

## BÖLÜM 3

# GRAFEN OKSİT VE ENDODONTİDEKİ UYGULAMALARI: GÜNCEL BULGULAR VE KLİNİK GELECEK

Aybüke KARACA SAKALLI <sup>1</sup>

### GİRİŞ

Son yıllarda nanoteknoloji destekli biyomalzemeler, endodonti alanında hem dezenfeksiyon hem de rejeneratif tedavilerde yeni ufuklar açmaktadır. Bu gelişmelerin merkezinde yer alan grafen oksit (GO), benzersiz fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri sayesinde dental araştırmaların odak noktalarından biri haline gelmiştir. Grafen oksit, karbon atomlarının iki boyutlu petek yapısında düzenlendiği ve oksijen içeren fonksiyonel gruplarla zenginleştirilmiş bir grafen türevidir (1). Antibakteriyel etkisi, geniş yüzey alanı, mekanik dayanıklılığı ve biyoyumluluğu sayesinde özellikle kök kanal tedavisine yönelik biyomateryal geliştirme çalışmalarında sıkça kullanılmaya başlanmıştır.

Bu bölümde, grafen oksidin kimyasal yapısı, üretim yöntemleri ve genel biyolojik özellikleri temel düzeyde sunulmakta; ardından endodontik alandaki deneysel ve potansiyel uygulamaları güncel literatür ışığında değerlendirilerek klinik geleceği tartışılmaktadır. Nanoteknolojik ajanların endodontideki rolü açısından okuyucuya hem teorik hem de klinik bir bakış açısı kazandırmak hedeflenmektedir.

### NANOTEKNOLOJİNİN ENDODONTİDEKİ YERİ

Nanobilim alanındaki araştırmalar son yıllarda hızla artmaktadır. Nanoteknolojinin tıptaki uygulama alanlarına olan ilgi, nanotıp adı verilen yeni bir alan ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Tıp ve diş hekimliğinde kullanılmaya başlanan nanoteknolojinin, hastalığın teşhisi, tedavisi ve önlenmesinde önemli ilerlemeler

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Medipol Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD., aybuke.karaca@ankamedipol.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-5472-0781

GO'un klinik entegrasyonu, yüksek üretim maliyeti, partikül boyutu standardizasyonu ve güvenlik verilerinin eksikliği gibi faktörlerden olumsuz etkilenebilmektedir. Buna karşılık, üretim süreçlerinin optimize edilmesi ve kalite kontrol algoritmalarının geliştirilmesi GO'nun kullanımının önündeki engeli kademeli şekilde azaltabilir.

## SONUÇ VE KLİNİK ÖNERİLER

GO sahip olduğu yüksek yüzey alanı, mekanik dayanım, antibakteriyel etkinlik ve biyouyumluluk gibi özellikleri sayesinde endodontik materyallerin performansını artırabilecek yenilikçi bir nanomateriyaldir. Mevcut bulgular, GO'nun kök kanal tedavisinde kullanılan pat, kanal içi ilaç ve irrigasyon solüsyonları gibi alanlarda kullanılabileceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, periodontoloji ve implantoloji gibi diğer dental disiplinlerde de potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır. Ancak, klinik entegrasyon öncesinde uzun dönem biyouyumluluk, toksisite ve performans verilerinin ortaya konması gerekmektedir.

### Klinik Öneriler

- GO katkılı materyallerin klinik kullanımına geçmeden önce, farklı konsantrasyonlar ve partikül boyutlarıyla yapılacak kapsamlı in vivo çalışmalarla güvenlik profili netleştirilmelidir.
- Mevcut ticari endodontik materyaller ile doğrudan karşılaştırmalı araştırmalar, GO'nun gerçek klinik avantajlarını ortaya koymak için gereklidir.
- Regülasyon süreçleri için gerekli olan toksikolojik, farmakokinetik ve klinik performans verileri eksiksiz şekilde raporlanmalıdır.
- Multidisipliner iş birlikleri ile GO'nun periodontal rejenerasyon, implant yüzey modifikasyonu ve oral cerrahi gibi alanlardaki potansiyeli de araştırılmalıdır.

Sonuç olarak, grafen oksit, endodontide biyolojik ve mekanik performansı artırma potansiyeline sahip umut verici bir nanomateriyaldir. Ancak, klinik geçerliliğin sağlanması ve hasta güvenliğinin garanti altına alınabilmesi için laboratuvar bulgularının geniş kapsamlı klinik çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Dos Santos VAB, Janini ACP, Figueroba S, et al. Antimicrobial Properties of Graphene Applied in Endodontic Agents and Materials: A Scoping Review. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. 2025;37(4):14-26.
2. Patil M, Mehta DS, Guvva S. Future impact of nanotechnology on medicine and dentistry. *Journal of Indian Society of Periodontology*. 2008;12(2):34-40. doi: 10.4103/0972-124X.44088.
3. Dağlioğlu Y, Yavuz Mc. Dişhekimliğinde nanoteknoloji ve uygulamaları. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi*. 2020;41(2):149-160.

4. Kurt Ş, Ekici MG, Kıvanç BH. Nanomateryallerin endodontide kullanımı. *Acta Odontologica Turcica*. 2025;42(2):101-108.
5. Zakrzewski W, Dobrzyński M, Zawadzka-Knefel, et al. Nanomaterials Application in Endodontics. *Materials* (Basel). 2021;14(18). doi: 10.3390/ma14185296.
6. Özdemir O, Kopac T. Recent Progress on the Applications of Nanomaterials and Nano-Characterization Techniques in Endodontics: A Review. *Materials* (Basel). 2022;15(15). doi: 10.3390/ma15155109.
7. Raura N, Garg A, Arora A, et al. Nanoparticle technology and its implications in endodontics: a review. *Biomaterials Research*. 2020;24(1):21. doi: 10.1186/s40824-020-00198-z.
8. Gunatillake PA, Adhikari R. Biodegradable synthetic polymers for tissue engineering. *European Cells & Materials*. 2003. May 20;5:1-16; discussion 16 doi: 10.22203/ecm.v005a01.
9. Rosa V, Della Bona A, Cavalcanti BN, et al. Tissue engineering: from research to dental clinics. *Dental Materials*. 2012;28(4):341-348. doi: 10.1016/j.dental.2011.11.025.
10. Roma M, Hegde S. Implications of graphene-based materials in dentistry: present and future. *Frontiers in Chemistry*. 2023;11:1308948. doi:10.3389/fchem.2023.1308948.
11. Olczak K, Jakubowski W, Szymański W. Bactericidal Activity of Graphene Oxide Tests for Selected Microorganisms. *Materials* (Basel). 2023;16(11).doi: 10.3390/ma16114199
12. Xie H, Cao T, Rodríguez-Lozano FJ, et al. Graphene for the development of the next-generation of biocomposites for dental and medical applications. *Dental Materials*. 2017;33(7):765-774. doi:10.1016/j.dental.2017.04.008.
13. Zhao H, Ding R, Zhao X, et al. Graphene-based nanomaterials for drug and/or gene delivery, bioimaging, and tissue engineering. *Drug Discovery Today*. 2017;22(9):1302-1317. doi: 10.1016/j.drudis.2017.04.002
14. Schniepp HC, Li J-L, McAllister MJ, et al. Functionalized single graphene sheets derived from splitting graphite oxide. *The journal of physical chemistry B*. 2006;110(17):8535-9. doi: 10.1021/jp060936f
15. Gholampour A, Valizadeh Kiamahalleh M, Tran DN, et al. From graphene oxide to reduced graphene oxide: impact on the physiochemical and mechanical properties of graphene-cement composites. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2017;9(49):43275-86. doi: 10.1021/acsami.7b16736
16. Tarcan R, Todor-Boer O, Petrovai I, et al. Reduced graphene oxide today. *Journal of Materials Chemistry C*. 2020;8(4):1198-1224.
17. Guex LG, Sacchi B, Peuvot KF, et al. Experimental review: chemical reduction of graphene oxide (GO) to reduced graphene oxide (rGO) by aqueous chemistry. *Nanoscale*. 2017;9(27):9562-9571. doi: 10.1039/c7nr02943h.
18. Pei S, Cheng H-M. The reduction of graphene oxide. *Carbon*. 2012;50(9):3210-3228.
19. Sindi AM. Applications of graphene oxide and reduced graphene oxide in advanced dental materials and therapies. *Journal of Taibah University Medical Sciences*. 2024;19(2):403-21. doi: 10.1016/j.jtumed.2024.02.002.
20. Azizighannad S, Mitra S. Stepwise reduction of graphene oxide (GO) and its effects on chemical and colloidal properties. *Scientific Reports*. 2018;8(1):1-8. doi: 10.1038/s41598-018-28353-6.
21. Liu L, Zhang J, Zhao J, et al. Mechanical properties of graphene oxides. *Nanoscale*. 2012;4(19):5910-6. doi: 10.1039/c2nr31164j
22. Lee C, Wei X, Kysar JW, et al. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*. 2008;321(5887):385-388. doi: 10.1126/science.1157996
23. Gómez-Navarro C, Meyer JC, Sundaram RS, et al. Atomic structure of reduced graphene oxide. *Nano Letters*. 2010;10(4):1144-1148. doi: 10.1021/nl9031617.
24. Hashemi M, Omidi M, Muralidharan B, et al. Evaluation of the photothermal properties of a reduced graphene oxide/arginine nanostructure for near-infrared absorption. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2017;9(38):32607-32620. doi: 10.1021/acsami.7b11291
25. Shang J, Ma L, Li J, et al. Gurzadyan GG. The origin of fluorescence from graphene oxide. *Scientific Reports*. 2012;2(1):792. doi: 10.1038/srep00792.

26. Tiyyek İ, Dönmez U, Yıldırım B, et al. Kimyasal yöntem ile indirgenmiş grafen oksit sentezi ve karakterizasyonu. *Young*. 2016;100000(13000):0-56.
27. Chen X, Qu Z, Liu Z, et al. Mechanism of oxidization of graphite to graphene oxide by the hummers method. *ACS Omega*. 2022;7(27):23503-23510. doi: 10.1021/acsomega.2c01963.
28. Iordache M, Oubraham A, Sorlei I-S, et al. Noble metals functionalized on graphene oxide obtained by different methods—new catalytic materials. *Nanomaterials*. 2023;13(4):783. doi: 10.3390/nano13040783.
29. Pei S, Wei Q, Huang K, et al. Green synthesis of graphene oxide by seconds timescale water electrolytic oxidation. *Nature Communications*. 2018;9(1):145. doi: 10.1038/s41467-017-02479-z
30. Ghulam AN, Dos Santos OA, Hazeem L, et al. Graphene oxide (GO) materials—applications and toxicity on living organisms and environment. *Journal of Functional Biomaterials*. 2022;13(2):77. doi: 10.3390/jfb13020077
31. Anege B, Ifijen IH, Maliki M, et al. Graphene oxide synthesis and applications in emerging contaminant removal: a comprehensive review. *Environmental Sciences Europe*. 2024;36(1):15.
32. Ikram R, Jan BM, Ahmad W. An overview of industrial scalable production of graphene oxide and analytical approaches for synthesis and characterization. *Journal of materials research and Technology*. 2020;9(5):11587-11610.
33. Magne TM, de Oliveira Vieira T, Alencar LMR, et al. Graphene and its derivatives: understanding the main chemical and medicinal chemistry roles for biomedical applications. *Journal Of Nanostructure In Chemistry*. 2022;12(5):693-727. doi: 10.1007/s40097-021-00444-3.
34. Jiříčková A, Jankovský O, Sofer Z, et al. Synthesis and applications of graphene oxide. *Materials*. 2022;15(3):920. doi: 10.3390/ma15030920.
35. Kotsyubynsky V, Boychuk V, Budzulyak I, et al. Graphene oxide synthesis using modified Tour method. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2021;12(3):035006.
36. Parvez K, Wu Z-S, Li R, et al. Exfoliation of graphite into graphene in aqueous solutions of inorganic salts. *Journal of The American Chemical Society*. 2014;136(16):6083-6091. doi: 10.1021/ja5017156.
37. Liu F, Wang C, Sui X, et al. Synthesis of graphene materials by electrochemical exfoliation: Recent progress and future potential. *Carbon Energy*. 2019;1(2):173-199.
38. Bansode PV, Pathak SD, Wavdhane M, et al. GRAPHENE: a future promising biomaterial in endodontics and restorative dentistry: a review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2020;19:21-24.
39. Vega-Quiroz M, Reyes-Maciél A, Lopez-Ayuso CA, et al. Graphene Oxide-Enriched Polymer: Impact on Dental Pulp Cell Viability and Differentiation. *Polymers*. 2025;17(13):1768. doi: 10.3390/polym17131768.
40. Khan AA, Al-Khureif AA, Saadaldin SA, et al. Graphene oxide-based experimental silane primers enhance shear bond strength between resin composite and zirconia. *European Journal of Oral Sciences*. 2019;127(6):570-576. doi: 10.1111/eos.12665.
41. Martini C, Longo F, Castagnola R, et al. Antimicrobial and Antibiofilm Properties of Graphene Oxide on *Enterococcus faecalis*. *Antibiotics (Basel)*. 2020;9(10). doi: 10.3390/antibiotics9100692.
42. Olteanu D, Filip A, Socaci C, et al. Cytotoxicity assessment of graphene-based nanomaterials on human dental follicle stem cells. *Colloids and Surface B Biointerfaces*. 2015;136:791-798. doi: 10.1016/j.colsurfb.2015.10.023.
43. Podolska MJ, Barras A, Alexiou C, et al. Graphene Oxide Nanosheets for Localized Hypertermia—Physicochemical Characterization, Biocompatibility, and Induction of Tumor Cell Death. *Cells*. 2020;9(3):776. doi: 10.3390/cells9030776.
44. Bressan E, Ferroni L, Gardin C, et al. Metal Nanoparticles Released from Dental Implant Surfaces: Potential Contribution to Chronic Inflammation and Peri-Implant Bone Loss. *Materials*. 2019;12(12):2036. doi: 10.3390/ma12122036.
45. Malhotra R, Halbig CE, Sim YF, et al. Cytotoxicity survey of commercial graphene materials from worldwide. *Nature Partner Journals 2D Materials And Applications*. 2022;6(1):65.

46. Lee JH, Shin YC, Jin OS, et al. Reduced graphene oxide-coated hydroxyapatite composites stimulate spontaneous osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells. *Nanoscale*. 2015;7(27):11642-11651. doi: 10.1039/c5nr01580d.
47. Xie H, Chua M, Islam I, et al. CVD-grown monolayer graphene induces osteogenic but not odontoblastic differentiation of dental pulp stem cells. *Dental Materials*. 2017;33(1):e13-e21. doi: 10.1016/j.dental.2016.09.030.
48. Seonwoo H, Jang K-J, Lee D, et al. Neurogenic Differentiation of Human Dental Pulp Stem Cells on Graphene-Polycaprolactone Hybrid Nanofibers. *Nanomaterials*. 2018;8(7):554. doi: 10.3390/nano8070554.
49. Kawamoto K, Miyaji H, Nishida E, et al. Characterization and evaluation of graphene oxide scaffold for periodontal wound healing of class II furcation defects in dog. *International Journal of Nanomedicine*. 2018;13:2365-2376. doi: 10.2147/IJN.S163206.
50. Nizami MZI, Gorduysus M, Shinoda-Ito Y, et al. Graphene oxide-based endodontic sealer: An in vitro study. *Acta Medica Okayama*. 2022;76(6):715-721. doi: 10.18926/AMO/64122.
51. Eskandari F, Abbaszadegan A, Gholami A, et al. The antimicrobial efficacy of graphene oxide, double antibiotic paste, and their combination against *Enterococcus faecalis* in the root canal treatment. *BioMed Central Oral Health*. 2023;23(1):20. doi: 10.1186/s12903-023-02718-4.
52. Abbaszadegan A, Rafiee Z, Asheghi B, et al. Tooth discoloration caused by nanographene oxide as an irrigant and intracanal medicament in the endodontic treatment of extracted single-rooted teeth: An ex-vivo study. *Public Library of Science One*. 2025;20(6):e0325430. doi: 10.1371/journal.pone.0325430.
53. Sehitoglu G, Cakici F, Soylemez S, et al. Evaluation of the effect of graphene oxide-based nanocomposites on smear layer by a scanning electron microscope: Laboratory investigation. *Australian Endodontic Journal*. 2024;50(1):3-14. doi: 10.1111/aej.12802.
54. Kim MA, Min KS. Combined effect of apigenin and reduced graphene oxide against *Enterococcus faecalis* biofilms. *Journal of Oral Science*. 2023;65(3):163-167. doi: 10.2334/josnurd.22-0459.
55. Jagtap TA, Sonvane BA, Handal G, et al. Comparative Analysis of Physicomechanical Properties of MTA and Biodentine with Addition of Graphene Oxide to MTA and Biodentine: An In-vitro Study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. 2025;17(Suppl 1):S608-S10. doi: 10.4103/jpbs.jpbs\_531\_25.
56. Nasim I, Jaju KK, Shamly M, et al. Effect of nanoparticle based intra-canal medicaments on root dentin micro-hardness. *Bioinformation*. 2022;18(3):226. doi: 10.6026/97320630018226
57. Dayı B, Küçükyıldız EN, Taghizadehghalehjoughi A. Evaluation of Cytotoxic Effect of Graphene Oxide Added to Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Advanced Oral Research*. 2023;14(1):21-28.
58. Dayı B, Küçükyıldız EN, Eröksüz H. GRAFEN NANOPLATELET-MİNERAL TRİOKSİD AGREGAT KARIŞIMININ RAT DİŞLERİNDE PULPA KUAFAJ MATERYALİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*. 2022;10(1):225-240.
59. Hovhannisyan S, Mashinyan K, Torgomyan A, et al. Graphene Oxide: The Promising Potential in Dentistry: A Review. *European Journal of Applied Sciences-Vol*. 2023;11(3):269-278. doi: org/10.14738/aivp.113.14483
60. Panja K, Vivek N, Ramar K. Surface coating of nickel-titanium (Ni-Ti) pediatric rotary file using graphene oxide: a scanning electron microscopy analysis. *Cureus*. 2024;16(8). doi: 10.7759/cureus.66632
61. Liu C, Tan D, Chen X, et al. Research on Graphene and Its Derivatives in Oral Disease Treatment. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(9):4737. doi: 10.3390/ijms23094737.