

BÖLÜM 5

ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN DIŞ HEKİMLİĞİNDEKİ YERİ VE GELECEĞİ

Ahmet Fehmi ŞİRİN¹

Emre ÖZEL²

GİRİŞ

Günümüz Diş hekimliğinde modern gelişmelerin en büyük göstergesi; dijitalleşme, yapay zekâ araçlarının yaygınlaşması ve nesnelerin interneti gibi konseptlerin geleneksel ve konvansiyonel yöntemlerin yerini almasıdır (1). Bu bahsettiğimiz yenilikçi fikirlerin önde gelen popüler örneklerinden biri de “Üç boyutlu (3B) baskı” teknolojisidir. Klasik dönem Diş hekimliğinde bir restorasyonun (Örneğin; seramik veneer lamina) eldesi konvansiyonel yöntemler ile yapılıyordu. Nizami yapılmış bir preparasyondan sonra ölçü alma işlemi genellikle A-tipi bir silikon (vinilpolisiloksan bazlı bir ölçü materyali) ile alınıp, ölçü materyali teknisyene ulaştırılması gerekiyordu (2). Eğer teknisyen ile klinisyen yakın konumlarda bulunmuyorsa kurye gibi 3. kişilerin tedavi sürecine katılmaları gerekiyordu. Sonrasında restorasyonun üretim süreci teknisyenin imkân ve kabiliyeti doğrultusunda klasik konvansiyonel yöntemlerden biri seçilip uygulanması gerekiyordu. Örneğin Refrakter model tekniği ile tam seramik restorasyonu katman katman yüksek hassasiyetle yapılmalıydı (3). Bu geleneksel yöntemde daha en baştan insan kaynaklı birçok hata bulunabiliyordu. Restorasyonun eldesi için hayati öneme sahip olan ölçü alınmasından, kurye ile ölçü materyalinin taşınması sırasında oluşabilecek problemlere sebep olması gibi. Yüksek el becerisi gerektiren refrakter model tekniği, fırça ile tabaka tabaka uygulanırken arada porozite gibi mikro hava boşluklarına sebebiyet verebilir. Bunun gibi birçok teknik hata restorasyonların

¹ Uzm. Dr., Gölçük ADŞM, Restoratif Diş Tedavisi AD., ahmetfehmisirin@gmail.com, ORCID iD: 0009-0008-1057-3650

² Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD., emreozel77@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-1883-5172

SONUÇ

3B yazıcı teknolojileri, üretim süreçlerinde kişiselleştirme, hız ve hassasiyet gibi avantajlar sunarak özellikle biyomedikal ve diş hekimliği alanlarında devrim yaratmıştır. Tarihsel olarak sanayide prototipleme amacıyla geliştirilen 3B yazıcılar; günümüzde cerrahi rehberlerden bireysel protez tasarımlarına kadar birçok klinik uygulamada aktif olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojinin evrimiyle birlikte, dördüncü boyut olarak zaman kavramının üretim sürecine entegre edildiği 4B yazıcılar, çevresel uyarılara yanıt verebilen ve zaman içinde şekil veya işlev değiştirebilen akıllı malzemeler sayesinde yeni bir paradigma sunmaktadır. Şekil hafızalı polimerler, ısı, pH, nem veya biyolojik uyaranlara tepki verebilen yapılar bu teknolojinin temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

Diş hekimliği özelinde değerlendirildiğinde, 4B yazıcıların; ortodontik aparatların kendiliğinden uyum sağlaması, kişiye özel implant tasarımlarının biyolojik koşullara göre yeniden şekillenmesi ve ilaç salım sistemlerinin hedefe yönelik çalışması gibi birçok yenilikçi uygulamada yer alması beklenmektedir. Ancak, bu teknolojinin rutin klinik pratiğe entegre edilebilmesi için biyoyumluluk, uzun dönem stabilite, üretim maliyetleri ve regülasyonlar açısından daha fazla bilimsel kanıta ve mühendislik gelişimine ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu gelişmeler ışığında, 3B yazıcılarla temelleri atılan dijital dönüşüm, 4B yazıcılarla birlikte biyomedikal mühendisliğin ve diş hekimliğinin geleceğinde daha da derinleşerek ilerlemeye devam edecektir.

KAYNAKLAR

1. Peng M, Li C, Huang C, et al. Digital technologies to facilitate minimally invasive rehabilitation of a severely worn dentition. *Journal of Prosthodontic Dentistry*. 2021;126(2):167–172.
2. Deste G, Durkan R. Monoblok zirkonya seramik sistemi ile estetik anterior kronlar: klinik vaka raporu. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2019;29(3):480–484.
3. Nguyen TT, Viet AN, Nguyen LT, et al. Restoration of anterior teeth defect with porcelain laminate veneer using the refractory technique: A Case Report. *Cureus*. 2024;16(8).
4. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. *Journal of Dentistry (Shiraz, Iran)*. 2015;16(1):1–9.
5. Methani MM, Revilla-León M, Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2020;32(2):182–192.
6. Azari A, Nikzad S. The evolution of Rapid Prototyping in Dentistry: A Review. *Rapid Prototyping Journal*. 2009;15(3):216–225.
7. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry—State of the art. *Operative Dentistry*. 2020;45(1):30–40.
8. Beaman JJ, Barlow JW, Bourell DL, et al. Solid freeform fabrication: a new direction in manufacturing. Boston, MA: Springer US; 1997.
9. Kodama H. Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. *Review of Scientific Instruments*. 1981;52(11):1770–1773.

10. Ammoun R, Elkassaby H, Chien EC, et al. Glossary of Digital Dental Terms. *Journal of Prosthodontics*. 2021; 30:172–181.
11. Schweiger J, Edelhoff D, Güth JF. 3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(9):2010.
12. Wohlers T. *Wohlers report 2017: 3D printing and additive manufacturing state of the industry: annual worldwide progress report*. 2017.
13. Su A, Al'Aref SJ. History of 3D printing. In: *3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine*. Academic Press; 2018. p. 1–10.
14. Khaing MW, Fuh JYH, Lu L. Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterisation of EOS parts. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001;113(1–3):269–272.
15. ISO. ISO/ASTM 52900:2021. *International Organization for Standardization*. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-2:v1:en> [Accessed: 30 July 2025].
16. Soriano Heras E, Blaya Haro F, de Agustín del Burgo JM, et al. Plate auto-level system for fused deposition modelling (FDM) 3D printers. *Rapid Prototyping Journal*. 2017;23(2):401–413.
17. Taylor AC, Beirne S, Alici G, et al. System and process development for coaxial extrusion in fused deposition modelling. *Rapid Prototyping Journal*. 2017;23(3):543–550.
18. Lu Z, Ayeni OI, Yang X, et al. Microstructure and phase analysis of 3D-printed components using bronze metal filament. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2020;29(3):1650–1656.
19. Cuan-Urquiza E, Barocio E, Tejada-Ortigoza V, et al. Characterization of the mechanical properties of FFF structures and materials: A review. *Materials*. 2019;12(6):895.
20. Jain P, Kuthe AM. Feasibility study of manufacturing using rapid prototyping: FDM approach. *Procedia Engineering*. 2013; 63:4–11.
21. Alharbi N, Osman RB, Wismeijer D. Factors influencing the dimensional accuracy of 3D-printed full-coverage dental restorations using stereolithography technology. *International Journal of Prosthodontics*. 2016;29(5):503–510.
22. Osman RB, Alharbi N, Wismeijer D. Build angle: does it influence the accuracy of 3D-printed dental restorations using digital light-processing technology? *International Journal of Prosthodontics*. 2017;30(2).
23. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, et al. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*. 2015;219(11):521–529.
24. Aly P, Mohsen C. Comparison of the accuracy of three-dimensional printed casts, digital, and conventional casts: an in vitro study. *European Journal of Dentistry*. 2020;14(2):189–193.
25. Sakly A, Kenzari S, Bonina D, et al. A novel quasicrystal-resin composite for stereolithography. *Materials & Design*. 2014; 56:280–285.
26. Makvandi P, Esposito Corcione C, Paladini F, et al. Antimicrobial modified hydroxyapatite composite dental bite by stereolithography. *Polymers for Advanced Technologies*. 2018;29(1):364–371.
27. França R, Winkler J, Hsu HH, et al. 3D printing—Additive manufacturing of dental biomaterials. In: *Dental Biomaterials*. 2019. p. 421–462.
28. Pan Y, Zhou C, Chen Y. A fast mask projection stereolithography process for fabricating digital models in minutes.
29. Sun C, Fang N, Wu DM, et al. Projection micro-stereolithography using digital micro-mirror dynamic mask. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2005;121(1):113–120.
30. Ge L, Dong L, Wang D, et al. A digital light processing 3D printer for fast and high-precision fabrication of soft pneumatic actuators. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2018; 273:285–292.
31. Lu Y, Mapili G, Suhali G, et al. A digital micro-mirror device-based system for the microfabrication of complex, spatially patterned tissue engineering scaffolds. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 2006;77(2):396–405.
32. Quan H, Zhang T, Xu H, et al. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive Materials*. 2020;5(1):110–115.
33. Koo JW, Ho JS, An J, et al. A review on spacers and membranes: conventional or hybrid additive manufacturing? *Water Research*. 2021; 188:116497.

34. Methani MM, Revilla-León M, Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of al-ceramic crowns: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2020;32(2):182–192.
35. Olakanmi EO, Cochrane RF, Dalgarno KW. A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: processing, microstructure, and properties. *Progress in Materials Science*. 2015; 74:401–477.
36. Tolochko NK, Savich VV, Laoui T, et al. Dental root implants produced by the combined selective laser sintering/melting of titanium powders. *Journal of Materials: Design and Applications*. 2002;216(4):267–270.
37. Kruth JP, Vandenbroucke B, Van Vaerenbergh J, et al. Rapid manufacturing of dental prostheses by means of selective laser sintering/melting. In: *11èmes Assises Européennes du Prototypage Rapide, AFPR 2005*.
38. Okazaki Y, Ishino A. Microstructures and mechanical properties of laser-sintered commercially pure Ti and Ti-6Al-4V alloy for dental applications. *Materials*. 2020;13(3):609.
39. Chen Z, Li Z, Li J, et al. 3D printing of ceramics: A review. *Journal of the European Ceramic Society*. 2019;39(4):661–687.
40. Sing SL, Yeong WY, Wiria FE, et al. Direct selective laser sintering and melting of ceramics: a review. *Rapid Prototyping Journal*. 2017;23(3):611–623.
41. Çakmak G, Donmez MB, Cuellar AR, et al. Additive or subtractive manufacturing of crown patterns used for pressing or casting: A trueness analysis. *Journal of Dentistry*. 2022; 124:104221.
42. Demiralp E, Doğru G, Yılmaz H. Additive manufacturing (3D PRINTING) methods and applications in dentistry. *Clinical and Experimental Health Sciences*. 2021;11(1):182–190.
43. Hofmann M. 3D printing gets a boost and opportunities with polymer materials. *Science News*. 2014.
44. Lipson H, Kurman M. *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons; 2013.
45. Hazeveld A, Slater JJH, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *American Journal of Orthodontics and Dento-facial Orthopedics*. 2014;145(1):108–115.
46. Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*. 2016;32(1):54–64.
47. Pei E, Loh GH. Technological considerations for 4D printing: an overview. *Progress in Additive Manufacturing*. 2018;3(1):95–107.
48. Zhou W, Qiao Z, Nazarzadeh Zare E, et al. 4D-printed dynamic materials in biomedical applications: chemistry, challenges, and their future perspectives in the clinical sector. *Journal of Medicinal Chemistry*. 2020;63(15):8003–8024.
49. Sun W, Starly B, Daly AC, et al. The bioprinting roadmap. *Biofabrication*. 2020;12(2):022002.
50. Behl M, Lendlein A. Shape-memory polymers. *Materials Today*. 2007;10(4):20–28.
51. Zare EN, Jamaledin R, Naserzadeh P, et al. Metal-based nanostructures/PLGA nanocomposites: antimicrobial activity, cytotoxicity, and their biomedical applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2019;12(3):3279–3300.
52. Nazarzadeh Zare E, Lakouraj MM, Baghayeri M. Electro-magnetic polyfuran/Fe₃O₄ nanocomposite: synthesis, characterization, antioxidant activity, and its application as a biosensor. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*. 2015;64(4):175–183.
53. Cui H, Miao S, Esworthy T, et al. A novel near-infrared light responsive 4D printed nano-architecture with dynamically and remotely controllable transformation. *Nano Research*. 2019;12(6):1381–1388.
54. Manouras T, Vamvakaki M. Field responsive materials: photo-, electro-, magnetic- and ultrasound-sensitive polymers. *Polymer Chemistry*. 2017;8(1):74–96.
55. Miao S, Castro N, Nowicki M, et al. 4D printing of polymeric materials for tissue and organ regeneration. *Materials Today*. 2017;20(10):577–591.
56. Muzaffar A, Ahamed MB, Deshmukh K, et al. 3D and 4D printing of pH-responsive and functional polymers and their composites. In: *3D and 4D Printing of Polymer Nanocomposite Materials*. Elsevier; 2020. p. 85–117.