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

Seyed Shojaedin Shayegh[1], **Maryam Jahangiri**[2*]

[1]*Professor, Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Shahed University,Tehran, Iran*
[2]*Postgraduate 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/jmds.2024.24666***

Copyright © 2023 Mashhad University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.en

فاکتورهای موثر در دقت پرینترها در دندانپزشکی: مرور سیستماتیک

سید شجاع الدین شایق[۱]، مریم جهانگیری[۲]*

[۱]استاد، گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
[۲]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 پرینترها، 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 پرینترهای دندانپزشکی می پردازیم.

مواد و روشها:ما در پایگاه های اطلاعاتی ,Google, scholar, Scopus, Springer Link, Science Direct, PubMed و Wiley از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴به 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.

نتیجه گیری:فاکتورهای مختلفی در دقت پرینترها تاثیر دارند.آگاهی از این فاکتورهای موثر موجب افزایش دقت،ثبات ایعادی وثبات رنگ نمونه های پرینت شده می شود. این فاکتورها در چهار دسته کلی نوع پرینتر، 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 پرینت ها تاثیرگذار است.در مورد ترکیبات مواد، پودر مورد استفاده در پرینترهای برپایه پودر و نوع رزین در پرینترهای 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 پرینترهای سه بعدی.

مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۴۰۳ / دوره ۴۸ / شماره۳:۳۹-۸۲۰.

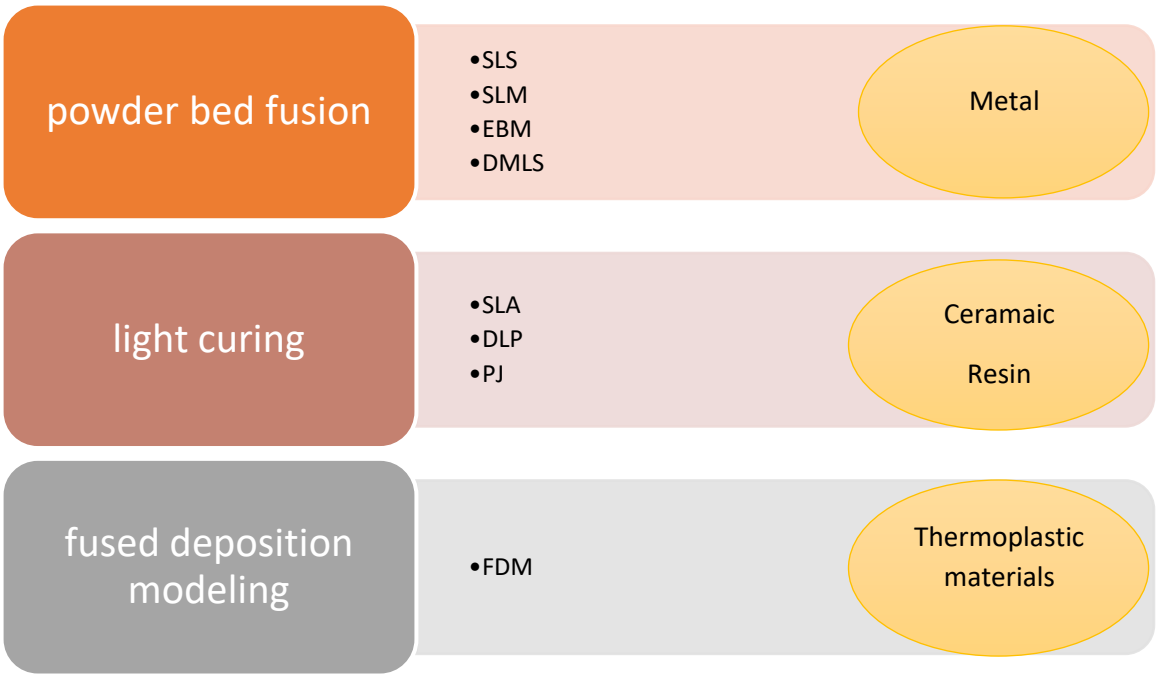
مقدمه:

تکنولوژی پرینت سه بعدی(3D printing) فرآیند ساخت لایه به لایه است که با نام های فرآیند افزایشی (additive manufacturing,AM) نیز شناخته میشود.[۱]در مقالات متعدد از پرینت سه بعدی با نام های Generative process ، Rapid prototyping نیز نام برده می شود.[۲] انجمن تست مواد آمریکاپرینت 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.[٤]

اولین نمونه پرینترها، انواع استریولیتوگرافی(SLA) بود که در سال ۱۹۸٦ توسط دکتر Hull معرفی شد.[٥،٦]در سال ۱۹۹۰، Scott Crumpپرینترهای fused deposition Modeling (FDM) را معرفی کرد.[۷]در حال حاضر انواع مختلفی از پرینترها با فناوری های متعدد در دسترس است.[۷]پرکاربرد ترین فناوری های پرینت در دندانپزشکی(SLA, Stereolithography) و Direct Light) (Processing DLPو LCD (Liquid Crystal Display) هستند. این پرینترهای پرکاربرد دندانپزشکی براساس فناوری پلیمریزاسیون (Vat polymerization) و با کمک

رزین مایع و کیورینگ با نور عمل می‌کنند.[۸،۹] علت محبوبیت این پرینترها در دندانپزشکی، دقت بالا و استحکام آنان است.[۹]گرچه پرینترها سرعت کار را افزایش می‌دهند، اما هنوز دقت بالایی ندارند.با این وجود، پیشرفت روزافزون فناوری پرینترها موجب تولید پرینترهایی با دقت بالاتر نسبت به نمونه های اولیه شده است.[٤]

پرینترها 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 پرینترها در شکل ۱ نشان داده شده است

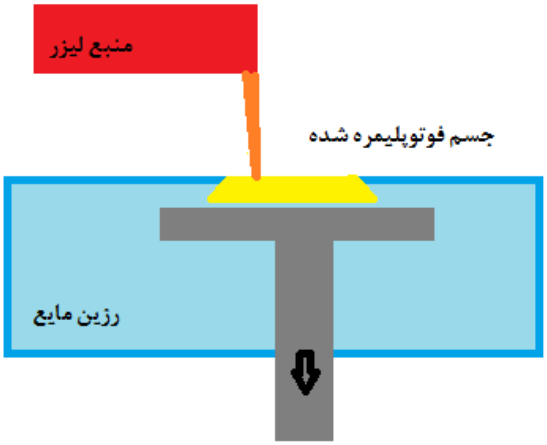


شکل۱:طبقه بندی پرینترها[۵]

در ادامه به توضیحی اجمالی در مورد نحوه ی کار هرکدام از پرینترها 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 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]

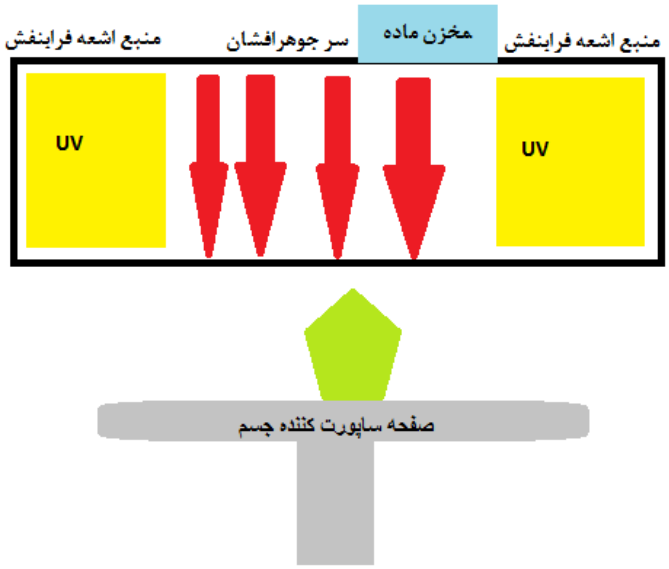


شکل ۲:تصویر شماتیک تکنیک استریولیتوگرافی

Polyjet

در این تکنیک (شکل۳) ذرات پروپیلن ویا پلاستیکی بصورت جوهرافشان بر سطح صفحه ساپورت کننده پرینت میشوند و بلافاصله با منبع نوری فرابنفش کیور می‌شوند[۱۰]

دومین تکنیک پرکاربرد پرینت در دندانپزشکی،DLP است.[۹]در این روش یک میکرو آینه دیجیتال وجود

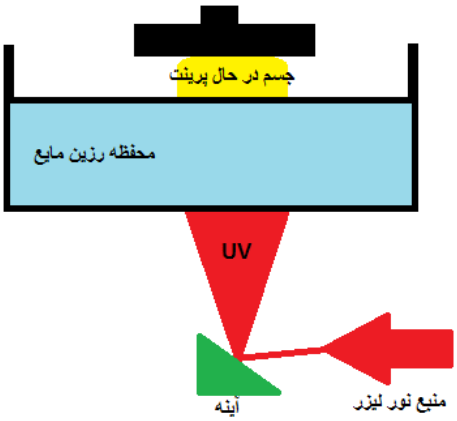


شکل۳: تصویر شماتیک تکنیکpolyjet

دارد(شکل٤) که نور را از منبع به سطح در حال پرینت منعکس میکند.دقت پرینت به تعداد آینه ها وابسته

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

آینه‌هاست.این روش می‌تواند در صورتی که نور بازتابی زیاد شود،دقت بالایی داشته باشد.[۹]

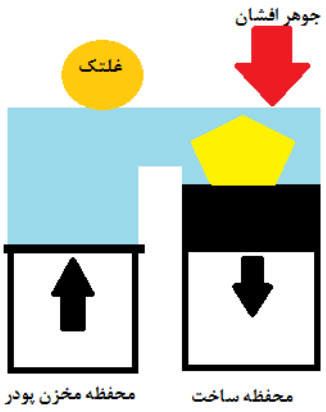


شکل ٤: تصویر شماتیک تکنیک **Digital Light Process (DLP)**

روشهای فیوژن بستر پودری (powder bed fusion)

- Multi Jet Fusion (MJF)

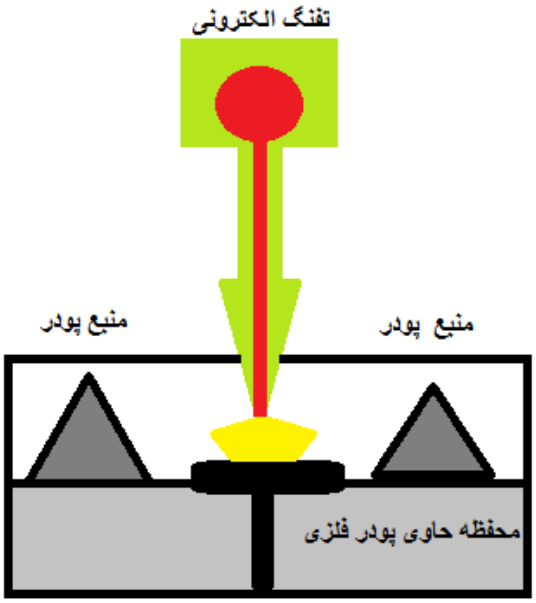
در این روش دو محفظه حاوی پودر مرتبط به هم وجود دارد که مقدار پودر با کمک دو پیستون تنظیم می شود.یک غلتک جهت توزیع پودر بین دو محفظه دائما در حال حرکت است.(شکل۵) طبق الگویی که به پرینتر داده می‌شود، سر جوهر افشان یک چسب مایع را بر روی پودر می‌پاشد و الگو بصورت لایه به لایه تولید میشود.پس از پرینت هر لایه پیستونها حرکت می کنند . لایه پودری جدید در معرض سر جوهرافشان قرار میگیرد.[۱]



شکل۵: تصویر شماتیک تکنیک Multi Jet Fusion

- Electron Beam Melting (EBM)

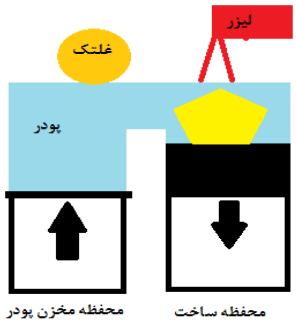
این پرینترها جهت پرینت فلزی با جریان پرانرژی الکترون عمل میکنند.(شکل ٦)در این روش به جای لیزر از انرژی جریان الکترون استفاده میشود.[۱۲]



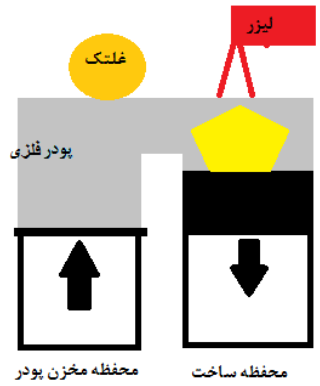
شکل٦: تصویر شماتیک تکنیک**Electron Beam Melting (EBM)**

- 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 می‌کند.(شکل۷) این روش در پرینت انواع فلزات، سرامیک‌ها، موم‌ها،کامپوزیت‌ها و مواد ترموپلاستیک کاربرد دارد و در نتیجه در دندانپزشکی بسیار پرکاربرد است.[۱]



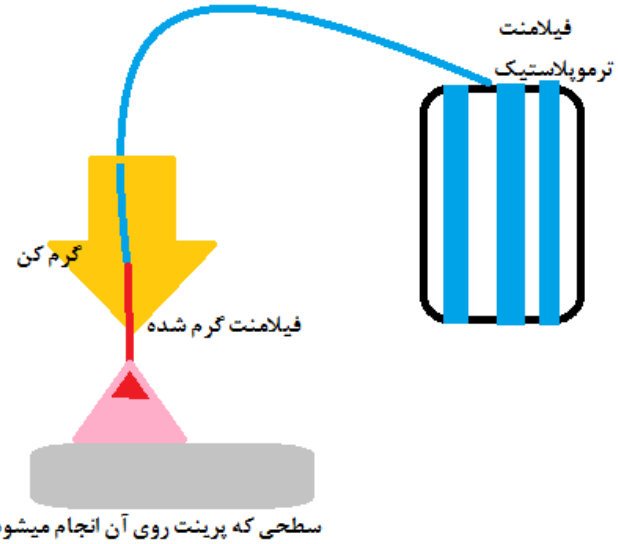
شکل۷: تصویر شماتیک تکنیک فیوژن بستر پودری SLS



شکل۸:تصویر شماتیک تکنیک فیوژن بستر پودری Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Fused Deposition Modeling (FDM)

مدل سازی رسوب ذوب شده یا Fused Deposition Modeling (FDM) روشی است (شکل۹) که در آن فیلامنت ترموپلاستیک وارد سر گرم کن دستگاه می شود،سپس تا دمای ذوب گرم شده و براساس طرح موردنظر،لایه به لایه پرینت انجام می‌شود.[۱]



شکل۹: تصویر شماتیک تکنیک **Fused Deposition Modeling (FDM)**

(DMLS) Direct Metal Laser Sintering

این پرینتر (شکل۸) جهت پرینت انواع فلزات استفاده می شود.روش کار دقیقا مانند SLS است.با این تفاوت که پودر فلز با قطر ۲۰ میکرون، بدون هیچگونه بایندر استفاده میشود.مطابق الگویی که به پرینتر داده میشود،جسم

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.[۱، ۵] 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 SLA، PJ و DLPدر پرینتهای سرامیکی کاربرد دارد.[۵]پرینترهای SLM، SLS، EBM و DMLS در پرینت فلزی کاربرد دارند.[۵]پرینترهای SLA، PJ وDLP در پرینتهای رزینی کاربرد دارد.[۵]پرینترهای Fused deposition modeling در پرینت مواد ترموپلاستیک و کامپوزیتی استفاده می‌شوند.[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 ،دنچر های 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 کرانیوفیشیال در ساخت گایدها، اسپلینت‌ها، ایمپلنتهای کرانیوفیشیال 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 می‌پردازیم.

مواد روش کار:

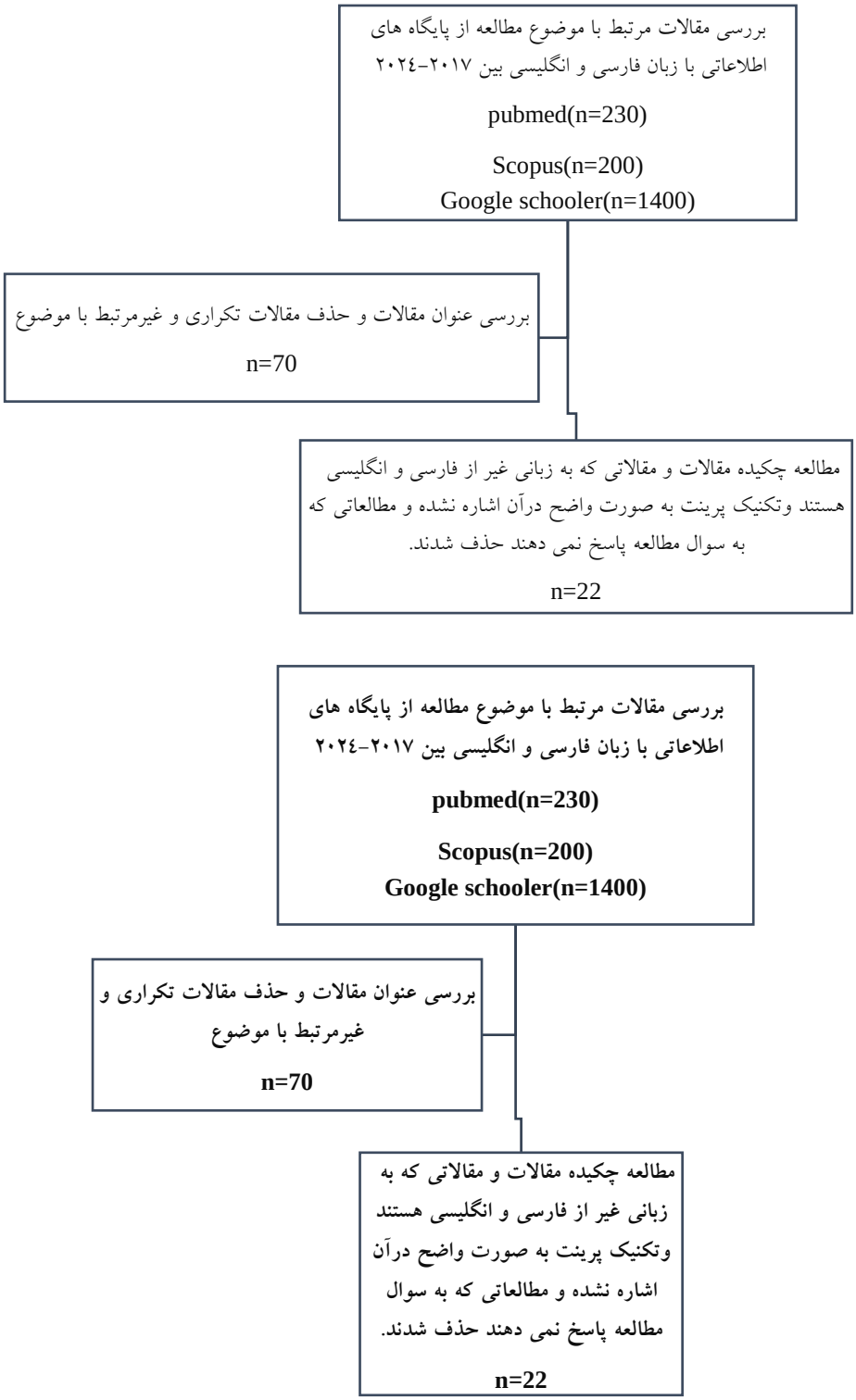
این بررسی سیستماتیک مطابق با گایدلاین PRISMA سؤال PICO بدین صورت فرموله شد: در نمونه های پرینت شده (P)، آیا فاکتورهای متعدد (I)در مقایسه با سایر نمونه های پرینت شده (C) در افزایش دقت نمونه ها (O) موثر هستند؟

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. معیار های 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 واژه‌های "3D printer" OR stereolithographic" OR "digital dentistry" OR "CAD/CAM" "Accuracy" " ANDانجام 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، چکیده۷۰مقاله مطالعه شد، مقالات گزارش مورد و مقالاتی که با سوال PICO مرتبط نبودند، از مطالعه کنار گذاشته شدند و از این تعداد، متن کامل۲۲مقاله مطابق با معیارهای ورود، وارد مطالعه شد.[۱۵-۳۶] اطلاعات خارج شده از مطالعات در جدول شماره ۱ (نمودار ۱)بطور خلاصه بیان شده است.

نمودار ۱. استراتژی جستجو



جدول۱: توصیف مقالات وارد شده به مطالعه

طبقه بندی	فاکتور موثر در دقت پرینترها	سال	محققین	نوع پرینترها	کاربرد	نتایج
قبل پرینت	نوع پرینتر ها	۲۰۲۱	Park et al.	DLP FDM Poly jet SLA	کست ماگزیلا	FDM, DLP تمایل به انبساط باکولینگوالی و قدامی خلفی دارند،اگرچه تغییرات در بعد عمودی زیاد نیست.
		۲۰۱۸	Brown et al.	DLP PJ	کست ماگزیلا	دقت پرینتر ها را با کست مقایسه و بیان کرد که از نظر کلینیکی قابل قبول است.
		۲۰۱۸	Park et al.	DLP PJ	مدل دای دندانی از جنس peek	بهترین دقت در روش معمول تهیه دای بود.با این وجود بین انواع مختلف پرینترها مورد استفاده تفاوت وجود داشت و استفاده از UV وDLP دقت بالاتری از سایر پرینترها داشت.
		۲۰۱۷	Dietrich et al.	SLA PJ	کست ماگزیلا	این مطالعه دقت بالاتر پرینتر 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.
	شکل جسم	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.
	محل قرارگیری صفحه پرینت	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 پرینترها	سال	محققین	نوع پرینترها	کاربرد	نتایج

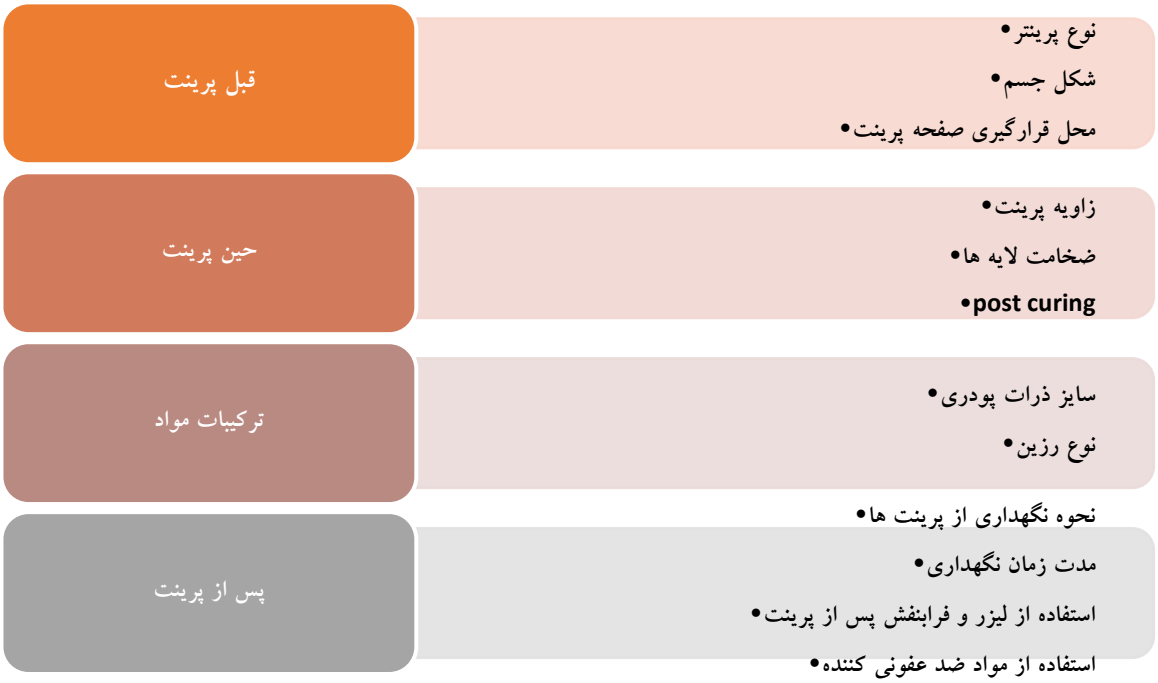
حین پرینت	زاویه پرینت	۲۰۲۳	Gyrmak et al.	DentaCAST NextDent SuperCAST	فریم ورک پارسیل	پرینت بازاویه ٤٥ درجه بیشترین دقت را نشان داد.
		۲۰۱۷	Osman et al.	DLP SM	تک کراون فول کانتور	این مطالعه بیشترین دقت را در زاویه ۱۳۵ درجه و کمترین را در ۲۱۰ درجه نشان داد.
		۲۰۲۱	KO et al.	DLP	کست ماگزیلا	کمترین دقت 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 پرینتر DentaCAST در ضخامت ۱۰۰ میکرون و در SuperCAST در ۵۰ میکرون و در NextDent در ۷۵ میکرون است.
		۲۰۲۱	KO et al.	DLP	کست ماگزیلا	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	۲۰۲٤	Kim et al.	3D printer (Zenith L2; Dentis, Daegu, Korea)	دیسک های ۱ و ۲ میلیمتری	دیسک هایی که ٤ بار در هردوسمت 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 پرینترها	سال	محققین	نوع پرینتر	کاربرد	نتایج
ترکیبات مواد	سایز ذرات پودر	۲۰۲۰	Edelmann et al.	SLM 50 (Realizer)	ساخت بار همراه با 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 دقت پرینترها	سال	محققین	نوع پرینتر	کاربرد	نتایج
پس از پرینت	**نحوه نگهداری از پرینت ها**	**۲۰۲۴**	Alshaibani et al.	-	**کست ماگزیلا و مندیبل 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 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 (DLP) 3D printer (Asiga MAX) and material jetting (MJ) 3D printer (ProJet 3510 DPPro)	**پرینت ماگزیلا**	**این مطالعه دقت بالاتر نمونه های پرینت شده باDLP 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 ظولانی تر شود،ثبات ابعادی کاهش می یابد.**
	استفاده از لیزر و فرابنفش پس از پرینت	**۲۰۲۰**	Lin et al.	DLP	**فک بالا**	**استفاده از اشعه فرابنفش موجب ثبات ابعادی و رنگی پرینت ها میشود.**
	استفاده از مواد ضد عفونی کننده	**۲۰۲۴**	fotovat et al.	Asiga	**دیسک رزینی پرینت شده**	**بیشترین تغییرات در گروه پرینت را به هیپوکلریت و کمترین را به کلرهگزدین نسبت داد.درحالیکه در گروه Heat-cure نتایج برعکس بود**

بحث:

بطور کلی فاکنورهای موثر در دقت پرینترها در چهار دسته نوع پرینتر، فاکتورهای موثر در حین پروسه پرینت ، مواد و ترکیبات مورد استفاده و فرآیندهای بعد از پرینت تقسیم میشود.[۵]در نمودار ۲ فاکتورهای موثر در دقت پرینت ذکر شده است.

نمودار۲:فاکتورهای موثر در دقت پرینترها



قبل پرینت

نوع پرینتر

در مطالعه ای که توسط Park و همکارانش[۳۰] انجام شد،به بررسی انواع پرینترهای PJ,FDM,SLA, DLP در دقت نمونه‌های پرینت شده در سه محور X ,Y,Z پرداختند.بیشترین عدم دقت در نمونه های پرینت شده با FDM دیده شد.در محور X،DLP, FDM انقباض و PJ SLA, انبساط نمونه ها را نشان دادند.در محور Y، DLP مقداری جمع شدگی و FDM مقداری انبساط به سمت جلو را نشان دادند.بطورکلی مطالعه نشان داد که FDM,DLP تمایل به انبساط باکولینگوالی و قدامی خلفی دارند،اگرچه تغییرات در بعد عمودی زیاد نیست.

مطالعه‌ای توسط Brown و همکارانش[۲۱]،جهت مقایسه دقت پرینترهای DLP و PJ و کست تهیه شده از قالب آلژیناتی انجام شد.این مطالعه دقت پرینتر ها را با کست مقایسه و بیان کرد که از نظر کلینیکی قابل قبول است.

در مطالعه ای که توسط Park و همکارانش[۳۱]به جهت بررسی دقت روش معمول قالبگیری و تهیه کست و پرینترPJ

وDLP+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 ها ی پرینت،بیشترین دقت مربوط به DLP+UV+LED بود.

در مطالعه ای که توسط Dietrich و همکارانش[۲۲] 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 پرینترهای poly jetو 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 پرینترهای DLP ،تفاوت معنی داری در شکل جسم در دقت پرینت نشان داده نشد. مطالعه Tasaka وهمکارانش[۳۷]، جهت بررسی دقت پرینت فریم ورک پارسیل انجام شد.این مطالعه نشان داد کهطرح مورد پرینت در دقت نتایج نهایی تاثیرگذار است. بعنوان مثال محل رست ها از دقت پایینتری برخوردار بود.

محل قرارگیری صفحه پرینت

در مطالعه Sherman و همکارانش[۳۲] جهت بررسی محل قرارگیری صفحه پرینت در دقت پرینترهای DLP ،تفاوت معنی داری در محل قراگیری مرکزی یا در حاشیه پرینتر نشان‌داده نشد.

فاکتورهای حین پرینت

زاویه پرینت

در مطالعه ای توسط Grymak و همکارانش[۲۷]، 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 بازاویه 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 پرینترهای SM و DLP پرداختند.در این مطالعه زوایای پرینت ۹۰ ، ۱۳۵،۱۲۰ ، ۱۵۰ ، ۱۸۰،۲۱۰ ، ۲۷۰،۲۴۰،۲۲۵درجه 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 پرینترهای 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.

ضخامت لایه ها

در مطالعه Grymak و همکارانش [۲۷] بیشترین دقت در پرینتر DentaCAST، در ضخامت ۱۰۰ میکرون و در SuperCAST در ۵۰ میکرون و در NextDentدر ۷۵ میکرون مشاهده شد.

Ko و همکارانش[۱۸]، به بررسی ضخامت لایه های پرینت در دقت پرینت کست ماگزیلا پرداختند.این کست ها با ضخامت۲۰ 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 Loflinو همکارانش[۲۹] انجام شد،به بررسی ضخامت لایه ها(۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ میکرون)در پرینت مدلهای 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 کیورشدن

پس از پایان فرآیند پرینت، کیورینگ نمونه پرینت شده در حفظ ویژگی های فیزیکی بسیار مهم است.در مطالعه ای که در سال ۲۰۲٤ توسط kim و همکارانش[۱۷]، انجام شد، به بررسی اثر لایت کیور مطبیLED و لایت کیور لابراتواریLCU(light-curing unit) پرداختند.در این مطالعه دیسکی پرینت شده در دو ضخامت ۱ و ۲ میلیمتری تهیه شد. در یک سمت ،دوبار ،چهار بار، هشت بار و در دوسمت،یک بار،دوبار و چهار بار با هردو دستگاه کیور شدند. دیسک هایی که ٤ بار در هردوسمت 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

مطالعه‌ای توسط edelmann و همکارانش[۲٦]، جهت بررسی سختی فریم باری شکل همراه با اتچمنت انجام شد.این مطالعه به بررسی اثر دو نوع پودر فلزی با ذرات نرم وسخت در پرینترSLM 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[۳٦] جهت بررسی تاثیر شرایط نگهداری پرینت ها در دقت و ثبات ابعادی نمونه های پرینت شده طراحی شد.در این مطالعه از ٤ پرینترDLP و Asiga MAX و (MJ) material jetting و ProJet 3510 DPPro 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

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

مطالعه ای توسط Alshaibani و همکارانش[۱۵]، در مورد تاثیر شرایط نگهداری بر ثبات ابعادی نمونه ها پرینت شده صورت گرفت، نمونه‌ها در شرایط دمای سرد ٤ درجه،خشک و گرم ۵۰ درجه،دمای اتاق ۲۵ درجه برای ۱ هفته،۲ هفته،۳ هفته،٤ 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 ، ٤۵ ،۷۰ و ۹۰ درجه بر دقت پرینت و مدت نگهداری ۰ روز ، ۳۰ روز ،٦۰ روز و ۹۰ روز روی نمونه های پرینت شده انجام شد.در این مطالعه با کمک پرینتر های SLM، نمونه تهیه و سپس ۱٦ ساعت در ظرف شفاف خشک و ۸ ساعت در بزاق 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 توسطSabbah و همکارانش[۳٤]، انجام شد به بررسی مدت زمان نگهداری نمونه پرینت شده پرداختند.در این مطالعه نمونه ها بعد ۳ هفته، و ٦ 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 مجددا 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[۲٤]، به جهت بررسی تاثیر مواد ضد عفونی مختلف سدیم هیپوکلریت۰,۵٪ ،کلرهگزایدن ۲٪، هیدروژن پروکساید ۱٪ برسختی 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 کلرهگزایدین نسبت داد.درحالیکه در گروه Heat-cure نتایج برعکس بود.

باتوجه 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 جدول۲ بصورت خلاصه بیان شده اند.

جدول۲: فاکتورهای موثر در دقت نمونه های پرینت شده

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

	محل قرارگیری صفحه پرینت	•	پرینتر های FDM کمترین دقت را دارند و بیشتر دچار بزرگنمایی در بعد باکولینگوال و مزیودیستال هستند. • شکلی با زوایای حاده دقت پرینت را کاهش می دهد. • محل قرارگیری صفحه پرینت در حاشیه یا وسط تاثیری بر دقت پرینت ندارد.
فاکتور حین پرینت	زاویه پرینت	•	زوایای مایل بهترین دقت را نشان می دهند.(بین ۳۰ تا ۶۰ درجه) • کمترین دقت پرینت در زاویه ۰ درجه است.
	ضخامت لایه ها	•	بعضی مطالعات ضخامت کمتر لایه(۲۰ میکرون) را در دقت موثر می دانند. • ضخامت۱۰۰ میکرون سرعت پرینت را افزایش می دهد. • کیورینگ بیشتر بعد پرینت،ثبات ابعادی و رنگ را افزایش می دهد.
	Post curing		
فاکتورهای مرتبط با ترکیبات مواد	سایز ذرات پودری	•	هرچه سایز ذرات پودری ریزتر باشد،سختی سطحی و دقت پرینت ها افزایش می یابد. • نوع رزین مورد استفاده در دقت پرینت موثر است. •
	نوع رزین		
فاکتورهای پس از پرینت	نحوه نگهداری از پرینت ها	•	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.
	مدت زمان نگهداری		
	استفاده از لیزر و فرابنفش پس از پرینت		
	استفاده از مواد ضد عفونی کننده		

نتیجه گیری:

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 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 واستفاده 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

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 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 منافعی وجود ندارند.

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 Dentn2021;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 ۳- 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.