرینت تفاوت معنی داری داشتند. بهترین دقت در زاویه ۰ پرینت و مدت نگهداری ۰ درجه بود. بین زوایای مختلف پرینت و مدت زمان نگهداری تفاوت معنی داری نبود.

مدت زمان نگهداری

در مطالعه ای که توسط Sabbah و همکارانش^(۳۴) انجام شد به بررسی مدت زمان نگهداری نمونه پرینت شده

جدول ۲: فاکتورهای موثر در دقت نمونه های پرینت شده

دسته بندی	عوامل	تائیرات
فاکتورهای پرینت	قبل نوع پرینتر شکل جسم	• جهت پرینت مدلهای ارتودنسی پرینترها از نظر کلینیکی قابل قبول اند. • پرینترهای DLP از دقت بالاتری برخوردار هستند.

<ul style="list-style-type: none"> • پرینترهای FDM کمترین دقت را دارند و بیشتر دچار بزرگنمایی در بعد باکولینگوال و مزبودیستال هستند. • شکلی با زوایای حاده دقت پرینت را کاهش می دهد. • محل قرارگیری صفحه پرینت در حاشیه یا وسط تاثیری بر دقت پرینت ندارد. 	<p>محل قرارگیری صفحه پرینت</p>
<ul style="list-style-type: none"> • زوایای مایل بهترین دقت را نشان می دهند. (بین ۳۰ تا ۶۰ درجه) • کمترین دقت پرینت در زاویه ۰ درجه است. 	<p>فاکتور حین پرینت زاویه پرینت</p>
<ul style="list-style-type: none"> • بعضی مطالعات ضخامت کمتر لایه (۲۰ میکرون) را در دقت موثر می دانند. • ضخامت ۱۰۰ میکرون سرعت پرینت را افزایش می دهد. • کیورینگ بیشتر بعد پرینت، ثبات ابعادی و رنگ را افزایش می دهد. 	<p>ضخامت لایه ها</p> <hr/> <p>Post curing</p>
<ul style="list-style-type: none"> • هرچه سایز ذرات پودری ریزتر باشد، سختی سطحی و دقت پرینت ها افزایش می یابد. • نوع رزین مورد استفاده در دقت پرینت موثر است. 	<p>فاکتورهای مرتبط با</p> <hr/> <p>سایز ذرات پودری</p> <hr/> <p>ترکیبات مواد</p> <hr/> <p>نوع رزین</p>
<ul style="list-style-type: none"> • نگهداری در محیط خشک، ثبات ابعادی پرینت ها را افزایش می دهد. • محیط گرم ۵۰ درجه، ثبات ابعادی و رنگ نمونه هارا کاهش می دهد. • نگهداری طولانی مدت نمونه ها ثبات ابعادی را کاهش می دهد. • استفاده از فرابنفش موجب حفظ ثبات رنگ در طولانی مدت میشود. • مواد ضدعفونی کننده مانند هیپوکلریت سدیم بدترین اثر را بر ثبات ابعادی نمونه های پرینت شده دارد. 	<p>فاکتورهای پس از</p> <hr/> <p>نحوه نگهداری از پرینت ها</p> <hr/> <p>مدت زمان نگهداری</p> <hr/> <p>استفاده از لیزر و فرابنفش پس از</p> <hr/> <p>پرینت</p> <hr/> <p>استفاده از مواد ضد عفونی کننده</p>

نتیجه گیری:

مورد استفاده در اسکنرهای پودری، نوع رزین مورد استفاده در پرینترها، مدت زمان نگهداری پرینت ها، شرایط نگهداری نمونه های پرینت شده از نظر نور محیطی و رطوبت و دما و استفاده از ضدعفونی کننده ها در پرینت فاکتورهایی که در دقت پرینت نمونه ها تاثیر ندارند عبارتند از: محل قرارگیری صفحه پرینت توپر و توخالی بودن نمونه

بر اساس یافته های حاصل از این مرور نظام مند، فاکتورهای متعددی در دقت پرینت نمونه ها تاثیر دارد که آگاهی از آنان کیفیت پرینت را افزایش می دهد این عوامل عبارتند از: نوع پرینتر مورد استفاده، زاویه پرینت، ضخامت لایه های پرینت، فرآیند کیورینگ بعد پرینت، سایز پودر

دقت و تاثیر مواد ضدعفونی کننده و شرایط نگهداری نمونه‌ها بررسی هایی انجام دهند.

تشکر و قدردانی:

از تمام افرادی که در انجام این مطالعه ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی می کنیم

تضاد منافع:

هیچ تضاد منافی وجود ندارند.

پیشرفت های تکنولوژی موجب جایگزینی روشهای قدیمی با روشهای نوین شده است و آگاهی از این روشهای نوین ضروری است.

با توجه به جدید بودن بحث پرینترها و کم بودن مطالعات در این زمینه، این مطالعه با محدودیت هایی مواجه بود. از جمله محدودیت هایی که در این بررسی وجود داشت، میتوان به کم بودن مطالعات در برخی زمینه ها مانند تاثیر شکل و یا مواد ضدعفونی کننده بر دقت نمونه های پرینت شده اشاره کرد. پیشنهاد میشود پژوهشگرانی که به مطالعه در زمینه پرینترها علاقمند هستند، در شاخه هایی که کمتر مطالعه انجام شده مانند تاثیر شکل جسم پرینت شده در

منابع

1. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. *J Dent* 2015;16:1.
2. Noguera R, Lejeune M, Chartier T. 3D fine scale ceramic components formed by ink-jet prototyping process. *Europ Ceramic Society* 2005;25:2055-9.
3. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont* 2017;26:156-63.
4. Turner BN, Strong R, Gold SA. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid prototyping Journal* 2014;20:192-204.
5. Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning* 2021;2021:9950131.
6. Ranjan R, Kumar D, Kundu M, Chandra Moi S. A critical review on Classification of materials used in 3D printing process. *Materials Today: Proceedings* 2022;61:9-43.
7. Tsolakis IA, Papaioannou W, Papadopoulou E, Dalampira M, Tsolakis AI. Comparison in Terms of Accuracy between DLP and LCD Printing Technology for Dental Model Printing. *Dent J* 2022;10(10):181.
8. Tsolakis IA, Gizani S, Panayi N, Antonopoulos G, Tsolakis AI. Three-dimensional printing technology in orthodontics for dental models: A systematic review. *Children* 2022;9:1106.
9. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry—State of the art. *Oper Dent* 2020;45:30-40.
10. Meisel NA. Design for additive manufacturing considerations for self-actuating compliant mechanisms created via multi-material PolyJet 3D printing. Virginia Polytechnic Institute and State University 2015.
11. Pradhan SR, Singh R, Banwait SS. On 3D printing of dental crowns with direct metal laser sintering for canine. *J Mech Sci Technol* 2022;36:4197-203.
12. Uçak N, Çiçek A, Aslantas K. Machinability of 3D printed metallic materials fabricated by selective laser melting and electron beam melting: A review. *Manufact Process* 2022;80:414-57.
13. Chen Z, Li Z, Li J, Liu C, Lao C, Fu Y, et al. 3D printing of ceramics: A review. *J Eur Ceram Soc* 2019;39:661-87.

14. Shayegh SS, Hakimaneh SMR, Derakhshi H. Three-Dimensional Printers and Their Application in Dental Prostheses. *J Mashad Dent Sch* 2022;46:112-34.
15. Alshaibani RM, Fan Y, Giordano R. Effect of different storage conditions on dimensional accuracy of 3D-printed dental models. *J Prosthodont* 2024.
16. Ide Y, Nayar S, Logan H, Gallagher B, Wolfaardt J. The effect of the angle of acuteness of additive manufactured models and the direction of printing on the dimensional fidelity: clinical implications. *Odontol* 2017;105:108-15.
17. Kim RJY, Kim D-H, Seo D-G. Post-polymerization of three-dimensional printing resin using a dental light curing unit. *J Dent Sc* 2024;19:945-51.
18. Ko J, Bloomstein RD, Briss D, Holland JN, Morsy HM, Kasper FK, et al. Effect of build angle and layer height on the accuracy of 3-dimensional printed dental models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2021;160:451-8. e2.
19. Espinar C, Della Bona A, Pérez MM, Tejada-Casado M, Pulgar R. The influence of printing angle on color and translucency of 3D printed resins for dental restorations. *Dental Mater* 2023;39:410-7.
20. Li P, Lambart A-L, Stawarczyk B, Reymus M, Spintzyk S. Postpolymerization of a 3D-printed denture base polymer: Impact of post-curing methods on surface characteristics, flexural strength, and cytotoxicity. *J Dent* 2021;115:103856.
21. Brown GB, Currier GF, Kadioglu O, Kierl JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2018;154:733-9.
22. Dietrich CA, Ender A, Baumgartner S, Mehl A. A validation study of reconstructed rapid prototyping models produced by two technologies. *Angle Orthod* 2017;87:782-7.
23. Dostalova T, Kasparova M, Kriz P, Halamova S, Jelinek M, Bradna P, et al. Intraoral scanner and stereographic 3D print in dentistry—Quality and accuracy of model—New laser application in clinical practice. *Laser Phys* 2018;28:125602.
24. Fotovat F, Abassi S, Nikanjam S, Alafchi B, Baghiat M. Effects of various disinfectants on surface roughness and color stability of thermoset and 3D-printed acrylic resin. *Eur J Transl Myol* 2024;34.
25. al-Qarni FD, Gad MM. Printing Accuracy and Flexural Properties of Different 3D-Printed Denture Base Resins. *Materials* 2022;15:2410.
26. Edelmann A, Riedel L, Hellmann R. Realization of a dental framework by 3D printing in material cobalt-chromium with superior precision and fitting accuracy. *Materials* 2020;13:5390.
27. Grymak A, Badarneh A, Ma S, Choi JJE. Effect of various printing parameters on the accuracy (trueness and precision) of 3D-printed partial denture framework. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2023;140:105688.
28. Lin C-H, Lin Y-M, Lai Y-L, Lee S-Y. Mechanical properties, accuracy, and cytotoxicity of UV-polymerized 3D printing resins composed of Bis-EMA, UDMA, and TEGDMA. *J Prosthet Dent* 2020;123:349-54.
29. Loflin WA, English JD, Borders C, Harris LM, Moon A, Holland JN, et al. Effect of print layer height on the assessment of 3D-printed models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2019;156:9-283.
30. Park J-M, Jeon J, Koak J-Y, Kim S-K, Heo S-J. Dimensional accuracy and surface characteristics of 3D-printed dental casts. *J Prosthet Dent* 2021;126:427-37.
31. Park M-E, Shin S-Y. Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *J Prosthet Dent* 2018; 119(5):861-e1.
32. Sherman SL, Kadioglu O, Currier GF, Kierl JP, Li J. Accuracy of digital light processing printing of 3-dimensional dental models. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2020;157:422-8.
33. Osman RB, Alharbi N, Wismeijer D. Build angle: does it influence the accuracy of 3D-printed dental restorations using digital light-processing technology? *Int Prosthodontics* 2017;30.
34. Sabbah A, Romanos G, Delgado-Ruiz R. Impact of layer thickness and storage time on the properties of 3D-printed dental dies. *Materials* 2021;14:509.

- 35.** Yoo S-Y, Kim S-K, Heo S-J, Koak J-Y, Kim J-G. Dimensional Accuracy of Dental Models for Three-Unit Prostheses Fabricated by Various 3D Printing Technologies. *Materials* 2021;14:1550.
- 36.** Yousef H, Harris BT, Elathamna EN, Morton D, Lin W-S. Effect of additive manufacturing process and storage condition on the dimensional accuracy and stability of 3D-printed dental casts. *J Prosthet Dent* 2022;128(5):1041-6.
- 37.** Tasaka A, Shimizu T, Kato Y, Okano H, Ida Y, Higuchi S, et al. Accuracy of removable partial denture framework fabricated by casting with a 3D printed pattern and selective laser sintering. *J Prosthodont Res* 2020;64(2):224-30.
- 38.** Revilla-León M, Cascos-Sánchez R, Zeitler JM, Barmak AB, Kois JC, Gómez-Polo M. Influence of print orientation and wet-dry storage time on the intaglio accuracy of additively manufactured occlusal devices. *J Prosthet Dent* 2024 ;131(6):1226-34.