POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

بیومواد پلیمری چاپ شده سه‌بعدی برای کاربردهای بهداشتی

چکیده

چاپ سه‌بعدی، که به‌عنوان تولید افزایشی نیز شناخته می‌شود، پتانسیل عظیمی برای نمونه‌سازی سریع و تولید سفارشی دستگاه‌های مرتبط با سلامت دارد. با پیشرفت‌های صورت‌گرفته در شیمی پلیمر و مهندسی زیست‌پزشکی، بیومواد پلیمری به بخش جدایی‌ناپذیر کاربردهای زیست‌پزشکی چاپ سه‌بعدی تبدیل شده‌اند. با این حال، هنوز گلوگاهی در سازگاری بیومواد پلیمری با روش‌های مختلف چاپ سه‌بعدی وجود دارد، همچنین چالش‌های ذاتی مانند محدودیت در وضوح و نرخ چاپ نیز وجود دارد. بنابراین، در این مطالعه مروری به معرفی وضعیت کنونی دستگاه‌های پلیمری کاربردی مرتبط با سلامت که به صورت سه‌بعدی چاپ شده‌اند، می‌پردازیم. در این بررسی با مرور کلی از تکنیک‌های چاپ سه‌بعدی آغاز می‌شود و سپس به بررسی بیومواد پلیمری معمولاً استفاده شده می‌پردازیم. در ادامه، نمونه‌هایی از دستگاه‌های زیست‌پزشکی چاپ شده به روش سه‌بعدی ارائه شده و به دسته‌هایی مانند حسگرهای زیستی، محرک‌های زیستی، رباتیک نرم، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، دستگاه‌های خودکفا و علم داده در نقشه‌برداری زیستی طبقه‌بندی شدند. تأکید بر بررسی قابلیت‌های فعلی چاپ سه‌بعدی در تولید بیومواد پلیمری به شکل‌های مورد نظر است که عملکرد دستگاه و همچنین مطالعه دلایل انتخاب مواد را تسهیل می‌نماید. در نهایت، بهبودهایی در آینده نزدیک ارائه می‌شود که سهم چاپ سه‌بعدی عمومی و بیومواد پلیمری را در حوزه بهداشت و درمان پیش‌بینی می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: تولید پیشرفته، زیست پزشکی، مراقبت‌های بهداشتی، داروسازی، پزشکی ترمیمی.

Keywords: advanced manufacturing, biomedical, healthcare, pharmaceutical, regenerative medicine.

نتیجه‌گیری

در مقایسه با تکنیک‌های سنتی تولید برای بیومواد پلیمری، مانند قالبگیری تزریقی، ریخته‌گری محلول، اکستروژن، الکترواسپینینگ، قالبگیری دمشی و قالبگیری فشاری، چاپ سه‌بعدی به دلیل چندین مزیت قابل توجه متمایز است. اولاً، این روش در ایجاد هندسه‌های سفارشی که به نیازهای خاص هر بیمار تطبیق داده شده‌اند، برتری دارد. این قابلیت به‌ویژه در زمینه پزشکی بسیار حیاتی است، جایی که هندسه‌های ارگان می‌توانند بطور قابل توجهی در بین بیماران متفاوت باشند. با استفاده از چاپ سه‌بعدی، متخصصان بهداشت و درمان می‌توانند ایمپلنت‌ها، پروتزها و داربست‌های بافتی را تولید نمایند که بطور دقیق با ویژگی‌های آناتومیکی منحصربه‌فرد هر بیمار مطابقت دارد و در نتیجه نتایج درمانی و رضایت بیمار را بهبود می‌بخشد. علاوه‌بر این،

چاپ سه‌بعدی مزیت متمایزی در کاهش ضایعات مواد در طول فرآیند تولید ارائه می‌دهد. بر خلاف روش‌های سنتی که اغلب مواد اضافی تولید می‌نمایند که استفاده هم نمی‌شوند، چاپ سه‌بعدی امکان رسوب دقیق مواد را لایه به لایه فراهم می‌نماید که منجر به حداقل ضایعات و بهینه‌سازی استفاده از منابع می‌شود. این نه تنها به صرفه‌جویی در هزینه‌ها کمک می‌نماید؛ به‌ویژه با توجه به محدودیت در دسترس بودن بافت‌ها یا سلول‌های کاشته شده استخراج شده از انسان‌ها، بلکه با اصول پایداری نیز هم‌راستا است. بنابراین، در این مطالعه مروری بطور جامع بررسی ادغام فناوری‌های چاپ سه‌بعدی با بیوپلیمرها برای کاربردهای مختلف زیست‌پزشکی انجام شد و بر پتانسیل تحول‌آفرین آن در پزشکی ترمیمی، نظارت بر سلامت و پوشیدنی‌های هوشمند تأکید گردید. علاوه‌بر این، چاپ سه‌بعدی امکان ایجاد ساختارهای متخلخل قابل تنظیم در داخل بیومواد را نیز فراهم می‌نماید. نفوذپذیری نقش حیاتی در کاربردهای مختلف زیست‌پزشکی، از جمله مهندسی بافت و داروسازی ایفا می‌نماید. به‌عنوان مثال، ساختارهای متخلخل برای تسهیل توسعه عروق و مهاجرت سلولی در بافت‌های مهندسی شده ضروری هستند. با استفاده از چاپ سه‌بعدی، پژوهشگران می‌توانند نفوذپذیری بیومواد را بطور دقیق با نیازهای کاربردهای خاص مطابقت دهند و عملکرد و کارایی دستگاه‌ها/ایمپلنت‌های زیست‌پزشکی را افزایش دهند.

ابتدا، بحث شامل تکنیک‌های مختلف چاپ سه‌بعدی است، از جمله FDM[1]، DIW[2]، SLA[3]، DLP[4] و SLS[5]، که مناسب بودن آن‌ها برای پردازش بیوپلیمرهای مختلف را مورد تأکید قرار می‌دهد. در این مطالعه مروری FDM که به دلیل تطبیق‌پذیری و سهولت استفاده‌اش شناخته شده است و DIW که در ساخت ساختارهای زیست‌سازگار پیچیده برتری دارد، بررسی شد. SLA و DLP به دلیل قابلیت‌های وضوح بالایشان در تولید طراحی‌های پیچیده مورد تأکید قرار گرفتند. SLS و SLM نیز به دلیل نقاط قوتشان در ایجاد اجزای مقاوم و بادوام مورد بحث قرار گرفتند. علاوه‌بر این، به بررسی سایر مکانیزم‌های نوآورانه چاپ سه‌بعدی و بر پتانسیل آن‌ها برای پیشبرد کاربردهای بهداشتی تأکید شد. سپس در بررسی بیوپلیمرها، ماکرومولکول‌های سنتزی و طبیعی، سازگاری بیولوژیکی، تجزیه‌پذیری و خواص عملکردی آن‌ها نیز تحلیل گردید. در ادامه بر روی بیوپلیمرهایی که در چاپ سه‌بعدی از منظر مولکولی استفاده می‌شوند، تمرکز شد و انواع سنتزی و طبیعی آن‌ها به تفصیل بررسی گردید. این مطالعه نمای جامعی از بیوپلیمرهای مختلف را ارائه می‌دهد و بر زیست‌سازگاری و تجزیه‌پذیری آن‌ها تأکید می‌نماید. پلیمرهای سنتزی مورد بحث شامل PAA[6]، PBS[7]،

[1] fused deposition modeling
[2] direct ink writing
[3] stereolithography
[4] digital light processing
[5] selective laser sintering
[6] polyamino acid
[7] poly(butylene succinates)

PCL[1]، PDMS[2]، PEG[3]، PGA[4]، PLA[5]، PPF[6]، TPU[7] و دیگر پلیمرهایی هستند که تاریخچه محدودی در چاپ سه‌بعدی دارند. ماکرومولکول‌های طبیعی که مورد بررسی قرار گرفتند شامل آگاروز، سلولز باکتریایی، کاراژینان، کیتوسان، کلاژن، فیبرینوژن، ژلاتین، اسید هیالورونیک، PHAs[8]، ابریشم، آلژینات سدیم، زایلان و موارد دیگر هستند. علاوه‌بر این، ادغام سلول‌ها و بافت‌های انسانی در چاپ سه‌بعدی برای پزشکی ترمیمی و پتانسیل مهندسی بافت و کاربردهای پزشکی مورد تأکید قرار گرفت. با درک این مواد در سطح مولکولی، محققان می‌توانند استفاده از آن‌ها را در ایجاد دستگاه‌های کاربردی، داربست‌ها و ایمپلنت‌ها بهینه‌سازی نمایند تا به نیازهای پیچیده زیست‌پزشکی پاسخ دهند.

به‌عنوان ابزار تولیدی در حال رشد، چاپ سه‌بعدی نقش فزاینده‌ای در کاربردهای بهداشتی ایفا می‌نماید که نیاز به سفارشی‌سازی بر اساس نیازهای خاص بیماران دارند. به‌عنوان مثال، در زمینه دندانپزشکی؛ این فناوری ساخت ایمپلنت‌های دندانی، روکش‌ها و پروتزها را با دقت بی‌نظیر و سفارشی‌سازی متناسب با هر بیمار متحول نموده است. در مهندسی بافت و پزشکی ترمیمی، از چاپ سه‌بعدی برای ساخت داربست‌ها، ساختارهای بافتی و ارگانوئیدها با استفاده از جوهرهای زیستی متشکل از سلول‌های زنده و مواد زیست‌سازگار استفاده می‌شود. این سازه‌ها معماری بافت طبیعی را شبیه‌سازی می‌نمایند و می‌توانند برای ترویج بازسازی و ترمیم بافت کاشته شوند. فراتر از داربست‌های بافتی، بررسی الکترونیک، تعامل انسان و ماشین و سیستم‌های هوشمند پتانسیل زیادی برای آینده مراقبت‌های بهداشتی دارد. این مطالعه مروری، نمونه‌های موجود از دستگاه‌های زیست‌پزشکی پلیمری چاپ سه‌بعدی را به چندین گروه دسته‌بندی می‌نماید تا کاربردهای متنوع آن‌ها را در گروه‌های زیر برجسته نماید:

1. حسگرها برای نظارت بر سلامت.
2. عملگرها برای تقلید از حرکات بیولوژیکی.
3. رباتیک پوشیدنی که حرکات عضلانی را تقلید می‌نماید.
4. سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی غیرفعال برای اهداف بهداشتی.
5. دستگاه‌های خودکفا برای سیستم‌های زیست‌پزشکی.
6. علم داده برای نقشه‌برداری زیستی.

---

[1] ϵ-polycaprolactone
[2] polydimethylsiloxane
[3] polyethylene glycol
[4] polyglycolic acid
[5] polylactic acid
[6] poly(propylene fumarate)
[7] thermoplastic polyurethanes
[8] polyhydroxyalkanoates

Reference

Zhu, Y., Guo, S., Ravichandran, D., Ramanathan, A., Sobczak, M. T., Sacco, A. F., ... & Song, K. (2024). 3D-Printed Polymeric Biomaterials for Health Applications. Advanced Healthcare Materials, 2402571.

DOI: https://doi.org/10.1002/adhm.202402571

ترجمه و ویرایش: جواد برزوئی