

ORIGINAL ARTICLE

A Review of 3D-Printing Applications in Anatomy Education: Focus on Bony Structures and the Orbit

Roya Vatankhah^{1*} , Mohammad Etezzad Razavi² , Bahar Tafaghodi Yousefi³ , Ali Emadzadeh⁴ , Sirous Nekooei⁵ , Hossein Karimi Moonaghi⁶ , Majid Khadem Rezaiyan⁷ 

1. Vice Chancellor for Education, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.
2. Eye Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.
3. Khatam Eye Hospital, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.
4. Department of Medical Education, School of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.
5. Department of Radiology, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.
6. Nursing and Midwifery Care Research Center, Department of Medical Surgical Nursing, School of Nursing and Midwifery, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.
7. Department of Community Medicine and Public Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Correspondence:

Roya Vatankhah

Email: vatankhahr1@mums.ac.ir

Received: 30/Jun/2025

Revised: 15/Dec/2025

Accepted: 13/Feb/2026

Published: 23/Sep/2026

How to cite

Etezzad Razavi, M., Tafaghodi Yousefi, B., Emadzadeh, A., Nekooei, S., Karimi Moonaghi, H., Khadem Rezaiyan, M. & Vatankhah, R. (2026). A Review of 3D-Printing Applications in Anatomy Education: Focus on Bony Structures and the Orbit. *Technology and Scholarship in Education*, 6 (3), 22, 121-134. (<https://doi.org/10.30473/t-edu.2026.74945.1291>)

ABSTRACT

This review purposed to explore the applications of 3D printing in teaching bony structures, with a particular focus on the orbit. A comprehensive search was conducted in Scopus, ERIC, ScienceDirect, SAGE, PubMed, Google Scholar, and ProQuest with no time restrictions, using relevant keywords. After screening 170 articles, the most relevant studies were selected and analyzed. The reviewed literature indicates that 3D printing serves as an effective tool in medical education by improving anatomical comprehension, providing accurate visualization of bony structures, and facilitating teaching processes. The findings were categorized into four main themes: key features of 3D printing technology, educational applications of bony models, orbit-specific 3D models and diversity of educational and clinical applications. 3D printing holds significant value in medical education by offering realistic and tangible models that enhance structural understanding and support more precise preoperative planning.

KEYWORDS

Orbital Anatomy, 3D Printed Models, Medical Education.



«مقاله پژوهشی»

مروری بر کاربرد فن آوری چاپ سه بعدی در آموزش آناتومی با تأکید بر بافت‌های استخوانی و اربیت

رؤیا وطن‌خواه^{۱*}، محمد اعتضاد رضوی^۲، بهار تفقیدی یوسفی^۳، علی عمادزاده^۴، سیروس نکویی^۵، حسین کریمی موفقی^۶، مجید خادم رضاییان^۷

چکیده

این مطالعه با هدف مرور کاربرد چاپ سه بعدی در آموزش بافت‌های استخوانی، به‌ویژه اربیت، انجام شد. جستجوی گسترده در پایگاه‌های SAGE، ScienceDirect، ERIC، Scopus، PubMed، Google Scholar و ProQuest بدون محدودیت زمانی و با کلیدواژه‌های مرتبط انجام شد. پس از غربالگری ۱۷۰ مقاله، مرتبط‌ترین مطالعات انتخاب و تحلیل شدند. بررسی‌ها نشان داد چاپ سه بعدی به‌عنوان ابزاری مؤثر در آموزش پزشکی، موجب بهبود درک آناتومیک، نمایش دقیق ساختارهای استخوانی و تسهیل فرایند یاددهی می‌شود. نتایج مطالعات در چهار محور اصلی طبقه‌بندی شدند: ویژگی‌های فناوری سه بعدی، کاربرد مدل‌های استخوانی در آموزش، مدل‌های سه بعدی اختصاصی اربیت و کاربردهای بالینی و آموزشی متنوع. چاپ سه بعدی در آموزش پزشکی ارزشمند است و با ارائه مدل‌های واقعی‌تر و ملموس، به درک بهتر ساختارها و برنامه‌ریزی دقیق‌تر پیش از مداخلات جراحی کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی

آناتومی اربیت، مدل‌های چاپ سه بعدی، آموزش پزشکی.

۱. مرکز تحقیقات آموزش علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران و معاونت آموزشی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
۲. مرکز تحقیقات چشم، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
۳. بیمارستان چشم خاتم، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
۴. گروه آموزش پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
۵. گروه رادیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
۶. مرکز تحقیقات مراقبت‌های پرستاری و مامایی، گروه پرستاری داخلی-جراحی، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
۷. مرکز تحقیقات آموزش علوم پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران و گروه پزشکی اجتماعی و بهداشت عمومی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

نویسنده مسئول:

رؤیا وطن‌خواه

رایانامه: Watankhahrl@mums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

استناد به این مقاله:

اعتضاد رضوی، محمد؛ تفقیدی یوسفی، بهار؛ عمادزاده، علی؛ نکویی، سیروس؛ کریمی موفقی، حسین؛ خادم رضاییان، مجید؛ و وطن‌خواه، رؤیا. (۱۴۰۵). «مروری بر کاربرد فن آوری چاپ سه بعدی در آموزش آناتومی با تأکید بر بافت‌های استخوانی و اربیت». *فناوری و دانش پژوهی در تعلیم و تربیت*، ۳(۳)، ۱۳۴-۱۲۱. <https://doi.org/10.30473/t-edu.2026.74945.1291>



مقدمه

از تجزیه و تحلیل تعریف‌های جدید فن‌آوری آموزشی چنین برمی‌آید که فن‌آوری آموزشی فرآیندی سیستماتیک و نظام‌مند برای حل مسائل آموزشی است که از طریق شناسایی و تعریف مسئله، طراحی و تدوین روش حل مسئله، اجرای روش طراحی‌شده و ارزشیابی نتایج فرآیند طراحی‌شده انجام می‌گیرد؛ به‌منظور آگاهی از میزان کارایی آن در حل مشکل و میزان اثربخشی آن در ارتقای کیفیت آموزش و یادگیری. به عبارت دیگر، فن‌آوری آموزشی حوزه‌ای از دانش بشری و از نوع کاربردی است که با دیدی منسجم و نظام‌دار به وقایع تشکیل‌دهنده آموزش می‌نگرد و راه‌حل‌ها، روش کارها، راهبردها و الگوهای خاصی را برای اجرای امر آموزش در شرایط مختلف و برای فراگیران گوناگون ارائه می‌دهد. از مفاهیم فن‌آوری آموزشی، به فنونی اطلاق می‌شود که در طراحی نرم‌افزارها، مواد آموزشی و یا برنامه‌های مکمل یادگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. به کمک روش‌های آموزشی مبتنی بر فن‌آوری می‌توان هزینه‌های دستیابی به طیف وسیعی از اهداف آموزشی را حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد کاهش داد. مواد چاپی، ابزارهای صوتی، ویدئوکنفرانس، ابزارهای کامپیوتری و تلفیقی از این ابزارها، فن‌آوری‌های ارائه یا ابزارهای ارتباطی را فراهم ساخته‌اند (Zangeneh, 2011).

امروزه حوزه تعلیم و تربیت سهم قابل‌توجهی از پیشرفت‌های فن‌آوری را به خود اختصاص داده است و این پیشرفت‌ها با سرعت مشخصی به محیط‌های آموزشی راه یافته‌اند. نوآوری‌های مختلف فن‌آوری به‌طور مستمر در محیط‌های آموزشی مورد آزمایش قرار می‌گیرند و مزایای آموزشی آن‌ها از روش‌های گوناگون مورد بررسی واقع می‌شود (Yildirim, 2018). با پیشرفت‌های سریع در سخت‌افزارهای کامپیوتری، فن‌آوری‌های آموزشی قادرند تجربیات یادگیری منحصربه‌فردی را با استفاده از تصاویر سه‌بعدی، بازخورد لمسی و تعامل کاربر در زمان واقعی فراهم کنند. تأثیر مثبت این فن‌آوری‌ها در توسعه شایستگی‌های علمی دانشجویان، دسترسی بهتر به دانش و ایجاد ارتباط روشن‌تر میان علم و فن‌آوری غیرقابل انکار است؛ بنابراین، مزایای بالقوه ابزارهای آموزشی چندحسی و کاربرپسند مبتنی بر چاپ سه‌بعدی برای جامعه آموزشی بسیار حائز اهمیت است (Hite et al., 2019).

موفقیت گسترده چاپ سه‌بعدی در حوزه پزشکی ناشی از سهولت پردازش تصاویر پزشکی است؛ زیرا این تصاویر عمدتاً شامل ساختارهای استخوانی با کنتراست بالا می‌باشند. فرآیند

تقسیم‌بندی، که امکان تبدیل تصاویر پزشکی به مدل‌های مجازی را فراهم می‌سازد، شامل استخراج ساختارهای خاص از هر لایه داده تصویری است. پس از اتمام این مرحله، مدل نهایی به فرمت مناسب برای چاپ سه‌بعدی تبدیل و پس از مرحله پس‌پردازش، ماکت آناتومیک مورد نظر تولید می‌شود (Auricchio and Marconi, 2016).

چاپ سه‌بعدی امکان تولید قالب‌های سفارشی ایمپلنت را فراهم کرده و دقت بازسازی دیواره اربیت را افزایش می‌دهد (Kang et al., 2018). استفاده از برنامه‌ریزی مجازی و چاپ سه‌بعدی همراه با استخوان اتولوگ، روشی دقیق و مؤثر برای بازسازی کف اربیت ارائه می‌دهد (Vehmeijer et al., 2016). مدل‌های چاپ‌شده سه‌بعدی به جراحان کمک می‌کنند بازسازی دیواره اربیت را به‌صورت سفارشی و با دقت بالاتر انجام دهند (Oh et al., 2016). همچنین چاپ کم‌هزینه سه‌بعدی می‌تواند ابزار مناسبی برای ساخت قالب‌های ایمپلنت در بازسازی‌های ثانویه اربیت باشد (Callahan et al., 2017). بازسازی سفارشی دیواره اربیت با استفاده از مدل‌های اختصاصی، موجب بهبود نتایج جراحی و کاهش مدت بستری بیماران می‌شود (Zieliński et al., 2017). افزون بر این، جراحی‌های بازسازی ضربه‌ای اربیت با کمک چاپ سه‌بعدی شخصی‌سازی‌شده، نتایج بالینی مطلوب‌تر و تطابق بیشتری با ساختارهای طبیعی ایجاد می‌کنند و کاربردهای جدیدی در تشخیص پزشکی و برنامه‌ریزی درمانی ارائه می‌دهند (Fan et al., 2017; Weadock et al., 2019).

این فن‌آوری همراه با طراحی و نمونه‌سازی به کمک رایانه، امروزه در درمان شکستگی‌های پیچیده استخوانی اربیت مورد استفاده قرار می‌گیرد و امکان استفاده از مدل‌های مجسمه مشابه آناتومی بیمار پیش از عمل را فراهم می‌سازد (Dave et al., 2018). چاپ سه‌بعدی مدل‌ها در آموزش آناتومی پیچیده، به‌ویژه آناتومی استخوان، برای دانشجویان پزشکی و دستیاران تخصصی کاربرد فراوانی دارد (Venail et al., 2010). مدل‌های سه‌بعدی به‌ویژه برای درک نواحی استخوانی پیچیده مانند اربیت که فضایی محدود و حساس دارد بسیار مفید هستند (Meyer et al., 2018). آناتومی بدون پوشش بافت نرم، فرصت منحصربه‌فردی برای آموزش درک سه‌بعدی از مجسمه طبیعی و پاتولوژیک فراهم می‌کند (Ghizoni et al., 2018).

با این چشم‌انداز، چاپ سه‌بعدی اعضای بدن منجر به ظهور یک فن‌آوری نوین و انقلابی در عرصه پزشکی شده است و کاربردهای آن در آموزش و یادگیری در مطالعات متعدد مورد تأیید

قرار گرفته است (Fang et al., 2014; Cannon et al., 2014; Levin et al., 2015).

با توجه به اینکه اکنون، فن‌آوری چاپ سه‌بعدی تقریباً در همه زمینه‌های آموزشی استفاده می‌شود و تأثیر مهمی در توسعه محیط‌های یادگیری مؤثر و ایجاد انگیزه و تجربه‌های یادگیری در فراگیران می‌گذارد و همچنین به‌عنوان ابزار مهمی در پیشرفت هوش بصری افراد است و فعالیت‌های یادگیری سریع‌تر و کارآمدتری را در آموزش اطلاعات مفهومی یا موقعیت‌های پیچیده توسعه می‌دهد. علاوه بر این مدل‌های سه‌بعدی استخوانی می‌توانند نتایج دانش طولانی‌مدت را در درک شرایط فضایی اندام‌های آناتومیک بهبود بخشند. در همین راستا، فنون آموزشی تعاملی سه‌بعدی در تسهیل یادگیری و همچنین دانش طولانی‌مدت مواد آموزشی کمک‌کننده است. بنابراین بر آن شدیم تا این مطالعه را با هدف مروری بر فن‌آوری آموزشی سه‌بعدی در بافت‌های استخوانی انجام دهیم.

در این جستجو یکصد و هفتاد مقاله بررسی و طبق ملاک‌های زیر موارد مربوط استخراج شدند. برای انتخاب مقالات مورد استفاده ابتدا عناوین یافت‌شده توسط موتور جستجوگر از نظر ارتباط موضوعی بررسی شدند. مستندات دریافت‌شده در سه گروه درگاه اینترنتی، مقاله و کتاب تقسیم شدند. ملاک انتخاب درگاه‌های اینترنتی پس از ارتباط موضوعی، داشتن پسوند دانشگاهی ac یا آموزشی Edu بود. بعد از بررسی درگاه‌ها، مواردی که پربارتر از بقیه بودند به‌عنوان مرجع مورد استفاده قرار گرفتند. در خصوص کتاب، ملاک انتخاب، ارتباط موضوعی و در دسترس بودن بود. مقالات نیز پس از بررسی عنوان، در مرحله بعد از لحاظ نزدیکی چکیده با هدف مورد نظر ارزیابی شدند.

موارد منتخب به‌طور کامل مطالعه و بررسی شدند. مواردی که به جای مقاله چاپ سه‌بعدی، مفهوم یا نقد را در برداشت از مطالعه حذف شد. از مقالات منتخب خلاصه‌برداری شد. مطالب جمع‌آوری شده در چهار حیطه "ویژگی‌های اصلی فن‌آوری سه‌بعدی"، "کاربرد بافت‌های سه‌بعدی آموزشی استخوانی"، "مدل‌های سه‌بعدی اربیت" و "کاربردهای بالینی و آموزشی متنوع" تقسیم‌بندی شدند. در صورت نیاز نقد مطالب توسط نگارنده صورت پذیرفت.

روش

یک جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های داده معتبر انجام شد:

پابمد، ساج، گوگل اسکالر، ساینس دایرکت، اسکاپوس، پروکوئست، اریک^۱

کلیدواژه‌ها شامل ترکیبی از عبارت‌های زیر بودند:

- چاپ سه‌بعدی
- تکنولوژی آموزشی
- آموزش آناتومی
- استخوان چشم
- اربیت^۲

جستجوها بدون محدودیت زمانی و به زبان‌های فارسی و انگلیسی انجام شد. از اپراتورهای (اند و اور^۳) برای ترکیب کلیدواژه‌ها و پوشش جامع مقالات مرتبط استفاده شد.

معیارهای ورود مقاله طبق الگو زیر انجام شد.

- مقالات پژوهشی اصلی، مرور نظام‌مند یا مروری^۴
- تمرکز بر کاربرد چاپ سه‌بعدی در آموزش آناتومی یا مدل‌های بافت استخوانی

- انتشار به زبان فارسی یا انگلیسی

- ارائه داده یا یافته‌های قابل استفاده در آموزش یا شبیه‌سازی

بالینی

و معیارهای خروج شامل مقالات غیرمرتبط با آموزش یا کاربرد بالینی چاپ سه‌بعدی، مقالات تکراری، چکیده‌های بدون متن کامل، مقالات به زبان‌های دیگر غیر از فارسی و انگلیسی، مقالاتی که فقط شامل نقد، نظریه یا مفهوم کلی بدون داده عملی بودند.

پروتکل جستجو و غربالگری

مجموعاً ۱۷۰ مقاله شناسایی شد. مقالات غیرمرتبط حذف شدند؛ تعداد باقی‌مانده ۸۵ مقاله بود. تعداد ۴۰ مقاله برای مطالعه کامل انتخاب شد. پس از ارزیابی کامل، ۳۴ مقاله به‌عنوان مرتبط‌ترین مطالعات برای تحلیل نهایی انتخاب شد.

استخراج داده‌ها: اطلاعات مربوط به چهار محور اصلی ویژگی‌های فن‌آوری سه‌بعدی، کاربرد مدل‌های سه‌بعدی استخوانی در آموزش، مدل‌های سه‌بعدی اختصاصی اربیت، کاربردهای بالینی و آموزشی متنوع جمع‌آوری شد.

• "Anatomy education"

• "Orbital bone"

• "Orbit"

3. AND/OR

4. Review

1. Scopus, ERIC, ScienceDirect, SAGE, PubMed, Google Scholar و ProQuest.

2. 3D printing

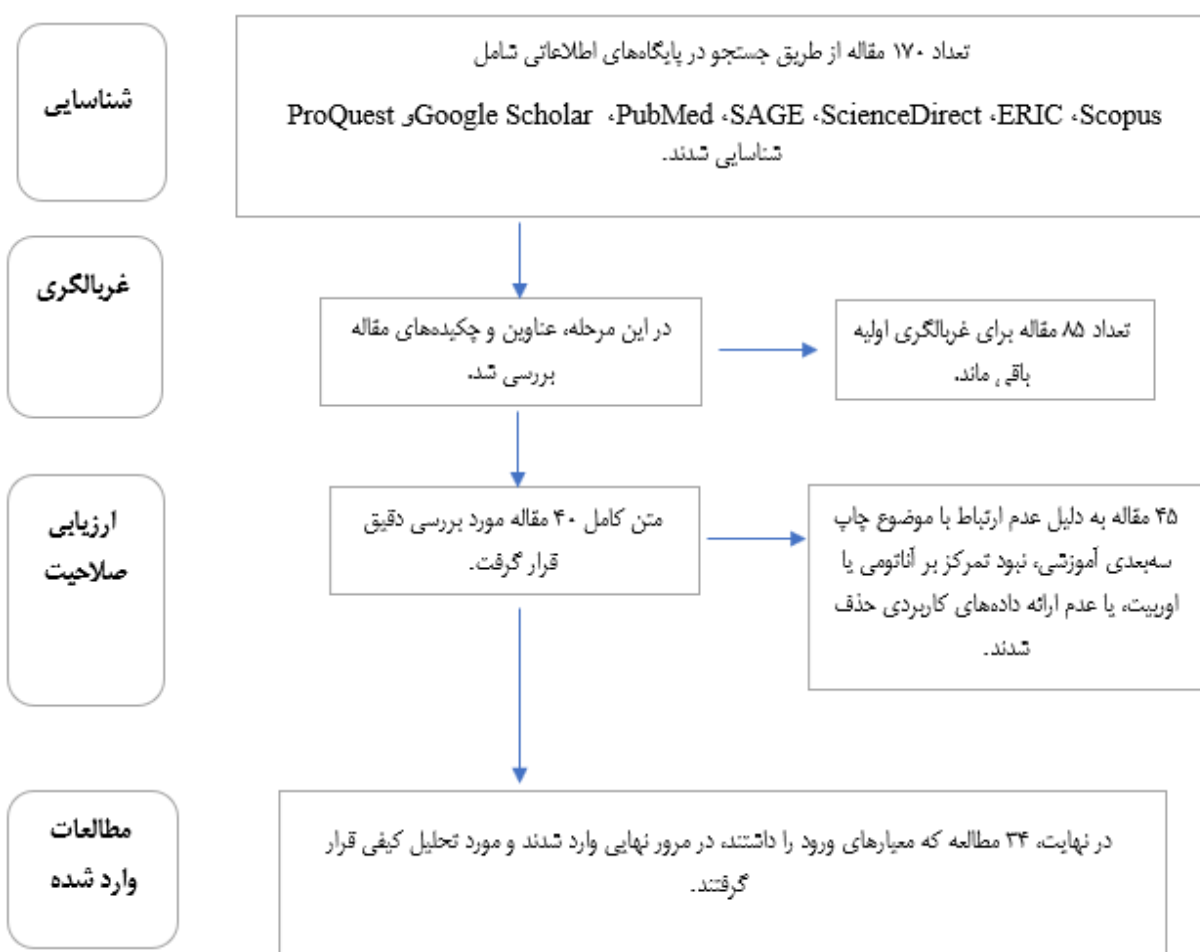
• "Three-dimensional printing"

• "Educational technology"

جدول شماره ۱. دسته‌بندی موضوعی

توضیح مختصر	تعداد مقالات	محور اصلی
ویژگی‌های اصلی فن‌آوری سہ بعدی	۷	شامل سرعت تولید، کاهش هزینه، آزادی طراحی، قابلیت سفارشی‌سازی و دسترسی آسان
کاربرد بافت‌های سہ بعدی آموزشی استخوانی	۱۹	شامل آموزش آناتومی استخوان‌ها، شبیه‌سازی جراحی، برنامه‌ریزی آموزشی، و افزایش دقت یادگیری فضایی
مدل‌های سہ بعدی آموزشی اربیت	۶	شامل آموزش جراحی اربیت، بازنمایی آناتومیک پیچیده، شبیه‌سازی کرانیوسینوستوز و شکستگی‌های اربیت
کاربردهای بالینی و آموزشی متنوع	۱۳	شامل آموزش عمومی آناتومی، شبیه‌سازی بیماران، و استفاده در برنامه‌ریزی و طراحی ایمپلنت‌ها

جریان مقالات براساس مدل پریزما^۱ به صورت زیر و در دیاگرام نمایش داده شده است.



شکل ۱. نمودار جریان پریزما (فرایند جستجوی مقالات) برای انتخاب مطالعات مرتبط با کاربرد چاپ سہ بعدی در آموزش آناتومی و بافت‌های استخوانی

یافته‌ها

ویژگی‌های اصلی فن آوری سه بعدی

فناوری سه بعدی، ویژگی‌های عملکردی اساسی از قبیل سرعت، که یکی از مزایای اصلی آن، توانایی تولید قطعات با سرعتی بالاتر از سایر تکنیک‌های تولید متعارف است. این ویژگی به‌خصوص برای نمونه‌سازی سریع، به طراح اجازه می‌دهد که یک نمایش فیزیکی از ایده خود را ظرف چند ساعت به نمایش بگذارد. شفافیت و کاهش هزینه‌های مواد و نیروی کار، این فن آوری سبب کاهش ریسک در هنگام گردش کاری تولید می‌گردد. با استفاده از فن آوری‌های ساخت افزایشی برای نمونه‌سازی سریع، کسب و کار قادر به مشاهده و تعمیر مدل‌ها قبل از ارسال آنها برای تولید نهایی می‌باشد. این امر تا حد زیادی باعث کاهش هزینه‌های غیر ضروری در طول فرایند تولید می‌شود. عملکرد خودکار و افزایش آزادی در طراحی و پیچیدگی هندسه، با توجه به فرایند لایه به لایه‌ای که در تکنولوژی چاپ سه بعدی وجود دارد، قادر به دستیابی به زاویه‌ها و شکل‌هایی است که ساخت آن با استفاده از سایر تکنیک‌های تولید تقریباً غیرممکن است.

کاربرد آسان و قابلیت دسترسی، هر ساله تکنولوژی‌های تولید افزایشی مقرون به صرفه‌تر شده و به این ترتیب به‌طور فزاینده‌ای برای گستره وسیع‌تری از کاربردهای صنعتی قابل دسترس می‌گردند. همراه با این رشد، دانش و سهولت در استفاده نیز افزایش یافته و در نتیجه تعداد بیشتری از افراد قادر به ادغام این فن آوری در جریان کار خود خواهند بود.

اعتماد و تکرارپذیری و سفارشی‌سازی انبوه، از آنجایی که قطعات چاپ سه بعدی شده معمولاً در یک زمان تولید می‌شوند، این ویژگی به طراحان امکان تغییر، اصلاح، تکرار و یا سفارشی کردن محصولات خود را به‌منظور تطبیق با ویژگی‌های درخواستی می‌دهد. ۷ مقاله در مورد ویژگی‌های اصلی فن آوری سه بعدی پرداخته بودند که یافته‌های اصلی آنها در بالا اشاره شد.

همین ویژگی‌های اساسی است که باعث شده هم اکنون بیش از دو سوم از کاربران، از توانایی چاپ سه بعدی بهره ببرند. هر سامانه‌ای چاپ زیستی سه بعدی از دو اصل پیروی می‌کند، نخست می‌بایست اطلاعات دقیق از بافت استخوانی و اعضای بدن برای طراحی مدل را داشته باشد و دوم آنکه سرور باید توانایی انتقال اطلاعات را به پیام‌های الکتریکی جهت کنترل چاپگر برای چاپ بافت‌ها را داشته باشد و مدام نیز بتواند حیات سلول‌ها را طی فرایند ساخت محفوظ نماید.

کاربرد بافت‌های سه بعدی آموزشی استخوانی

چاپ سه بعدی با استخوان‌های انسانی چندین مزیت دارد. اول اینکه استخوان‌ها به صورت کلی، تک‌رنگ هستند و از بافت سخت ساخته شده‌اند و به‌عنوان ساده‌ترین مؤلفه بدن انسان است، بافت استخوانی با دقت بالایی و حفظ ارزش دیداری و لمسی از بافت واقعی در چاپ سه بعدی ظهور پیدا می‌کند. دوم اینکه بافت استخوانی برای مطالعه آناتومی، از منابع اصلی مورد استفاده برای آموزش استخوان‌شناسی آناتومیک است.

فن آوری سه بعدی در زمینه آموزش آناتومی لگن در مورد ساختارهای آناتومیک و روابط سه بعدی مهم در ایجاد مدل‌های سه بعدی لگن به‌منظور درک بهتر کاربرد دارد و چاپ سه بعدی اتصالات مهره دنده‌ای قفسه سینه با برش‌های کمی ضخیم‌تر به عنوان حجم جزئی از استخوان در دو طرف فضای مشترک باعث می‌شود تا قسمت مهره‌ها و سر دنده‌ها را به هم متصل کند. مدل چاپی سه بعدی منفرد قفسه سینه که واضحاً مفاصل دنده‌ها با مهره‌ها را قابل تجسم و درک فضایی می‌کند.

علاوه بر این چاپ، فرصتی بی‌نظیری برای ایجاد دستورالعمل سوراخ کردن استخوانی با استفاده از مواد سازگار با زیست در اختیار متخصصین ارتوپدی یا جراحی قرار می‌دهد. از مدل‌های چاپی سه بعدی کل ستون فقرات برای برنامه‌ریزی روش اصلاح، شناسایی ساختارهای پیچیده یا غیرطبیعی و شبیه‌سازی کاشت می‌توان استفاده کرد و بافت‌های سه بعدی استخوانی در آموزش تشخیص شکستگی استخوان در مقایسه با رادیوگرافی و سی‌تی‌اسکن، دقت را افزایش می‌دهد.

مدل‌ها و استخوان‌های واقعی کاملاً شکننده هستند و تاکنون فقط در تظاهرات بالینی استفاده می‌شده‌اند و دانشجویان بسیار محدود برای برخورد و معاینه مستقیم از آنها استفاده می‌کردند. با ظهور چاپ سه بعدی، دانشجویان اکنون می‌توانند ماکت‌های دقیق خود را که در چندین نسخه چاپ شده است، کنترل و بررسی کنند. برای تولید چاپ‌های سه بعدی دقیق در پروژه‌های آموزشی طولانی‌مدت، استخوان‌های انسان مرکز تمرکز قرار می‌گیرند و کسب دانش عمیق در مورد ساختارهای استخوانی و امکان استفاده از این دانش، در بستر بالینی در بسیاری از رشته‌های پزشکی یک ضرورت است.

هم‌اکنون در ایران در عمل جراحی منحصر به فردی از یک مفصل یا استخوان مصنوعی که کامل به شکل و اندازه بیمار ساخته شده استفاده می‌شود. در این روش محققان ابتدا به کمک سی تی

به دلیل آناتومی پیچیده اربیت، جراحی آن روشی چالش برانگیز است. بنابراین آموزش ویژه از طریق الگوهای اختصاصی پرینت سه بعدی مفید واقع می شود. با استفاده از چاپ سه بعدی، بازنمایی آناتومیک و ویژگی های بافت سخت واقعی اتفاق می افتد. فن آوری چاپ سه بعدی در زمینه اختلالات بینایی در کلاس درس کمک کننده باشد و اثربخشی استفاده از مدل های چاپی سه بعدی در مقابل گرافیک لمسی سستی برای آموزش قدرتمندتر است.

یکی از آنومالی های اربیت، به نام کرانیوسینوستوز، یک بیماری پیچیده است که بخش عمیقی از آناتومی را درگیر می کند و یک اشتباه جزئی در حین عمل می تواند کشنده باشد. مدل های سه بعدی کرانیوسینوستوز به عنوان گزینه عالی برای اهداف آموزشی است و به طور بالقوه ابزاری مهمی برای بهبود کیفیت مدیریت بیماران مبتلا به کرانیوسینوستوز است. ۶ مقاله در مورد مدل های سه بعدی آموزشی اربیت پرداخته بودند که یافته های اصلی آنها در بالا اشاره شد. در جدول ۲ مقایسه ای مقالات با جزئیات آورده شده است.

اسکن از مفصل یا استخوان بیمار یک تصویر سه بعدی تهیه می کنند و پس از آن به کمک یک دستگاه چاپگر سه بعدی پروتزی می سازند که کامل فیت و اندازه ناحیه آسیب دیده بیمار است. بدین ترتیب اتصال بین پروتز و استخوان یا هر بافت دیگری که به این شکل تهیه می شود بسیار بهتر از پروتزی هایی است که برای همه بیماران از یک شکل ثابت پروتز استفاده می شود. ۱۹ مقاله در مورد کاربرد بافت های سه بعدی پرداخته بودند که یافته های اصلی آنها در بالا اشاره شد.

مدل های سه بعدی آموزشی اربیت

مدل های سه بعدی برای آموزش و یادگیری در موضوعات مختلف بیان کننده کاربرد مفید این مولاژهاست. مدل های سه بعدی به منظور بهبود مهارت های درک تجسمی - فضایی دانشجویان در فرآیند یاددهی - یادگیری تاثیرگذار است. یادگیری از مدل های سه بعدی پیچیده، دانشجویان را ملزم می کند تا بین ویژگی های مدل و دانش پس زمینه در مورد حوزه نقشه برداری کنند. این مدل ها بازخورد سازنده ای را ارائه می دهند و باعث می شود آنها به درک های غلط، براساس ایده های ناقص بپردازند و ایده های صحیح را تأیید کنند.

جدول شماره ۲. مقایسه ای مقالات

رفرنس	نمونه / جامعه هدف	موضوع / تمرکز	نوع مطالعه	سال	یافته های کلیدی
Yildirim G.	دانش آموزان متوسطه	تجربه دانش آموزان با برنامه ها و چاپگرهای سه بعدی	مطالعه تجربی	۲۰۱۸	تجربه کاربری مثبت دانش آموزان با نرم افزارها و چاپ سه بعدی
Hite R. et al.	معلمان علوم	پذیرش فناوری آموزش سه بعدی واقعیت مجازی کاربردهای بالینی چاپ سه بعدی در ارتوپدی و تروماتولوژی	مطالعه تجربی	۲۰۱۹	پذیرش بالای معلمان از آموزش سه بعدی و واقعیت مجازی چاپ سه بعدی برای برنامه ریزی جراحی و ساخت ایمپلنت کاربرد دارد.
Auricchio F. & Marconi S.	بیماران ارتوپدی	قالب های سفارشی ایمپلنت اربیت	مرور بالینی	۲۰۱۶	چاپ سه بعدی بازسازی دقیق دیواره اربیت را امکان پذیر می کند.
Kang S. et al.	بیماران اربیت	بازسازی کف اربیت با چاپ سه بعدی و استخوان اتولوگ	پژوهش بالینی	۲۰۱۸	برنامه ریزی مجازی و چاپ سه بعدی بازسازی دقیق ارائه می دهد.
Vehmeijer M. et al.	بیماران با شکستگی اربیت	بازسازی سفارشی دیواره اربیت	پژوهش بالینی	۲۰۱۶	مدل های چاپ شده کمک به جراحی سفارشی می کنند.
Oh TS. et al.	بیماران بازسازی ثانویه اربیت	چاپ کم هزینه قالب ایمپلنت	پژوهش بالینی	۲۰۱۷	چاپ سه بعدی کم هزینه برای ساخت قالب مفید است.
Callahan AB. et al.	بیماران اربیت	بازسازی کلاسیک در مقابل سفارشی دیواره اربیت	پژوهش مقایسه ای	۲۰۱۷	بازسازی سفارشی نتایج جراحی و دوره بستری را بهبود می دهد.
Zieliński R. et al.	بیماران اربیت	بازسازی ضربه ای اربیت	پژوهش بالینی	۲۰۱۷	چاپ سه بعدی شخصی سازی شده تطابق بهتر با ساختار طبیعی دارد.
Fan B. et al.	بیماران اربیت				

رفرنس	نمونه / جامعه هدف	موضوع / تمرکز	نوع مطالعه	سال	یافته‌های کلیدی
Weadock WJ. et al.	بیماران جراحی اربیت	ساخت قالب ایمپلنت با مدل چاپی	مطالعه کاربردی	۲۰۱۹	مدل‌های چاپ‌شده برای قالب‌سازی ایمپلنت استفاده شد.
Dave TV. et al.	بیماران اربیت	چاپ سه‌بعدی سفارشی برای ایمپلنت مهاجرتی	مطالعه بالینی	۲۰۱۸	چاپ سه‌بعدی راهکار نوین برای ایمپلنت مهاجرتی ارائه می‌دهد.
Venail F. et al.	دانشجویان پزشکی	آموزش آناتومی استخوان تمپورال با نرم‌افزار سه بعدی	مطالعه آموزشی	۲۰۱۰	استفاده از تصاویر سه‌بعدی به بهبود یادگیری کمک می‌کند.
Meyer ER. et al.	دانشجویان پزشکی	اعتبارسنجی مدل مجازی لگن برای آموزش آناتومی	مطالعه آموزشی	۲۰۱۸	مدل سه‌بعدی لگن معتبر و مؤثر در آموزش آناتومی
Ghizoni E. et al.	جراحان و دانشجویان	مدل چاپی کرانیوسینوستوز	مطالعه کاربردی	۲۰۱۸	مدل سه‌بعدی برای شبیه‌سازی جراحی و آموزش کاربرد دارد.
Fang TY. et al.	دانشجویان پزشکی	شبیه‌ساز واقعیت مجازی با حسگر لمسی برای آناتومی تمپورال	مطالعه آموزشی	۲۰۱۴	شبیه‌ساز VR با بازخورد لمسی یادگیری مؤثر ارائه می‌دهد.
Cannon WD. et al.	رزیدنت‌ها	آموزش رزیدنت‌ها در جراحی زانو با واقعیت مجازی ^۱	مطالعه آموزشی	۲۰۱۴	شبیه‌ساز واقعیت مجازی توانمندی‌های جراحی را ارتقا می‌دهد.
Levin MF. et al.	بیماران توانبخشی	واقعیت مجازی برای توانبخشی اندام فوقانی	مطالعه آموزشی	۲۰۱۵	VR مبتنی بر اصول کنترل و یادگیری حرکتی مؤثر است.
Zou Q. et al.	عمومی	پیشرفت‌های چاپ سه‌بعدی در پزشکی	مرور	۲۰۱۹	چاپ سه‌بعدی در پزشکی رو به رشد و کاربردهای بالینی متنوع دارد.
Yildirim G.	دانش‌آموزان	تجربه دانش‌آموزان با نرم‌افزار و چاپ سه‌بعدی	مطالعه تجربی	۲۰۱۸	تجربه مثبت دانش‌آموزان و علاقه به چاپ سه‌بعدی
Dave TV. et al.	بیماران اربیت	چاپ سه‌بعدی سفارشی ایمپلنت	مطالعه بالینی	۲۰۱۸	چاپ سه‌بعدی برای اصلاح ایمپلنت کاربرد دارد.
Smektala T. et al.	بیماران کرانیوسینوستوز	اصلاح حجم اربیت پس از LeFort III	پژوهش بالینی	۲۰۱۵	شبیه‌سازی سه‌بعدی تخمین تغییرات حجم اربیت را تسهیل می‌کند.
Hsieh TY. et al.	بیماران جراحی پلاستیک	کاربرد چاپ سه‌بعدی در جراحی پلاستیک و بازسازی صورت	مرور	۲۰۱۷	چاپ سه‌بعدی در جراحی پلاستیک برای برنامه‌ریزی و آموزش مفید است.
Saorin JL. et al.	دانشجویان طراحی و هنر	تفسیر سه‌بعدی آثار هنری با چاپ سه‌بعدی	مطالعه آموزشی	۲۰۱۷	چاپ سه‌بعدی به یادگیری فضایی و درک بهتر کمک می‌کند.
Emadzadeh A. et al.	دانشجویان و پزشکان	کاربردهای چاپ سه‌بعدی در پزشکی	مرور	۲۰۲۰	چاپ سه‌بعدی تحولی در سیستم‌های پزشکی ایجاد کرده است.
Li QY. et al.	دانشجویان پزشکی	چاپ سه‌بعدی استخوان‌های ران برای آموزش آناتومی	مطالعه آموزشی	۲۰۲۰	چاپ سه‌بعدی ماکت دقیق و با حفظ ویژگی‌های آناتومیک ارائه می‌دهد.
AbouHashem Y. et al.	دانشجویان پزشکی	کاربرد چاپ سه‌بعدی در آموزش آناتومی	مرور آموزشی	۲۰۱۵	چاپ سه‌بعدی به افزایش وضوح و یادگیری کمک می‌کند.
Johannes K. et al.	دانشجویان	مدل‌های لمسی و هپتیک در آموزش زیست‌شناسی مولکولی	مطالعه آموزشی	۲۰۱۶	مدل‌های لمسی یادگیری مفاهیم پیچیده را تسهیل می‌کنند.
Weinmann J.	دانشجویان	Makerspaces و چاپ سه‌بعدی در دانشگاه	مرور	۲۰۱۴	دسترسی آزاد به فناوری سه‌بعدی برای یادگیری فعال فراهم است.
Auricchio F. & Marconi S.	بیماران ارتوپدی	کاربردهای چاپ سه‌بعدی در ارتوپدی	مرور بالینی	۲۰۱۶	چاپ سه‌بعدی برای برنامه‌ریزی جراحی و ایمپلنت مفید است.

رفرنس	نمونه / جامعه هدف	موضوع / تمرکز	نوع مطالعه	سال	یافته‌های کلیدی
Schievano S. et al.	تصاویر MRI پس از مرگ	بازسازی آناتومی جنین و نوزاد با پروتوتایپ	پژوهش کاربردی	۲۰۱۰	چاپ سه‌بعدی برای شبیه‌سازی دقیق آناتومی جنین و نوزاد کاربرد دارد.
Ogden KM. et al.	مدل‌های آناتومی	دقت ابعاد مدل‌های چاپی از CT	پژوهش کاربردی	۲۰۱۵	عوامل مؤثر بر دقت چاپ سه‌بعدی بررسی شد.
Lichtenstein JT. et al.	رزیدنت‌ها و دانشجویان	شبیه‌ساز جراحی اربیت چاپ سه‌بعدی	مطالعه آموزشی	۲۰۱۷	مدل سه‌بعدی شبیه‌سازی جراحی اربیت و رضایت کاربران را افزایش می‌دهد.
Vatankhah R.	رزیدنت‌ها	مدل آموزشی سه‌بعدی اربیت و شکستگی‌ها	مطالعه آموزشی	۲۰۲۰	مولاهای سه‌بعدی تأثیر قابل توجهی بر یادگیری رزیدنت‌ها داشتند.

نتیجه‌گیری و بحث

مطالعه حاضر با هدف مروری بر کاربرد فن‌آوری چاپ سه‌بعدی در آموزش آناتومی با تأکید بر بافت‌های استخوانی و اربیت انجام شد و با توجه به مطالعات و اهمیت فن‌آوری آموزشی چاپ سه‌بعدی، یافته‌های خاص مطالعات جمع‌آوری شده در چهار حیطه "ویژگی‌های اصلی فن‌آوری سه‌بعدی"، "کاربرد بافت‌های سه‌بعدی آموزشی استخوانی" و "مدل‌های سه‌بعدی اربیت" تقسیم‌بندی گردید.

پذیرش فناوری بر یادگیری مادام‌العمر با نقش میانجیگری خودکارآمدی رایانه تأثیر بسزایی دارد (Abdi et al., 2023). و عوامل مهمی در پذیرش و کاربرد فناوری‌های پزشکی در بین دانشجویان پزشکی وجود دارد (Nosratabadi et al., 2023).

کاربرد چاپ سه‌بعدی در آموزش آناتومی و بافت‌های استخوانی به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. مرورهای اخیر نشان می‌دهند که مدل‌های آناتومیکی چاپ‌شده سه‌بعدی^۱ ابزارهای مؤثری برای آموزش آناتومی طبیعی هستند؛ از جمله مزایای آن‌ها می‌توان به بهبود درک فضایی، قابلیت لمس و جابه‌جایی ساختارها و افزایش رضایت دانشجویان اشاره کرد (Brumpton et al., 2023).

در مطالعه‌ای در زمینه آموزش آناتومی طبیعی، چاپ سه‌بعدی توانست ساختارهای استخوانی را با هزینه و زمان نسبتاً پایین بازتولید کند و استفاده از این مدل‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی، منجر به ارتقای یادگیری فضایی و افزایش ماندگاری دانش در گروه آموزشی شد (Asghar et al., 2022).

علاوه بر آموزش پایه، چاپ سه‌بعدی در حوزه شبیه‌سازی و آموزش مهارت‌های بالینی نیز کاربرد گسترده‌ای یافته است. به‌عنوان نمونه، مدل‌های سه‌بعدی با دقت آناتومیک بالا امکان تمرین روش‌هایی مانند دسترسی وریدی به روش سلدینگر را برای دانشجویان فراهم کرده‌اند و گزارش‌ها حاکی از بهبود درک فضایی

و مهارت‌های عملی فراگیران با استفاده از این مدل‌ها است (Hyndman & McHugh, 2024).

با این‌حال، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد؛ تولید مدل‌های واقع‌گرایانه مستلزم استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌تر، مواد با کیفیت بالاتر، زمان بیشتر برای طراحی و چاپ و در نتیجه هزینه‌های بالاتر است (Zukowska et al., 2023). علاوه بر این، برخی از مدل‌های چاپ‌شده ممکن است نتوانند جزئیات بافت نرم یا تغییرات پاتولوژیک را به‌طور کامل بازنمایی کنند؛ بنابراین، این مدل‌ها هنوز قادر نیستند به‌طور کامل جایگزین روش‌های سنتی مانند کالبدکافی یا نمونه‌های پلاستینه شوند (3D-Printed Models Are an Innovation in Surgical Practice, 2023).

از ویژگی‌های اصلی فناوری سه‌بعدی می‌توان به کاربرد آن در نمونه‌سازی سریع، کاهش هزینه‌های غیرضروری، قابلیت دستیابی به زوایا و اشکال پیچیده و در نتیجه افزایش آزادی هندسی در طراحی، سهولت استفاده، تکرارپذیری و امکان سفارشی‌سازی انبوه اشاره کرد. به‌طور مشابه، زو و همکاران (۲۰۱۹) به ویژگی‌های چاپ سه‌بعدی در پاسخ‌گویی به نیازهای درمانی شخصی و دقیق پزشکی با توجه به مزایایی نظیر نمونه‌سازی سریع، دیجیتالی‌سازی و سفارشی‌سازی در حوزه پزشکی اشاره کرده‌اند (Zou et al., 2019).

علاوه بر این، یلدریم (۲۰۱۸) چاپ سه‌بعدی را در ارائه عناصر دیداری مانند هنرهای تجسمی و طراحی فناوری در برنامه‌های آموزشی مؤثر دانسته و آزادی هندسی فراهم‌شده برای کاربران را عاملی مهم در شکل‌گیری این دیدگاه معرفی کرده است (Yildirim, 2018).

همچنین، دیو و همکاران (۲۰۱۸) چاپ سه‌بعدی سفارشی را به‌عنوان رویکردی نوین، مقرون‌به‌صرفه و کم‌خطر برای طراحی ایمپلنت‌های بیماران معرفی کردند (Dave et al., 2018).

در همین راستا، اسمکتالا و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود به ارزیابی اصلاح حجم اربیت در بیماران مبتلا به ناهنجاری کرایوسینوسستوز همراه با شکستگی لفورت III با استفاده از رویکرد سه بعدی پرداختند. یافته‌ها نشان داد که این روش، راهکاری سریع و کاربردی برای تخمین تغییرات حجم اربیت ارائه می‌دهد (Smektala et al., 2015).

همچنین، هسی و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که فناوری سه بعدی امکان دسترسی به مدل‌هایی مقرون به صرفه، قابل بازتولید و با شباهت بالا به شرایط واقعی بیمار را برای آموزش جراحی فراهم می‌کند (Hsieh et al., 2017).

علاوه بر این، سائورین و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که فناوری سه بعدی می‌تواند به عنوان یک منبع آموزشی با دسترسی آزاد برای تدریس هدفمند مورد استفاده قرار گیرد و مهارت تفسیر فضایی را به عنوان یک توانمندی اکتسابی در برنامه‌های درسی آموزشی تقویت کند (Saorin et al., 2017).

در مطالعه حاضر، بافت‌های سه بعدی استخوانی در آناتومی بدن انسان کاربرد گسترده‌ای دارند. استخوان به عنوان یک بافت سخت، با استفاده از چاپ سه بعدی با دقت بالا و با حفظ ارزش‌های دیداری و لمسی بافت واقعی بازنمایی می‌شود و در آموزش آناتومی موجب شکل‌گیری درک عمیق‌تری در ذهن فراگیران می‌گردد. این بافت‌های سه بعدی استخوانی همچنین در برنامه‌ریزی آموزشی ساختارهای پیچیده یا غیرطبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در همین زمینه، عمادزاده و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که فناوری چاپ سه بعدی موجب تحول در سیستم‌های علوم پزشکی شده و در رشته‌های مختلفی از جمله داروسازی، چشم‌پزشکی، ارتوپدی، جراحی، قلب و دندان‌پزشکی به کار گرفته شده و نتایج رضایت‌بخشی به همراه داشته است (Emadzadeh et al., 2020).

به طور مشابه، لی و همکاران (۲۰۲۰) به استفاده از چاپ سه بعدی مبتنی بر خدمات آنلاین برای ساخت ماکت‌های سفارشی از نمونه‌های استخوان ران با اندازه‌ها و پیچیدگی‌های متفاوت پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های چاپ شده از دقت نسبتاً بالایی برخوردار بوده و اغلب ویژگی‌های آناتومیک را حفظ کرده‌اند (Li et al., 2020).

همچنین، ابوهاشم و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که استفاده از فناوری سه بعدی در بازنمایی استخوان‌ها موجب تولید تصاویری با وضوح بسیار بالا می‌شود که این امر ضمن صرفه‌جویی در زمان، کیفیت و دقت چاپ سه بعدی را نیز افزایش می‌دهد.

(AbouHashem et al., 2015). به طور مشابه مطالعه جانس و همکاران ۲۰۱۶، از تاثیر چاپ سه بعدی بر درک بهتر مفاهیم بیان داشته است. علاوه بر ادغام چاپ سه بعدی به منظور یادگیری، استفاده از این فناوری می‌تواند در فرایند درک مفاهیم نیز مورد استفاده قرار گیرد (Johannes et al., 2016). علاوه بر این، مطالعه وینمن و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که اساتید می‌توانند از مدل‌های سه بعدی استخوانی برای کمک به توضیح مفاهیم به صورت فیزیکی استفاده کنند؛ این مدل‌ها ابزار مناسبی برای یادگیری بصری بوده و موجب توسعه مهارت‌های عملی دانشجویان پیش از ورود به بازار کار می‌شوند. در نهایت، فناوری چاپ سه بعدی به طور فزاینده‌ای به پیشرفت دانشجویان در سطوح مختلف تحصیلات دانشگاهی کمک می‌کند و دانشجویان را قادر می‌سازد فراتر از آموزش نظری رفته و دانش خود را پیش از ورود به صنعت ارزیابی کنند (Winneman et al., 2018). همچنین، مطالعه ائوریچیو و همکارش (۲۰۱۶) به کاربرد بالینی فناوری چاپ سه بعدی پرداخته و ارائه مدل فیزیکی واقعی از آناتومی برای جراحی را گزارش کرده است؛ یافته‌ها نشان‌دهنده نقش مهم مدل‌های چاپ سه بعدی در برنامه‌ریزی جراحی، آموزش جراحان تازه‌کار و کاهش میزان جراحی مجدد بود (Euricchio et al., 2016). در همین راستا، مطالعات اسپچینو (۲۰۱۰) و اوگدن (۲۰۱۵) در خصوص اجسام مهره‌ای - که به عنوان بافت استخوانی با کتراست بالا شناخته می‌شوند - نشان دادند که چاپ سه بعدی دارای وضوح، دقت بالا و قابلیت لمس‌پذیری است (Schiuno, 2010; Ogden, 2015). مطالعه حاضر، مدل‌های سه بعدی آموزشی اربیت را در بهبود مهارت‌های درک تجسمی-فضایی دانشجویان در فرایند یاددهی-یادگیری مؤثر می‌داند و این مدل‌ها بازخورد سازنده‌ای در یادگیری مفاهیم پیچیده سه بعدی ارائه می‌دهند. با توجه به آناتومی پیچیده اربیت، آموزش اختصاصی از طریق الگوهای چاپ سه بعدی سودمند بوده و بازنمایی آناتومیک دقیق و ویژگی‌های واقعی بافت سخت را فراهم می‌کند. به طور مشابه، مطالعه دوو و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشت که چاپ سه بعدی همراه با طراحی و نمونه‌سازی به کمک رایانه در درمان شکستگی‌های پیچیده اربیت مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ به طوری که می‌توان پیش از جراحی از مدل اولیه مجموعه‌ای مشابه اربیت بیماران بهره برد (Dow et al., 2018). علاوه بر این، یافته‌های مطالعه لیچتنستین و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که شرکت‌کنندگان از مدل‌های سه بعدی شبیه‌سازی شده برای جراحی اربیت و به طور کلی از ویژگی‌های سیستم آموزشی سه بعدی رضایت

براساس یافته‌های مرور حاضر و شواهد به‌روز، چاپ سه‌بعدی مدل‌های آناتومیک به خصوص بافت‌های استخوانی- و در صورت نیاز مدل‌های اربیت- به‌طور مؤثر یادگیری آناتومی را ارتقاء داده و درک فضایی، حفظ دانش و رضایت یادگیرندگان را بهبود می‌بخشد. همچنین این مدل‌ها در آموزش مهارت‌ها و شبیه‌سازی مداخلات بالینی، یک ابزار مقرون به صرفه و قابل دسترس محسوب می‌شوند.

توصیه‌های آموزشی و بالینی

۱. گنجاندن مدل‌های چاپ سه‌بعدی در کوریکولوم آموزشی آناتومی- به‌ویژه در فصولی که ساختارهای استخوانی پیچیده و فضاهای سه‌بعدی (مثل مجسمه، اربیت، لگن، ستون فقرات) تدریس می‌شوند تا یادگیری فضایی و درک ساختاری بهبود یابد.
۲. ترکیب روش‌های آموزشی: ترکیب چاپ سه‌بعدی با کالبدکشی، تصاویر مقطعی، واقعیت مجازی یا مدل‌های پلاستینه برای بهره‌مندی از مزایای همه روش‌ها.
۳. استفاده از مدل‌ها در تمرین مهارت‌های عملی و برنامه‌ریزی جراحی: در دوره‌های رزیدنتی، برای تمرین جراحی استخوان، بازسازی، قرار دادن ایمپلنت یا آماده‌سازی قبل از عمل.
۴. طراحی مدل‌های بیمار-محور: برای جراحی‌های پیچیده (مثلاً اربیت، تروماتولوژی، ارتوپدی) تا دقت و ایمنی بالاتر فراهم شود.
۵. تحقیق و اعتبارسنجی مداوم: مطالعات بیشتر با طراحی دقیق و مقایسه با استاندارد (کالبدکشی، نتایج جراحی واقعی) انجام شود تا کیفیت و اثربخشی آموزش و درمان به‌طور علمی ارزیابی گردد.

تشکر و قدردانی

از همه همکارانی که در مراحل مختلف این پروژه شرکت کرده‌اند به‌خصوص سرکار خانم دکتر طاهره صادقی تشکر می‌نمایم.

دسترسی به داده‌ها

تمام داده‌های پشتیبان مقاله از مقالاتی که DOI داشتند، استفاده شده و فصل‌های کتاب که به صورت آنلاین در دسترس هستند، ارائه شده است.

تعارض منافع

بین نویسندگان مقاله تضاد منافع وجود ندارد.

داشتند و این مدل‌ها به‌عنوان ابزار آموزشی مناسب ارزیابی شدند (Lichtenstein et al., 2017). همچنین، مطالعه وطن‌خواه و همکاران (۲۰۲۰) به تهیه دوازده مدل سه‌بعدی آموزشی از تمامی شکستگی‌های مهم مرتبط با ناحیه اربیت، اغلب اختلالات و آنومالی‌های این ناحیه و چند نمونه آناتومی نرمال پرداخت که نتایج استفاده از این مولاژهای سه‌بعدی توسط دستیاران کاملاً رضایت‌بخش گزارش شد (VatanKhah et al., 2020).

نباید از این نکته غافل شد که چاپ‌های سه‌بعدی ممکن است دارای نقاط قوت و ضعف باشند. در این زمینه، فناوری چاپی سه‌بعدی برای اهداف آموزشی در فرایند یاددهی آناتومی ابزار مناسبی است. مدل‌های سه‌بعدی اربیت با اندازه واقعی در درک و تجسم فضایی محیط مؤثر است. به‌کارگیری چاپ سه‌بعدی در بافت‌های استخوانی قابل لمس نسبت به دستگاه‌های هاپتیک مقرون به صرفه است. در موسساتی که از لحاظ هزینه چاپ مدل‌های آموزشی آناتومی استخوان موقتی پیچیده برای دانشجویان، معذوریت دارند، می‌توان به عنوان محدودیت نام برد. زمان طولانی تولید نمونه و وجود و عدم وجود فلامنت‌ها و هزینه بالای خروجی آن می‌تواند از مهمترین محدودیت‌های آن باشد. فناوری چاپ سه‌بعدی در حیطه آموزشی به خصوص در پزشکی گسترده شده است و در آموزش پزشکی کاربرد فراوان دارد. بهره‌گیری فراوان چاپ سه‌بعدی باعث پیاده‌سازی مفاهیم آموزشی پزشکی و درک بهتر مطالب گردیده و قدرت تجسم فضایی را متحول خواهد کرد.

در زمینه بافت‌های استخوانی و ساختارهای پیچیده‌ای مثل اربیت، مزیت اصلی مدل سه‌بعدی، امکان لمس، مشاهده زوایا و ساختار سه‌بعدی دقیق و چندپاره است؛ چیزی که دوبعدی‌سازی در رادیوگرافی، تصاویر مقطعی یا اطلس‌ها نمی‌تواند فراهم کند. یافته‌های مرور ما نیز این مزیت را تأیید می‌کنند. با این‌حال، محدودیت‌هایی مانند هزینه، زمان ساخت، نیاز به تجهیزات تخصصی و احتمال عدم بازتولید جزئیات دقیق بافت نرم یا سینوس‌ها وجود دارد.

در مجموع، شواهد نشان می‌دهند که چاپ سه‌بعدی؛ هم برای آموزش آناتومی پایه و هم برای شبیه‌سازی و آموزش جراحی یا مداخلات؛ ابزار ارزشمندی است. با این‌حال برای بهره‌برداری کامل، نیاز به استانداردسازی روش ساخت، انتخاب مناسب مواد و ترکیب با سایر روش‌های آموزشی (مثل کالبدکشی، واقعیت مجازی، مدل‌های لمسی یا پلاستینه) است.

مشارکت‌های نویسندگان

مفهوم‌سازی و طراحی مطالعه: محمد اعتضاد رضوی، رؤیا وطن‌خواه
جمع‌آوری داده‌ها: بهار تقفّدی یوسفی، سیروس نکوئی و رؤیا
وطن‌خواه

تحلیل و تفسیر نتایج: سیروس نکوئی، مجید خادم رضاییان
تهیه پیش‌نویس مقاله: حسین کریمی مونقی، رؤیا وطن‌خواه و
علی عمادزاده
همه نویسندگان نتایج را بررسی و نسخه نهایی مقاله را تأیید
کردند.

تامین مالی

این مقاله قسمتی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم
پزشکی مشهد بوده و به‌عنوان طرح تحقیقاتی در معاونت پژوهشی
دانشگاه ثبت شده است.

شفافیت (Declaration)

این مقاله قبلاً در هیچ نشریه‌ای اعم از داخلی یا خارجی چاپ نشده
است.

References

- Abdi, A., Soheili, F., & Ghahramani, S. (1404). The mediating role of computer self-efficacy in the relationship between technology acceptance and lifelong learning in elementary school teachers. *Technology and Knowledge Research in Education*. <https://doi.org/10.30473/t-edu.2025.73722.1248>
- AbouHashem, Y., Dayal, M., Savanah, S., & Štrkalj, G. (2015). The application of 3D printing in anatomy education. *Medical Education Online*, 20(1), 29847. <https://doi.org/10.3402/meo.v20.29847>
- Asghar, A., Naaz, S., Patra, A., Ravi, K. S., & Khanal, L. (2022). Effectiveness of 3D-printed models prepared from radiological data for anatomy education: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Education and Health Promotion*, 11, 353. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_353_22
- Auricchio, F., & Marconi, S. (2016). 3D printing: Clinical applications in orthopaedics and traumatology. *EFORT Open Reviews*, 1(5), 121–127. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.1.000017>
- Brumpt, E., Bertin, E., Tatu, L., & Louvrier, A. (2023). 3D printing as a pedagogical tool for teaching normal human anatomy: A systematic review. *BMC Medical Education*, 23, 783. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04678-5>
- Dave, T. V., Gaur, G., Chowdary, N., & Joshi, D. (2018). Customized 3D printing: A novel approach to migrated orbital implant. *Saudi Journal of Ophthalmology*, 32(4), 330–333. <https://doi.org/10.1016/j.sjopt.2018.03.003>
- Emadzadeh, A., Vatankhah, R., Etezad Razvi, M., Karimi Mouneghi, H., Nekouei, S., Tafaghodi Yousefi, B., & Khadem Rezaeian, M. (2020). An overview of the applications of 3D printing technology in medicine. *Horizon of Medical Education Development*, 11(1).
- Hsieh, T. Y., Dedhia, R., Cervenka, B., & Tollefson, T. T. (2017). 3D printing: Current use in facial plastic and reconstructive surgery. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 25(4), 291–299. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000373>
- Hyndman, D., & McHugh, D. (2024). Simulation-based medical education: 3D printing and the Seldinger technique. *International Medical Education*, 3(3), 180–189. <https://doi.org/10.3390/mededuc3030013>
- Johannes, K., Powers, J., Couper, L., Silbergliitt, M., & Davenport, J. (2016). Tangible models and haptic representations aid learning of molecular biology concepts. *Grantee submission*.
- Li, Q. Y., Zhang, Q., Yan, C., He, Y., Phillip, M., Li, F., & Pan, A. H. (2020). Evaluating phone camera and cloud service-based 3D imaging and printing of human bones for anatomical education. *BMJ Open*, 10(2), e034890. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-034890>
- Lichtenstein, J. T., Zeller, A. N., Lemound, J., Lichtenstein, T. E., Rana, M., Gellrich, N. C., & Wagner, M. E. (2017). 3D-printed simulation device for orbital surgery. *Journal of Surgical Education*, 74(1), 2–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2016.07.009>
- Nosratabadi, S. J., & Ahmadi Deh Qutb al-Dini, M. (1404). Application of integrated theory of technology acceptance and use in predicting acceptance and use of medical technologies among medical students. *Technology and Research in Education*. <https://doi.org/10.30473/t-edu.2025.75539.1316>

Ogden, K. M., Aslan, C., Ordway, N., et al. (2015). Factors affecting dimensional accuracy of 3-D printed anatomical structures derived from CT data. *Journal of Digital Imaging*, 28(6), 654–663. <https://doi.org/10.1007/s10278-015-9798-6>

Patra, S., Ravi, K. S., & Khanal, L. (2022). Effectiveness of 3D-printed models prepared from radiological data for anatomy education: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of*

Education and Health Promotion, 11, 353. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_353_22

Saorin, J. L., Carbonell-Carrera, C., Cantero, J. D., Meier, C., & Aleman, D. D. (2017). Three-dimensional interpretation of sculptural heritage with digital and tangible 3D printed replicas. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 16(4), 161–169.

ضمیمه

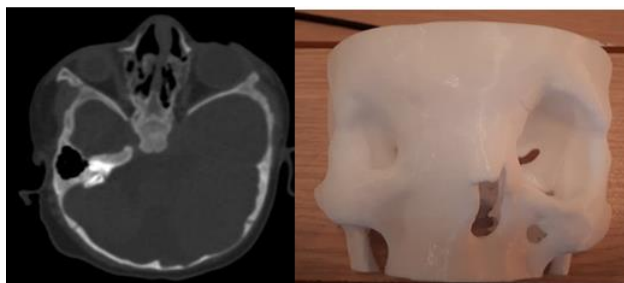
تصاویر سی تی اسکن در مقابل مولاژهای سه بعدی



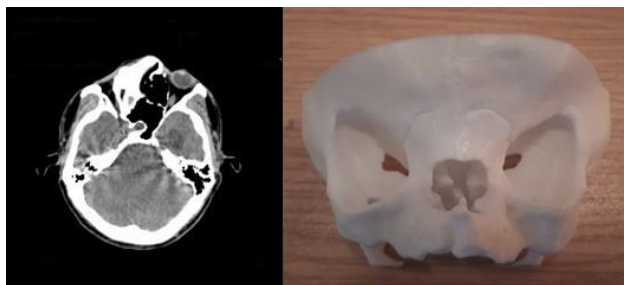
شکل ۷. مولاژ سه بعدی



شکل ۹. مولاژ سه بعدی

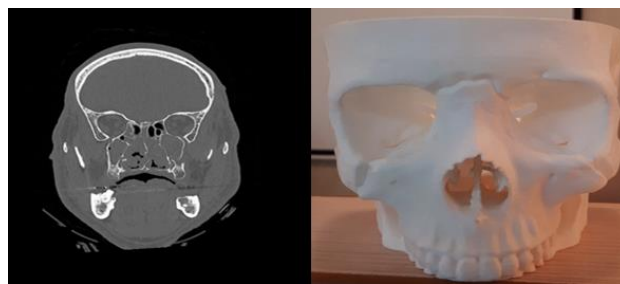


شکل ۱۱. مولاژ سه بعدی

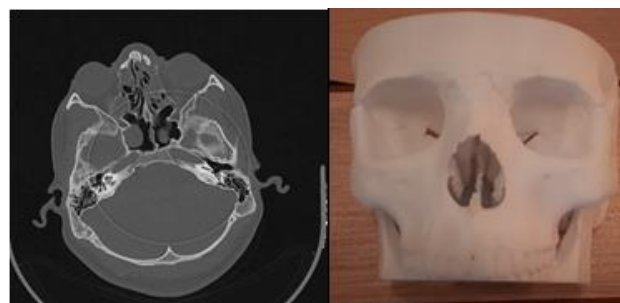


شکل ۱۳. مولاژ سه بعدی

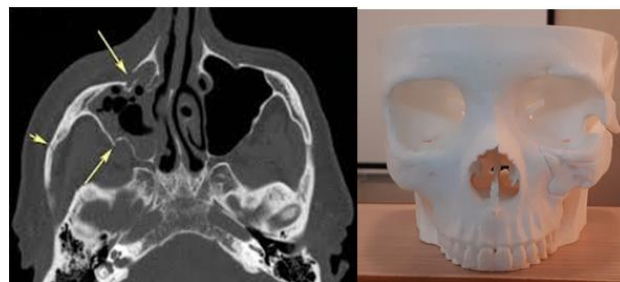
در مقایسه تصاویر سی تی اسکن با مولاژهای پرینت شده سه بعدی، تصاویر تصویر سی تی اسکن زیر که نمایانگر شکستگی لفورت II می باشد. شکل ۱ و در شکل ۲ مولاژ پرینت شده سه بعدی همان شکستگی قابل مشاهده است.



شکل ۱. مولاژ سه بعدی



شکل ۳. مولاژ سه بعدی



شکل ۵. مولاژ سه بعدی



شکل ۶. تصویر سی تی اسکن شکستگی تریپاد کوادری پاد



شکل ۲۰. تصویر سی‌تی‌اسکن شکستگی سقف اربیت



شکل ۱۹. مولاژ سه‌بعدی



شکل ۱۶. تصویر دو بعدی شکستگی دیواره داخلی



شکل ۱۵. تصویر سه بعدی



شکل ۱۸. تصویر سی‌تی‌اسکن شکستگی کف اربیت



شکل ۱۷. مولاژ سه‌بعدی