گردش کار دیجیتال تولید راهنمای جراحی کاشت ایمپلنت دندانی

سیاوش ولی زاده[۱]- امید فتاحی ولیلایی[۲†]- محمود هوشمند[۳]- دکتر زهرا واثق[۴]- علیرضا ولی زاده[۵]

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۳- استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۴- استادیار گروه آموزشی رادیولوژی فک و صورت، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی شهید بهشتی، تهران، ایران

۵- دانشجوی دکتری گروه آموزشی نانوفناوری پزشکی، دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، تهران، ایران

Digital workflow of producing dental implant surgical guide

Siavash Valizadeh[1], Omid Fatahi Valilai[2†], Mahmoud Houshmand[3], Zahra Vasegh[4], Alireza Valizadeh[5]

1- Ph.D Candidate, Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

2†- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran (fvalilai@sharif.edu)

3- Professor, Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5- Ph.D Candidate, Department of Medical Nanotechnology, School of Advanced Technologies in Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Background and Aims: One of the important fields of dentistry is surgery for dental implants. In this field, dentistry has developed considerably in recent years amongst other fields of medicine from the perspective of digital device and software application. Surgical guides help dental surgeon for more precise, confident, easier and shorter surgery. Process of producing these tools are full digital and to somehow complex due to the application of many technical devices, software and protocols. To achieve efficiency, all participants in the workflow must be aware of all steps and data requirements for production of guides. This paper investigates the production process of surgical guide comprehensively, and also, encompass all the steps in process with details.

Materials and Methods: This review article was based on searching Google scholar and PupMed databases considering key words: Surgical Guide, Guided surgery, digital dentistry, dental CAD/CAM, Additive manufacturing. More than 90% of the references were in English language and published after year 2010.

Conclusion: Today dentistry uses many digital solutions for dairy workflow and most of these solutions are developed by engineers in various fields of knowledge. Thus, this information is essential for dentists, surgeon, clinician and laboratory technician, etc. for better collaboration and participation. Amongst, advances in surgery of dental implant have been highly significant and patients benefit from better treatment and less inconvenience. In addition, dentists do surgery more precise and easier because of considering all conditions before of surgery. Thus, it is substantial inform of all steps of production process.

Key Words: Guided surgery, Digital dentistry, Computer-aided design and manufacturing, Additive manufacturing

Journal of Dental Medicine-Tehran University of Medical Sciences 2019;31(4):255-266

† مؤلف مسؤول: تهران- خیابان آزادی- دانشگاه صنعتی شریف- دانشکده مهندسی صنایع

تلفن: ۶۶۱۶۵۷۰۶ نشانی الکترونیک: fvalilai@sharif.edu

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهم‌ترین حوزه‌های دندانپزشکی، جراحی ایمپلنت‌های دندانی است. در این حوزه، دندانپزشکی در استفاده از تجهیزات دیجیتال و نرم افزارها در مقایسه با سایر حوزه‌های پزشکی در سال‌های اخیر توسعه قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است. راهنمای جراحی به جراح کمک می‌کند تا جراحی کاشت ایمپلنت را دقیق‌تر، مطمئن‌تر، ساده‌تر و در زمان کوتاه‌تری انجام دهد. فرایند تولید این راهنماها کاملاً دیجیتال و به دلیل استفاده از تعداد زیادی از نرم افزارها، تجهیزات و پروتکل‌ها، تا حدی پیچیده است. برای کارایی بیشتر، تمامی مشارکت کننده‌ها در گردش کار باید از تمامی مراحل و الزامات جهت تولید راهنمای جراحی آگاهی داشته باشند. این مقاله با هدف بررسی فرایند تولید راهنمای جراحی به طور جامع، انجام گرفت.

روش بررسی: این مقاله مروری با استناد به مقالات موجود در پایگاه اطلاعاتی Google Scholer و PupMed با جست و جوی کلید واژه‌های Surgical Guide, Guided surgery, digital dentistry, dental CAD/CAM, Additive manufacturing, انجام شد. بیش از ۹۰ درصد از منابع مورد استفاده بعد از سال ۲۰۱۰ میلادی انتشار یافته و به زبان انگلیسی بودند.

نتیجه گیری: امروزه دندانپزشکی از راهکارهای دیجیتال زیادی برای انجام گردش کارهای روزمره استفاده می‌نماید که اکثر این راهکارها توسط مهندسان در حوزه‌های مختلف توسعه داده شده‌اند. بنابراین اطلاع از آن‌ها برای دندانپزشکان، جراحان، کلینیک‌ها، تکنسین‌های لابراتواری و سایر ذی‌نفعان جهت مشارکت و تعامل بهتر، ضروری است. در این میان پیشرفت‌ها در جراحی ایمپلنت دندانی قابل ملاحظه بوده است و بیماران از درمان بهتر که ناراحتی‌های کمتری خواهد داشت سود می برند. علاوه بر این، دندانپزشکان نیز به دلیل اطلاع از تمامی شرایط، قبل از انجام جراحی، با جراحی دقیق‌تر و ساده‌تری مواجه خواهند بود. بنابراین آگاهی از تمامی مراحل فرایند تولید لازم و ضروری است.

کلید واژه‌ها: جراحی هدایت شده، دندانپزشکی دیجیتال، طراحی و ساخت کامپیوتری، تولید افزایشی

وصول: ۹۷/۰۴/۰۹ اصلاح نهایی: ۹۷/۱۱/۲۵ تأیید چاپ: ۹۷/۱۱/۲۶

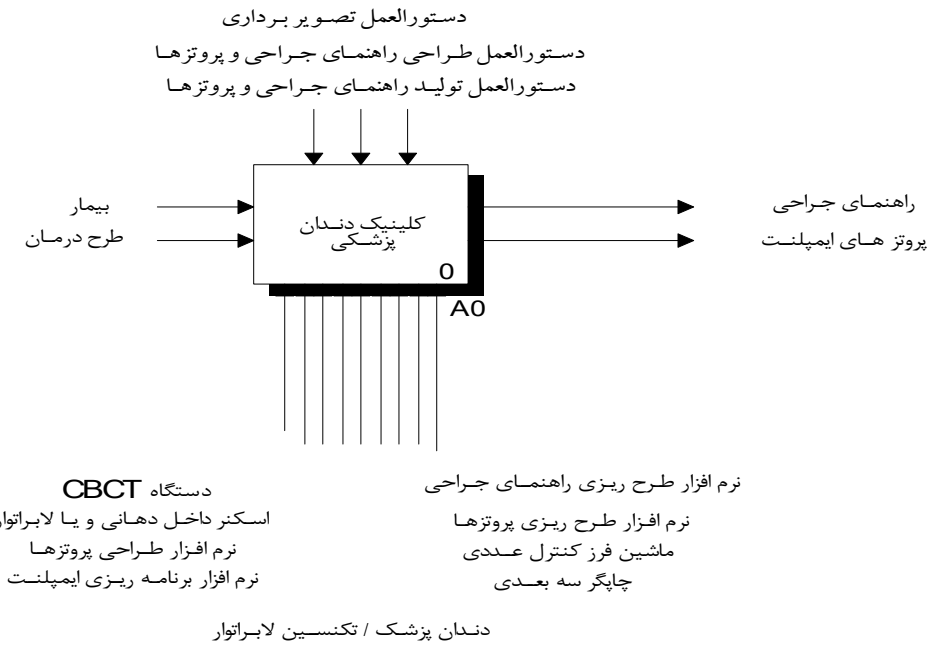
مقدمه

ایمپلنت یک حوزه کلینیکی در دندانپزشکی است که فناوری دیجیتال در کامل‌ترین حد می‌تواند در آن مورد استفاده قرار گیرد. با ورود و توسعه اسکنرهای داخل دهانی (Oral scanner)، دستگاه CBCT (Cone Beam Computed Tomography) نرم افزار برنامه ریزی ایمپلنت و نرم افزارهای طراحی و تولید پروتزها، امکان استفاده روزانه از آن‌ها مهیا شده است. نهایتاً با استفاده مناسب و کاربردی از این ابزارها، بیماران می‌توانند از گردش کار ساده‌تر و مؤثرتری سود ببرند. استفاده از راهنمای جراحی برای دندانپزشک مزایای زیادی دارد و با استفاده از آن‌ها مکان، زاویه و عمق ایمپلنت‌ها بهینه می‌شود و در مقایسه با روش‌های معمول خطای بسیار کمتری در انتخاب محل قرارگیری ایمپلنت در زمان کاشت ایمپلنت دارد (۳-۱).

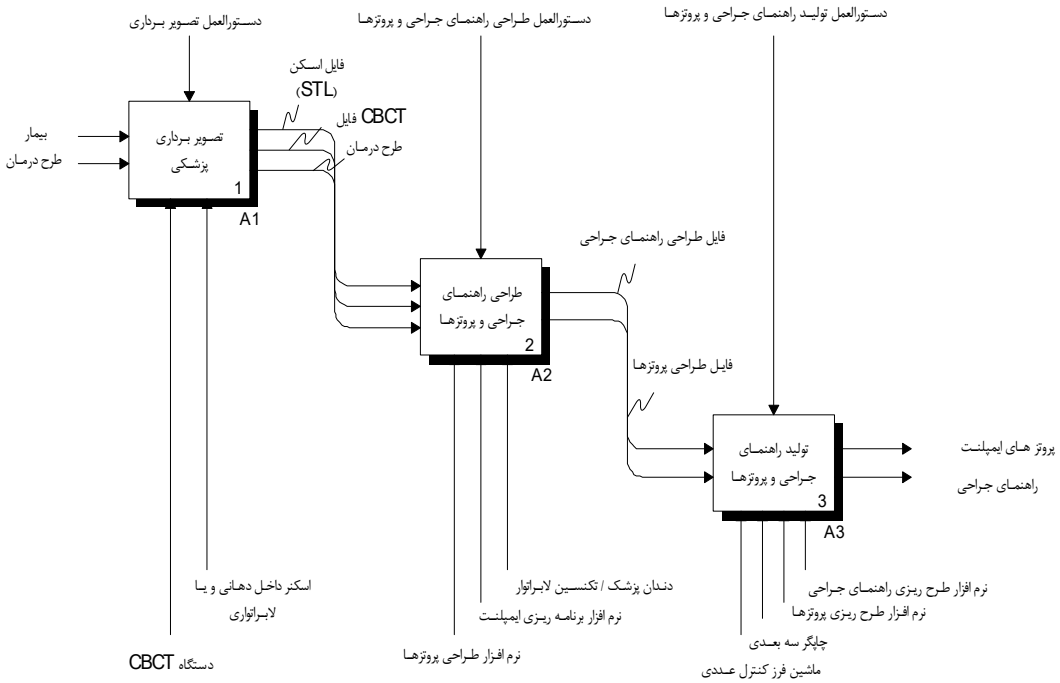
تحقیقات نشان می‌دهد که روش‌های دستی تا ۸۸٪ خطا و روش‌های کامپیوتری تا ۶٪ خطا دارند (۴). همچنین بیماران نیز از روش‌های کامپیوتری به دلیل کاهش قابل ملاحظه زمان درمان علاوه بر کاهش عوارض پس از جراحی سود می‌برند. این افزایش رضایت در بیمار عمدتاً به دلیل انجام جراحی بدون برش لثه (Flapless surgery) است (۵،۶). در تشریح فرایندها از نمودارهای IDEF0 (Icam/Integrated DEFinition for Function Modeling) استفاده شده است که قابلیت نمایش فعالیت‌ها از کل به جزء با تفکیک فعالیت‌ها به فعالیت‌های کوچک‌تر را دارد که نمایش جزئیات بیشتری را امکان پذیر می‌سازد (۷،۸). با فرض اینکه یک کلینیک دندانپزشکی امکان تولید راهنمای جراحی را داشته باشد، شکل ۱ اطلاعات ورودی (پیکان‌های سمت چپ) و منابع مورد نیاز (پیکان‌های پایین) برای طراحی و تولید راهنمای جراحی شامل نرم افزارها و سخت افزارها و تجهیزات را نشان می‌دهد. همچنین در این شکل، نحوه استفاده از منابع و ملاحظات پزشکی و مهندسی مورد نیاز (پیکان‌های بالا) را در قالب پروتکل‌ها نشان می‌دهد که نهایتاً منجر به تولید راهنمای جراحی و پروتزهای مربوطه (پیکان‌های سمت راست) می‌شود. در نمودارهای بعدی فعالیت‌های کلینیک به فعالیت‌های کوچک‌تر شکسته می‌شود.

تولید راهنمای جراحی به صورت کلی شامل سه مرحله تصویر برداری، طراحی و تولید می‌شود که شکل ۲ گردش اطلاعات را در این مراحل با در نظر گرفتن تجهیزات و پروتکل‌های مورد نیاز مشخص گردیده در شکل ۱ نشان می‌دهد. در ادامه به تشریح فرایندهای هر مرحله پرداخته می‌شود. این مقاله با هدف بررسی فرایند تولید راهنمای جراحی به طور جامع، انجام گرفت.

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

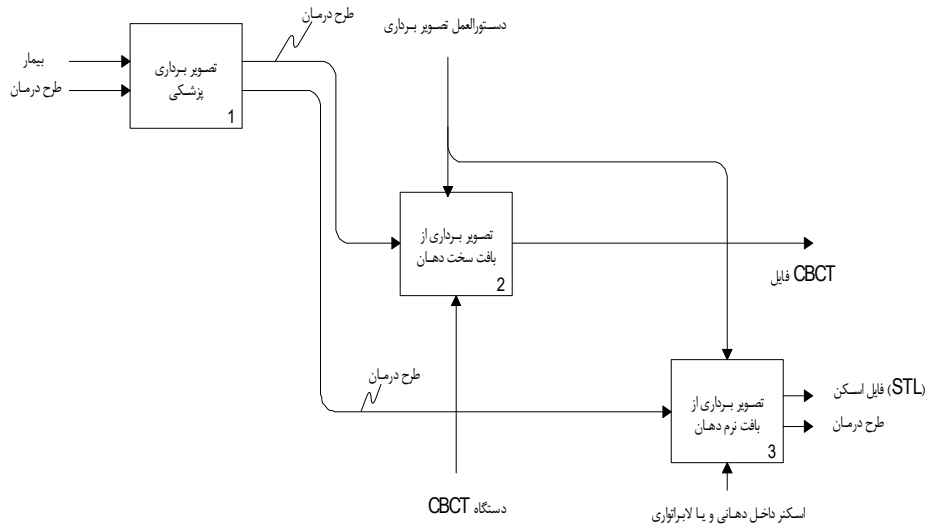


شکل ۱- منابع مورد نیاز (پیکان‌های پایین) و کنترل کننده‌ها (پیکان‌های بالا) جهت تولید راهنمای جراحی و پروتزهای ایمپلنت

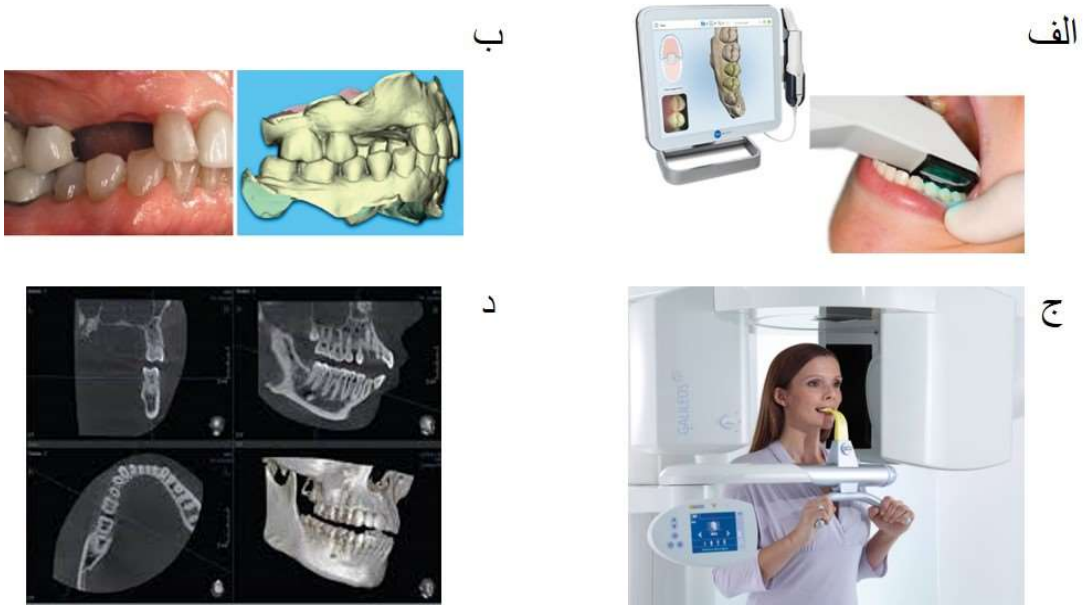


شکل ۲- مراحل مختلف تولید راهنمای جراحی و پروتزهای مربوطه

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]



شکل ۳- تصویر برداری از بافت نرم و سخت دهان بیمار جهت طراحی و تولید راهنمای جراحی



شکل ۴- تصویر برداری بافت نرم و سخت دهان بیمار را نشان می‌دهد. الف) اسکن دهان بیمار با استفاده از اسکنر داخل دهانی، (ب) تصویر دیجیتال حاصل از اسکن داخل دهانی، (ج) تصویر برداری CBCT، (د) تصویر فایل CBCT

تصویر برداری

پس از مراجعه بیمار به دندانپزشک و تعیین طرح درمان مبنی بر کاربرد ایمپلنت، بیمار با طرح درمان تعیین شده توسط دندانپزشک به مراکز تصویر برداری جهت تهیه تصویر سه بعدی از بافت نرم و سخت دهان مراجعه می‌نماید (شکل ۳). طرح درمان شامل اطلاعات و سوابق بیمار، تعداد و مکان ایمپلنت‌ها، نوع و رنگ پروتزها در صورت نیاز و غیره می‌باشد (۹). شکل ۴ سخت افزارها و تصاویر تهیه شده از دهان بیمار را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

اسکن داخل دهانی

اسکن داخل دهانی اولین کاربرد فناوری دیجیتال است که می‌تواند در دندانپزشکی ایمپلنت مورد استفاده قرار گیرد. این فناوری بیش از ۳۰ سال است که معرفی شده و در سال‌های اخیر از نظر دقت و کاربری آسان‌تر، بهبود قابل ملاحظه‌ای یافته است. مطالعات نشان داده است که مدل‌های دیجیتالی ایجاد شده توسط اسکنرها به دلیل دقت بالا و قابلیت تکثیر به اندازه مدل‌های قالب گچی قابل اعتماد هستند. همچنین این اسکنرها، تهیه مدل‌های سه بعدی را سریع و آسان می‌نمایند، که این امر منجر به افزایش کاربرد روزافزون آن‌ها در دندانپزشکی و بالا رفتن تمایل بیماران به استفاده از این روش شده است. وضعیت بافت نرم دهان و دندان‌های بیماران از طریق تصویر برداری با اسکنر داخل دهانی ثبت می‌گردد. این تصاویر جهت طراحی پروتزهای ناحیه بی‌دندانی مورد استفاده قرار می‌گیرند به نحوی که حداکثر انطباق آن‌ها با لثه و دندان‌های مجاور ناحیه بی‌دندانی را ایجاد نماید (۱۳-۱۰) (شکل ۴- الف و ب).

در این مرحله، شرکت‌های سازنده اسکنرها پروتکل‌های تصویربرداری مختلف مخصوص به خود را ارائه می‌دهند. تفاوت پروتکل‌های تصویر برداری ارائه شده مربوط به نحوه پیمایش سطوح داخل دهان بیمار جهت گرفتن اسکن با بهترین کیفیت و کوتاه‌ترین زمان ممکن می‌باشد (۱۴). خروجی این مرحله یک فایل کامپیوتری است که سطوح اسکن شده را نمایش می‌دهد و عمدتاً با فرمت STL (Standard Tessilation Language) ذخیره می‌شود و در مراحل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برخی موارد از دهان بیمار قالب تهیه می‌گردد و سپس قالب گچی حاصل با استفاده از اسکنرهای لابراتواری اسکن می‌گردد. به دلیل تهیه قالب گچی در این روش در مقایسه با اسکنرهای داخل دهانی، امکان ایجاد خطا وجود دارد و می‌تواند منجر به ایجاد خطا در کل فرایند گردد (۱۵،۱۶). علت ایجاد خطا ممکن است در مراحل قالب گیری توسط دندانپزشک، ضریب انقباض و تغییر فرم قالب گرفته شده بعد از سفت شدن، خطا در مرحله قالب ریزی در لابراتوار (ایجاد حفرات و زوائد) و همچنین ضریب انقباض خود گچ در حین سفت شدن باشد. در این صورت نیز خروجی این مرحله یک فایل دیجیتال از قالب گچی خواهد بود که عمدتاً به صورت STL ذخیره می‌گردد (۱۴،۱۷،۱۸).

فناوری CBCT

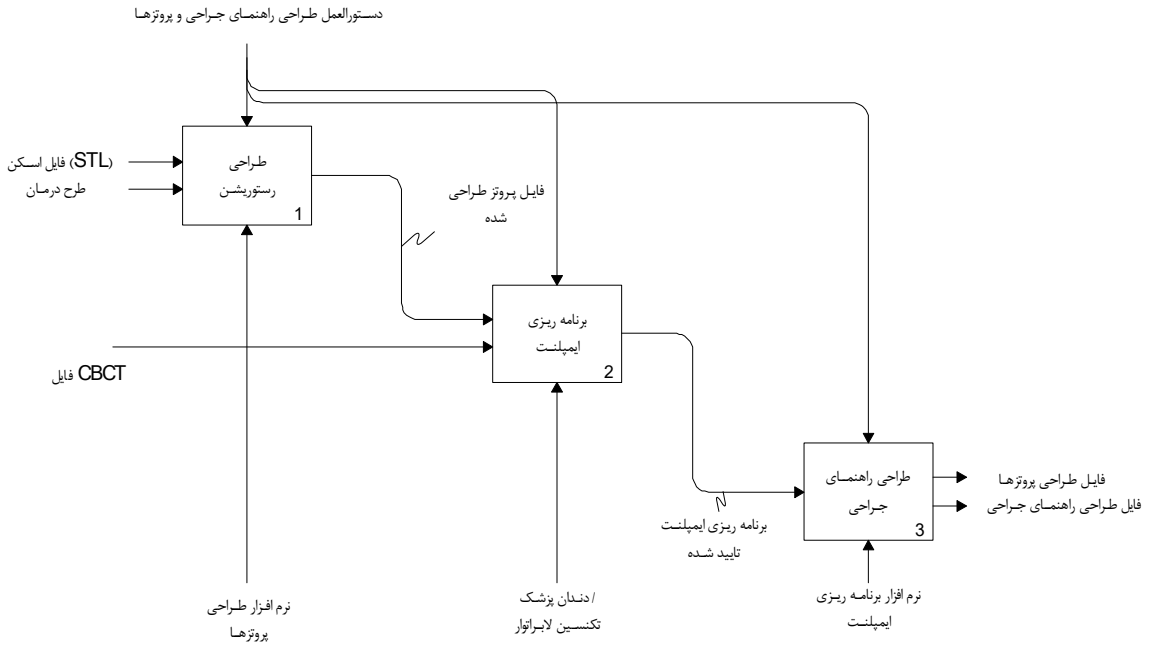
اساس فناوری جراحی ایمپلنت‌های دندانی به کمک کامپیوتر، ریشه در اطلاعات به دست آمده از طریق اسکن CBCT دارد (شکل ۴- ج و د). این فناوری به دلیل ایجاد تصاویر سه بعدی با زمان‌های اسکن کوتاه و دوز پایین اشعه در مقایسه با توموگرافی کامپیوتری پزشکی، شهرت و مقبولیت بیشتری دارد. دقت بالای اطلاعات به دست آمده از این اسکن‌ها در تحقیقات تأیید شده است به صورتی که قابلیت ارزیابی و مقدار سنجی استخوان برای مکان‌های مدنظر جهت قرار دادن ایمپلنت را دارد (۲۲-۱۹). همچنین نشان داده شده است که CBCT در مقایسه با روش‌های ارزیابی مستقیم، ضخامت استخوان را کمتر و یا بیشتر نشان نمی‌دهد. این ویژگی‌ها سبب شده است که CBCT یک ابزار بسیار با ارزش برای ارزیابی مکان ایمپلنت بیمار باشد. در تصویر برداری CBCT، بر اساس طرح درمان، پروتکل‌های تصویر برداری متفاوتی وجود دارد (۲۳). برای مثال در صورتی که بیمار دارای بی‌دندانی چند واحدی و یا بی‌دندانی کامل باشد روش‌های تصویر برداری متفاوت و استانداری ارائه می‌شود. خروجی مرحله اسکن CBCT از ۱۵۰ تا بیش از ۶۰۰ تصویر پایه بسته به محدوده تصویر برداری انتخابی (اسکن کامل فک یا یک ناحیه محدود فک) است. امروزه در تمامی حوزه‌های پزشکی این گونه فایل‌های اسکن با در نظر گرفتن استاندارد DICOM (Digital Imaging and COmmunication in Medicine) تولید، ذخیره، بازیابی، انتقال و مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۴،۲۵).

طراحی پروتزها و راهنمای جراحی

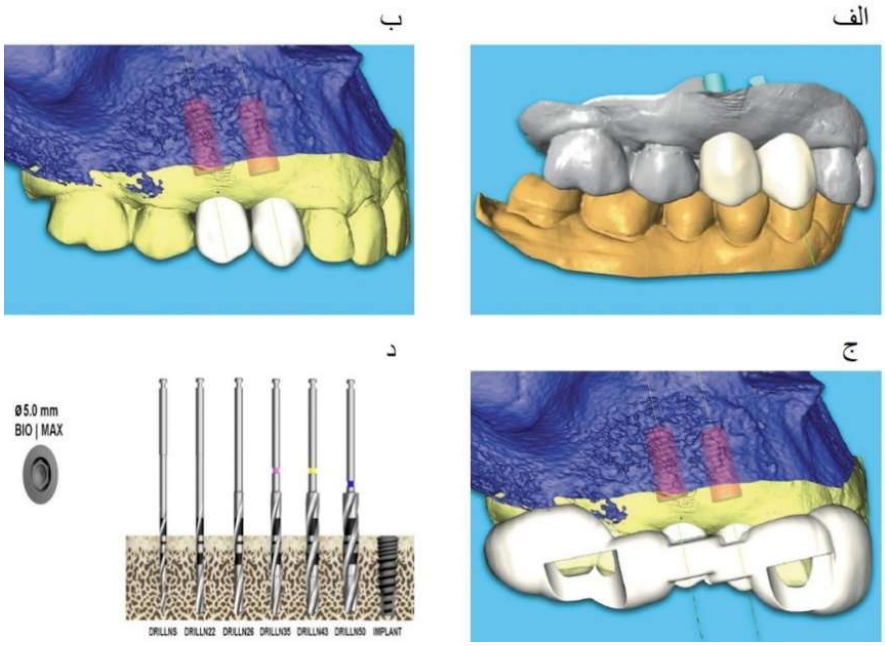
پس از ایجاد یک مدل دیجیتالی از وضعیت دهان بیمار که در فایل STL قرار دارد و کسب اطلاعات از بافت سخت دهان بیمار و سایر اطلاعات ضروری جهت انجام ایمپلنت که از طریق فایل CBCT قابل دست‌یابی می‌باشد، می‌توان برنامه ریزی کاشت ایمپلنت را به صورت مجازی و از طریق شبیه سازی کامپیوتری انجام داد. امروزه برنامه ریزی کاشت ایمپلنت و نهایتاً طراحی راهنمای جراحی با در نظر گرفتن پروتزهایی که روی ایمپلنت‌ها قرار می‌گیرند انجام می‌شود. این امر سبب می‌گردد پروتزیست بتواند پروتزهای بهتری را از لحاظ زیبایی و کاربرد طراحی و تولید نماید (۲،۲۶). بنابراین اکثر نرم افزارهای برنامه ریزی ایمپلنت، امکان برنامه ریزی ایمپلنت بر اساس پروتزها را نیز فراهم

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

می‌کنند (شکل ۵).



شکل ۵- فرایند طراحی پروتزها و راهنمای طراحی



شکل ۶- روند طراحی پروتزها و راهنمای جراحی را نشان می‌دهد. (الف) طراحی پروتز با استفاده از فایل اسکن دهان بیمار، (ب) قرار دادن ایمپلنت به صورت مجازی با در نظر گرفتن پروتز طراحی شده و به کمک فایل اسکن داخل دهانی و فایل CBCT، (ج) طراحی راهنمای جراحی با توجه موقعیت ایمپلنت‌ها، (د) پروتکل سوراخ کاری فک بیمار با توجه به ابعاد ایمپلنت و وضعیت فک

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

طراحی پروتزها (Diagnostic Wax-up)

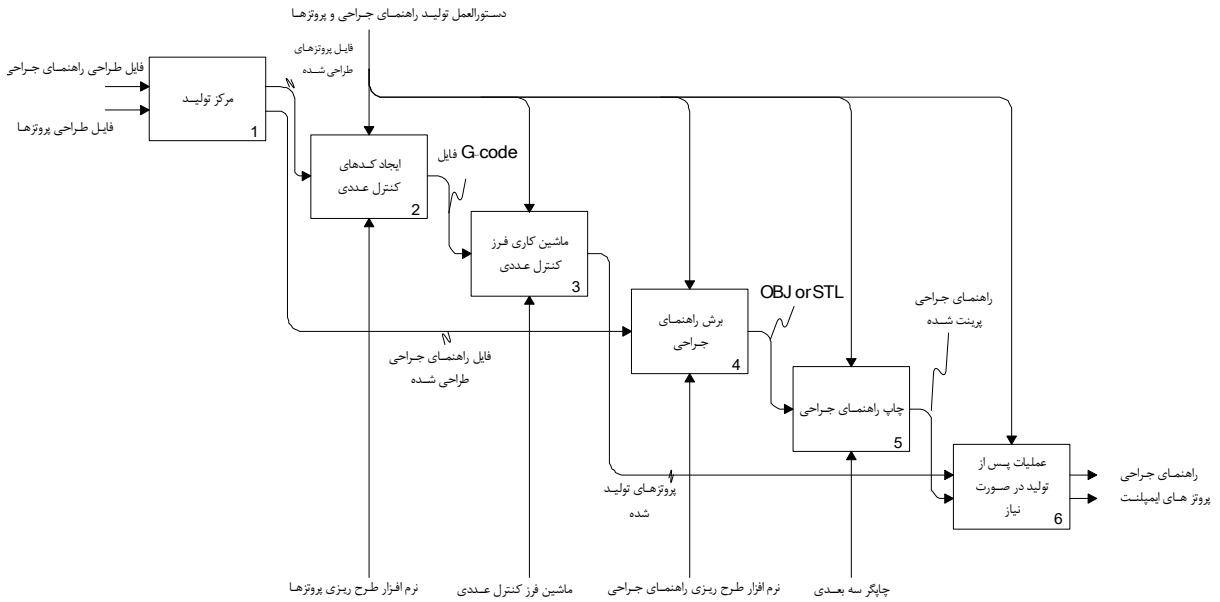
با توجه به توضیحات داده شده، پس از ایجاد مدل دیجیتال از دهان بیمار با استفاده از اسکنرهای داخل دهانی، مؤلفه مهم جهت برنامه ریزی ایمپلنت، طراحی پروتزها برای ایمپلنت مربوطه است که این امر از طریق نرم افزار طراحی CAD (Computer Aided Design) صورت می‌پذیرد. پس از طراحی پروتزها، امکان برنامه ریزی و شبیه‌سازی قرار دادن ایمپلنت در فک بیمار بر اساس پروتزهای طراحی شده وجود دارد (شکل ۶- الف). همچنین این قابلیت، به پزشک و بیمار این امکان را می‌دهد که قبل از درمان، وضعیت پروتزها را بررسی نمایند و اصلاحات مورد نیاز در شکل، اندازه و یا مورفولوژی را با استفاده از ابزارهای داخل نرم افزار انجام دهند. خروجی این مرحله نیز پوسته دیجیتالی از پروتزهای طراحی شده است که عمدتاً به صورت STL ذخیره می‌گردند (۱۴،۱۷،۲۷).

برنامه ریزی ایمپلنت

بهترین روش برای به کارگیری اسکن‌های به دست آمده از فناوری CBCT استفاده از نرم افزار برنامه ریزی ایمپلنت است. برنامه این امکان را در اختیار دندانپزشک و یا تکنسین لابراتوار قرار می‌دهد تا ارزیابی دقیق از تمامی پارامترهای مکان ایمپلنت، شامل کیفیت و کمیت استخوان، فضای موجود، عصب، سینوس و دندان‌های مجاور داشته باشد (۲۸). فراتر از ارزیابی مکان ایمپلنت، مفیدترین قابلیت، امکان قرار دادن مجازی یک ایمپلنت در مکان پیشنهاد شده است. این برنامه امکان تعیین دقیق عرض، ارتفاع و اندازه ایمپلنت را پیش از جراحی برای دندانپزشک مهیا می‌نماید. این امر در برنامه ریزی مراحل جراحی کمک شایانی می‌نماید (۲۱،۲۹،۳۰) (شکل ۶- ب). پس از قرار دادن ایمپلنت‌ها در مکان مناسب به صورت مجازی، طراح می‌تواند راهنمای جراحی کاشت ایمپلنت را با در نظر گرفتن مکان، ابعاد و نحوه قرارگیری ایمپلنت‌ها ایجاد نماید (۲۳،۳۱) (شکل ۶- ج). با استفاده از این راهنمای جراحی با توجه به ابعاد و مکان قرار گیری ایمپلنت‌ها، طراح یک توالی از فرایند drilling فک بیمار را جهت ایجاد حفره مناسب برای قرارگیری ایمپلنت تهیه می‌نماید که جراح با استفاده از آن، می‌تواند کاشت ایمپلنت را انجام دهد (۳۲،۳۳) (شکل ۶- د). خروجی این مرحله نیز یک فایل دیجیتال از راهنمای جراحی طراحی شده است که عمدتاً به صورت STL ذخیره می‌گردد (۳۴).

تولید راهنمای جراحی و پروتزها

پس از طراحی پروتزها و راهنمای جراحی فایل‌های طراحی که عموماً به شکل STL هستند جهت ساخت به مراکز تولید ارسال می‌گردند که هر کدام به صورت مستقل از یکدیگر تولید می‌شوند. شکل ۷ فرایند تولید را نشان می‌دهد.



شکل ۷- فرایند تولید راهنمای جراحی و پروتزها

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

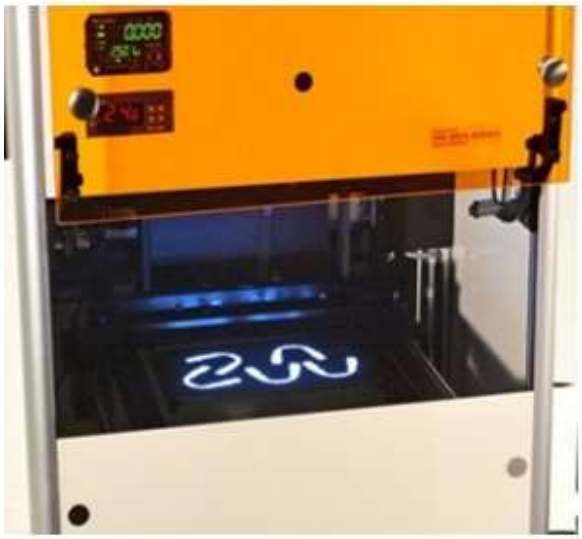
تولید راهنمای جراحی

پس از طراحی راهنمای جراحی به وسیله نرم افزار برنامه ریزی ایمپلنت، این راهنما به روش تولید افزودنی (Additive manufacturing) و با استفاده از چاپگرهای سه بعدی (3d printer) ساخته می‌شود. در فناوری چاپ سه بعدی، جسم مورد نظر به لایه‌های با ضخامت کمتر از ۰/۵ میلی‌متر بسته به قابلیت‌های چاپگر سه بعدی برش زده می‌شود که چاپگر سه بعدی به ترتیب این لایه‌ها را از پایین‌ترین سطح بر روی یکدیگر تولید (چاپ) می‌نماید. این قابلیت چاپگرهای سه بعدی امکان ساخت پیچیده‌ترین اجسام را ایجاد می‌نماید و به همین دلیل به صورت گسترده در پزشکی جهت تولید ابزارهای کمکی در جراحی و ساخت مدل‌های آناتومی و پروتزها مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳۹-۳۵).

قبل از چاپ راهنمای جراحی، تکنسین فایل STL راهنمای جراحی طراحی شده را از طریق نرم افزار مرتبط به چاپگر سه بعدی مورد بررسی قرار می‌دهد. در این مرحله تکنسین بهترین جهت قرارگیری راهنمای جراحی در محیط چاپ را تعیین می‌نماید، به نحوی که بهترین کیفیت و کم‌ترین زمان تولید را داشته باشد. همچنین چیدمان باید به گونه‌ای باشد تا نیاز به اصلاح راهنمای جراحی برای حذف مواد پشتیبان (support) پس از تولید کاهش یابد (۴۰) (شکل ۸- الف).

شکل ۸- تولید راهنمای جراحی با استفاده از چاپگر سه بعدی را نشان می‌دهد. (الف) برنامه ریزی تولید راهنمای جراحی

مواد پشتیبان به موادی گفته می‌شود که در طراحی مدل وجود ندارد و در طی چاپ برای افزایش استحکام فضایی مدل چاپی توسط برنامه اضافه می‌گردد و بعد از چاپ توسط تکنسین حذف می‌شود. سپس نرم افزار چاپگر سه بعدی با توجه به چیدمان تعیین شده توسط تکنسین، راهنمای جراحی را به صورت لایه به لایه (لایه های افقی و مجزا) برش زده و آنالیز نموده و در انتها اطلاعات هر لایه (و در نهایت کل لایه‌ها) را به چاپگر سه بعدی ارسال می‌کند. با توجه به نوع فناوری تولید و مواد مورد استفاده، چاپگر سه بعدی اطلاعات لایه‌های ارسال شده را پردازش و تولید را انجام می‌دهد (۴۱) (شکل ۸- ب).

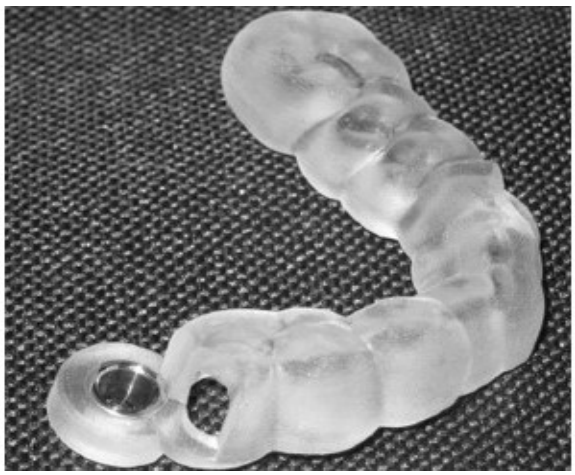


شکل ۸- **(ب) چاپ راهنمای جراحی**

در حال حاضر جهت تولید راهنمای جراحی عموماً نوعی از چاپگرهای سه بعدی استفاده می شوند که از مواد رزین حساس به نور (Photosensitive) که دارای زیست‌سازگاری (Biocompatibility) مناسبی هستند استفاده می‌نمایند. چاپگرهای با فناوری SLA (Stereolithography)، DLP (Digital Light Processing/projection) و MultiJet/PolyJet می‌توانند جهت تولید راهنمای جراحی مورد استفاده قرار گیرند و هر یک فرایند چاپ سه بعدی را به صورت متفاوتی انجام می‌دهند که با توجه به حجم تولید و دقت مورد نیاز، هر یک از آن‌ها می‌تواند به کار گرفته شود. وجه مشترک این چاپگرها استفاده از رزین‌های مایع مورد استفاده در

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

دندانپزشکی است که به نور حساس هستند و با تابش پرتو نور در محدوده فرابنفش به سرعت فرایند پلیمریزاسیون (polymerization) اتفاق می‌افتد و رزین از حالت مایع به جامد تبدیل می‌گردد (۴۲،۴۳). برای مثال در فناوری DLP با استفاده از پروژکتور تصویر لایه‌ای از شکل سه بعدی که از قبل ایجاد شده است بر روی رزین تابیده می‌شود که منجر به ایجاد لایه مورد نظر به صورت جامد می‌گردد سپس طرح لایه بعدی توسط پروژکتور تابیده می‌شود و فرایند ادامه می‌یابد تا تمامی لایه‌ها چاپ گردند. پس از چاپ راهنمای جراحی در صورت نیاز می‌توان پرداخت‌ها مورد نیاز را بر روی راهنمای جراحی انجام داد و بعد از پاکیزه‌سازی، در روز جراحی ایمپلنت مورد استفاده قرار داد (شکل ۸- ج و د).



شکل ۸- **(ج) راهنمای جراحی تولید شده**

شکل ۸- (د) استفاده راهنمای جراحی (۴۴)

تولید پروتزها

پروتزهای طراحی شده که شامل اباتمنت و روکش هستند امروزه عمدتاً به صورت دیجیتال و با استفاده از ماشین‌های فرز مجهز به کامپیوتر (Computrized Numerical Control) تولید می‌گردند که در محیط‌های کلینیکی و لابراتواری با فناوری (Computer Aided Design/Computer Aided CAD/CAM Manufacturing) شناخته می‌شوند (۴۵،۴۶) (شکل ۹- الف و ب).

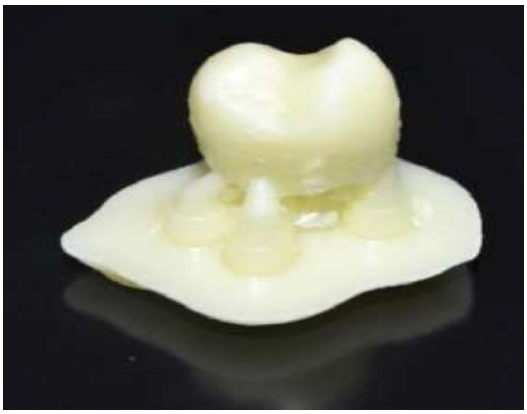
شکل ۹- تولید پروتزها با استفاده از ماشین فرز کنترل عددی را نشان می‌دهد. (الف) تولید اباتمنت اختصاصی، (ب) تولید روکش

برای استفاده از CNC ابتدا فایل STL پروتز طراحی شده در نرم افزار طرح ریزی تولید (CAM) قرار می‌گیرد که با توجه به نوع پروتز، مواد مورد استفاده و مشخصات ماشین CNC، مسیر ابزار برش ماشین CNC را ایجاد می‌نماید. سپس این مسیرهای ابزار که کدهای کنترل

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

عددی هستند و G-code نامیده می‌شوند عمدتاً در فایلی با پسوند NC (Numerical Control) ذخیره و به ماشین CNC انتقال داده می‌شوند تا ابزار ماشین با حرکت‌های مشخص شده پروتزها را تولید نماید. پس از تولید، پروتزها در صورت نیاز پرداخت شده و بر روی ایمپلنت قرار می‌گیرند (۱۷،۴۷،۴۸).

امروزه بیماران با صلاحدید دندانپزشک و جراح می‌توانند از پروتزهای موقت درست پس از قرار دادن ایمپلنت در فک جهت بازیابی زیبایی استفاده نمایند. روکش‌های موقت از PMMA (Polymethyl methacrylate) ساخته می‌شوند که نسبت به روکش‌های سرامیکی و فلزی بسیار سبک‌تر هستند و فشار کمی را بر ایمپلنت قرار داده شده در فک بیمار اعمال می‌نمایند. در ضمن، تولید این پروتزهای موقت با به کارگیری چاپگرهای سه بعدی با استفاده از مواد پلیمری مشابه در برخی لابراتوارها امکان پذیر می‌باشد (۴۹) (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- روکش موقت چاپ شده توسط چاپگر سه بعدی قبل از حذف مواد پشتیبان و پرداخت (۴۹)

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه درمان بی‌دندانی با استفاده از ایمپلنت‌های دندانی به صورت گسترده مورد پذیرش دندانپزشکان و بیماران قرار گرفته است. در این میان روش‌هایی که بتواند کاشت ایمپلنت‌های دندانی را برای دندانپزشکان، جراحان و بیماران تسهیل نمایند در حالی که کیفیت و دقت فرایند را نیز افزایش دهند، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. کاشت ایمپلنت با استفاده از راهنمای جراحی روشی است که افزایش دقت و کاهش زمان کاشت ایمپلنت را برای دندانپزشک به همراه دارد. از طرف دیگر در این روش آگاهی از وضعیت بیمار قبل از جراحی و قابلیت برنامه ریزی جراحی پیش از انجام آن، فرایند کاشت ایمپلنت را در مقایسه با روش‌های سنتی به میزان قابل ملاحظه‌ای تسهیل نموده و در مقابل نیز سطح کیفیت فرایند کاشت را ارتقاء بخشیده است.

همچنین بیمار به دلیل کاهش برش در لثه طول درمان کمتری را سپری می‌نماید و در مواردی می‌تواند در روز جراحی از پروتزهای موقت نیز جهت بازیابی زیبایی استفاده نماید. با توجه به مزایای قابل ملاحظه این روش، آگاهی از نحوه گردش کار مورد نیاز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق فرایند تولید راهنمای جراحی به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفت تا ذی‌نفعان این حوزه بتوانند با آگاهی کامل از تمامی مراحل، اقدام به طراحی و تولید نمایند و از مزایای این روش بهره‌مند گردند.

تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه تحقیقات رساله دکتری با عنوان ارائه یک پلت‌فرم طراحی و تولید ابری در حوزه دندانپزشکی دیجیتال در دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف با مصوبه شماره ۱۵۱۷۵-۲۲۱۰ مورخ ۱۳۹۶/۱۱/۲۱ تهیه شده است.

بدین وسیله از اساتید و مسئولین محترم آزمایشگاه روش‌های تولید پیشرفته دانشکده صنایع، دانشگاه صنعتی شریف که در به ثمر رسیدن این مقاله مشارکت داشتند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع:

1- Schnutenhaus S, Edelmann C, Rudolph H, Dreyhaupt J, Luthardt RG. 3D accuracy of implant positions in template-guided implant placement as a function of the remaining teeth and the surgical procedure: a retrospective study. Clin Oral Investig. 2018;22(6):2363-72.

2- Nikzad S, Azari A. An introduction to Computer Guided Implantology literature review ،historical background and basic concepts. J DENT Med. 2010;23(1):49-60.

3- D'haese J, Van De Velde T, Komiyama A, Hultin M, De Bruyn H. Accuracy and complications using computer-designed stereolithographic surgical guides for oral rehabilitation by means of dental implants: a review of the literature. Clin Implant Dent R. 2012;14(3):321-35.

4- Ludlow M, Renne W. Digital Workflow in Implant Dentistry. Curr Oral Health Rep. 2017;4(2):131-5.

5- de Almeida EO, Pellizzer EP, Goiatto MC, Margonar R,

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

Rocha EP, Freitas Jr AC, et al. Computer-guided surgery in implantology: review of basic concepts. J Craniofac Surg. 2010;21(6):1917-21.

6- Ramasamy M, Giri RR, Subramonian K, Narendrakumar R. Implant surgical guides: From the past to the present. J Pharm Bioall Sci. 2013;5(Suppl 1):S98.

7- IDEF. Available from: http://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/.

8- Presley A, Liles DH, editors. The use of IDEF0 for the design and specification of methodologies. Proceedings of the 4th industrial engineering research conference; 1995.

9- Tischler M. Treatment Planning for Implant Dentistry. Dent Today. 2016;35(10):104-6.

10- Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. BMC Oral Health. 2017;17(1):92.

11- Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. BMC Oral Health. 2017;17(1):149.

12- Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. J Healthc Eng. 2017;2017.

13- Ting-shu S, Jian S. Intraoral digital impression technique: a review. J Prosthodont. 2015;24(4):313-21.

14- Tapie L, Lebon N, Mawussi B, Fron-Chabouis H, Duret F, Attal J. Understanding dental CAD/CAM for restorations-accuracy from a mechanical engineering viewpoint. Int J Comput Dent. 2014;18(4):343-67.

15- Su T-s, Sun J. Comparison of repeatability between intraoral digital scanner and extraoral digital scanner: An in-vitro study. J Prosthodont Res. 2015;59(4):236-42.

16- Rudolph H, Salmen H, Moldan M, Kuhn K, Sichwardt V, Wöstmann B, et al. Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. J Appl Oral Sci. 2016;24(1):85-94.

17- Tapie L, Lebon N, Mawussi B, Fron CH, Duret F, Attal J. Understanding dental CAD/CAM for restorations--the digital workflow from a mechanical engineering viewpoint. Int J Comput Dent. 2015;18(1):21-44.

18- Trifkovic B, Budak I, Todorovic A, Vukelic D, Lazic V, Puskar T. Comparative analysis on measuring performances of dental intraoral and extraoral optical 3D digitization systems. Measurement. 2014;47:45-53.

19- Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. J Can Dent Assoc. 2006;72(1):75.

20- Benavides E, Rios HF, Ganz SD, An C-H, Resnik R, Reardon GT, et al. Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: the International Congress of Oral Implantologists consensus report. Implant Dent. 2012;21(2): 78-86.

21- Orentlicher G, Abboud M. Guided surgery for implant therapy. Dent Clin. 2011;55(4):715-44.

22- Jamjoom FZ, Kim D-G, McGlumphy EA, Lee DJ, Yilmaz B. Positional accuracy of a prosthetic treatment plan incorporated into a cone-beam computed tomography scan using surface scan registration. J Prosthet Dent. 2018.

23- Masri R, Driscoll CF. Clinical applications of digital dental technology: John Wiley & Sons; 2015.

24- Spin-Neto R, Marcantonio E, Gotfredsen E, Wenzel A. Exploring CBCT-based DICOM files. A systematic review on the properties of images used to evaluate maxillofacial bone grafts. J Digit Imaging. 2011;24(6):959-66.

25- Grauer D, Cevidanes LS, Proffit WR. Working with DICOM craniofacial images. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;136(3):460-70.

26- Nikzad S, Azari A. Computer-assisted implant surgery; a flapless surgical/immediate loaded approach with 1 year follow-up. Int J Med Robot. 2008;4(4):348-54.

27- Valizadeh S, Valilai FO, Valizadeh A, Houshmand M, Vasegh Z. A review on workflow and components in digital dentistry. J Dent Med. 2018;31(2).

28- Nikzad S, Azari A. A novel stereolithographic surgical guide template for planning treatment involving a mandibular dental implant. J Oral Maxillofac Surg. 2008;66(7):1446-54.

29- Nikzad S, Azari A. Custom-made radiographic template, computed tomography, and computer-assisted flapless surgery for treatment planning in partial edentulous patients: a prospective 12-month study. J Oral Maxillofac Surg. 2010;68(6):1353-9.

30- Arcuri L, Lorenzi C, Cecchetti F, Germano F, Spuntarelli M, Barlattani A. Full digital workflow for implant-prosthetic rehabilitations: a case report. Oral Implantol. 2015;8(4):114.

31- Lanis A, del Canto OÁ. The combination of digital surface scanners and cone beam computed tomography technology for guided implant surgery using 3Shape implant studio software: a case history report. Int J Prosthodont. 2015;28(2).

32- dental zb. Surgical Manual. 2018
[cited 2018 2018/12/21]. Available from:
https://www.zimmerbiometdental.com/wps/wcm/connect/dental/bbfce9c2-a859-4af8-ac77-a5d29d070028/INSTSM_RevF_Surgical+Manual.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE.Z18_1O041O02L8PAF0A9JPRUH520H7bbfce9c2-a859-4af8-ac77-a5d29d070028.

33- straumann. Straumann® Guided Surgery Basic Information 2018 [cited 2018 December 21]. Available from: https://www.straumann.com/content/dam/mediacenter/straumann/en/documents/brochure/technical-information/152.753-en_low.pdf.

34- Arunyanak SP, Harris BT, Grant GT, Morton D, Lin W-S. Digital approach to planning computer-guided surgery and immediate provisionalization in a partially edentulous patient. J Prosthet Dent. 2016;116(1):8-14.

35- Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. Rapid Prototyping J. 2009;15(3):216-25.

36- Ventola CL. Medical applications for 3D printing: current and projected uses. P T. 2014;39(10):704.

37- Van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent Mater. 2012;28(1):3-12.

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]

38- Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. Int J Dentistry. 2014;2014.

39- Malik HH, Darwood AR, Shaunak S, Kulatilake P, Abdulrahman A, Mulki O, et al. Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications. J Surg Res. 2015;199(2):512-22.

40- Chae MP, Rozen WM, McMenamin PG, Findlay MW, Spychal RT, Hunter-Smith DJ. Emerging applications of bedside 3D printing in plastic surgery. Front Surg. 2015;2:25.

41- Gibson I, Rosen D, Stucker B. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. 2nd ed. Springer New York, 2015.

42- Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. Br Dent J. 2015;219(11):521.

43- Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. Dent Mater. 2016;32(1):54-64.

44- Flügge TV, Nelson K, Schmelzeisen R, Metzger MC. Three-dimensional plotting and printing of an implant drilling guide: simplifying guided implant surgery. J Oral Maxillofac Surg. 2013;71(8):1340-6.

45- Lebon N, Tapie L, Duret F, Attal J-P. Understanding dental CAD/CAM for restorations-dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part A: chairside milling machines. Int J Comput Dent. 2016;19(1):45-62.

46- Lebon N, Tapie L, Duret F, Attal J. Understanding dental CAD/CAM for restorations--dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part B: labside milling machines. Int J Comput Dent. 2016;19(2):115-34.

47- Gaspar M, Weichert F. Integrated construction and simulation of tool paths for milling dental crowns and bridges. Comput Aided Des. 2013;45(10):1170-81.

48- Yau H-T, Chen H-C, Yu P-J. A customized smart CAM system for digital dentistry. Comput Aided Des Appl. 2011;8(3):395-405.

49- Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. Dent Mater. 2017.

[Downloaded from jdm.tums.ac.ir on 2026-06-17]