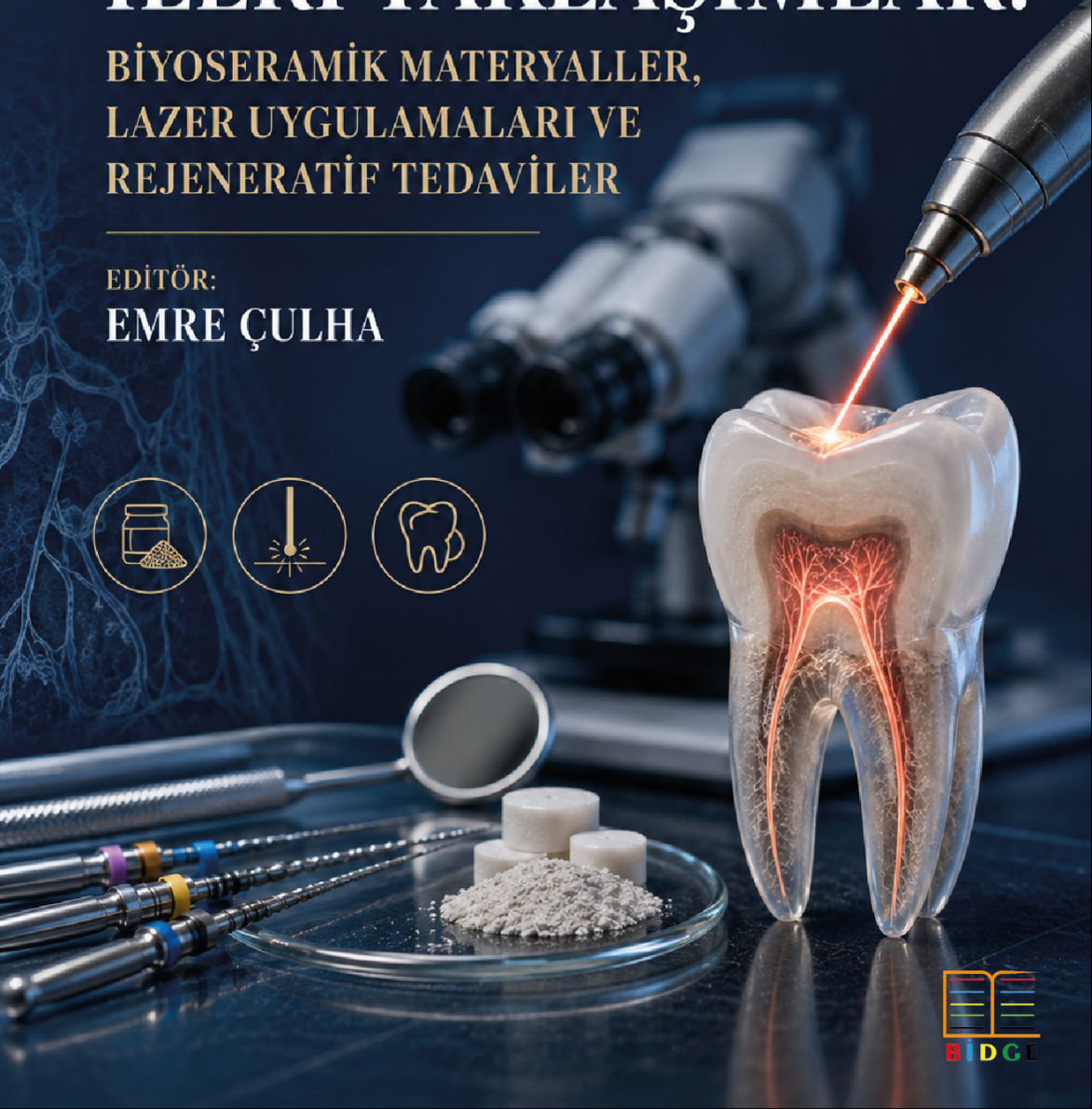


GÜNCEL ENDODONTİDE İLERİ YAKLAŞIMLAR:

BİYOSERAMİK MATERYALLER,
LAZER UYGULAMALARI VE
REJENERATİF TEDAVİLER

EDİTÖR:
EMRE ÇULHA



BİDGE Yayınları

**Güncel Endodontide İleri Yaklaşımlar: Biyoseramik
Materyaller, Lazer Uygulamaları ve Rejeneratif Tedaviler**

Editör: Emre Çulha

ISBN: 978-625-8821-45-1

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2026-06-20

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

Endodontide Lazer Kullanımı: Temel Prensipler, Klinik Endikasyonlar, İrrigasyon Aktivasyonu ve Güvenlik	1
---	---

ESRA BALKANLIOĞLU

Rejeneratif Endodonti: Biyolojik İlkeler, Kanıta Dayalı Klinik Protokoller ve 2026 Perspektifi	43
--	----

ALİYE KAMALAK

Endodontide Biyoseramik ve Biyoaktif Materyaller: Sınıflandırma, Materyal Bilimi, Kanıta Dayalı Klinik Kullanım Ve 2026 Perspektifi	86
---	----

ESRA BALKANLIOĞLU

BÖLÜM 1

ENDODONTİDE LAZER KULLANIMI: TEMEL PRENSİPLER, KLİNİK ENDİKASYONLAR, İRRİGASYON AKTİVASYONU VE GÜVENLİK

ESRA BALKANLIOĞLU¹

Özet

Lazer teknolojisi endodontide kök kanal dezenfeksiyonunun desteklenmesi, irrigasyon sıvılarının aktivasyonu, smear tabakası ve debris kontrolü, antimikrobiyal fotodinamik tedavi, fotobiyomodülasyon, vital pulpa tedavisi, rejeneratif endodonti ve cerrahi endodonti gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Klinik etki; kullanılan dalga boyunun su, hidroksiapatit, hemoglobin, melanin ve mikrobiyal pigmentler gibi kromoforlarla ilişkisine; atım enerjisi, frekans, atım süresi, uç geometrisi, çalışma modu, toplam enerji ve soğutma koşullarına bağlıdır. Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerler suyla güçlü etkileşimleri nedeniyle lazer-aktive irrigasyon, PIPS ve SWEEPS gibi fotoakustik tekniklerde öne çıkarken, Nd:YAG ve yakın kızılötesi diyot lazerler daha derin saçılma ve fototermal

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0009-0903-7129

antibakteriyel etkiyle ilişkilidir. CO₂ lazerler ise yüzeyel su absorpsiyonu, vaporizasyon ve hemostaz özellikleri nedeniyle daha çok cerrahi ve deneysel sert doku uygulamalarında değerlendirilir. Güncel sistematik derlemeler, lazerlerin laboratuvar düzeyinde biyofilm, smear tabakası ve irrigant dağılımı üzerinde belirgin etkiler gösterebildiğini; ancak klinik yararın cihaz ve protokol heterojenliği nedeniyle kesinleştirilemediğini göstermektedir. Bu nedenle lazer, kemomekanik şekillendirme ile NaOCl/EDTA temelli irrigasyonun yerine geçen bağımsız bir sterilizasyon yöntemi olarak değil, seçilmiş endikasyonlarda kullanılan parametre-duyarlı bir yardımcı teknoloji olarak konumlandırılmalıdır.

Anahtar kelimeler: endodonti; dental lazer; Er:YAG; Er,Cr:YSGG; PIPS; SWEEPS; antimikrobiyal fotodinamik tedavi; fotobiyomodülasyon; lazer güvenliği

Abstract

Laser technologies are used in endodontics as adjuncts for root canal disinfection, activation of irrigants, removal of smear layer and debris, antimicrobial photodynamic therapy, photobiomodulation, vital pulp therapy, regenerative procedures, and endodontic surgery. Their clinical effects are determined by the interaction between wavelength and tissue chromophores, together with pulse energy, repetition rate, pulse duration, tip geometry, emission mode, total delivered energy, and cooling. Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers are particularly suitable for photoacoustic irrigation because of their strong interaction with water, whereas Nd:YAG and near-infrared diode lasers are mainly associated with deeper optical scattering and photothermal antimicrobial effects. CO₂ lasers show strong superficial water absorption and are mainly considered for surgical hemostasis and selected hard-tissue

applications. Current systematic reviews demonstrate convincing mechanistic and laboratory effects on biofilm disruption, smear-layer removal, and irrigant dynamics, but the certainty of clinical benefit remains limited by substantial heterogeneity in devices, parameters, comparators, and outcome measures. Accordingly, lasers should not be presented as stand-alone sterilization devices or substitutes for chemomechanical preparation and NaOCl/EDTA-based irrigation. They are best regarded as parameter-sensitive adjunctive technologies for carefully selected indications.

Keywords: endodontics; dental laser; Er:YAG; Er,Cr:YSGG; PIPS; SWEEPS; antimicrobial photodynamic therapy; photobiomodulation; laser safety

Kısaltmalar

Kısaltma	Açılım
aPDT	Antimikrobiyal fotodinamik tedavi
CBCT	Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
EDTA	Etilendiamintetraasetik asit
LAI	Laser-activated irrigation / lazer-aktive irrigasyon
NaOCl	Sodyum hipoklorit
PBM	Fotobiyomodülasyon
PIPS	Photon-induced photoacoustic streaming
PUI	Pasif ultrasonik irrigasyon
SWEEPS	Shock wave enhanced emission photoacoustic streaming
VPT	Vital pulpa tedavisi

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Giriş

Endodontik tedavinin biyolojik hedefi, kök kanal sistemindeki mikrobiyal yükü ve enfekte doku artıklarını konak iyileşmesine izin verecek düzeye indirmek, ardından kanal sistemini ve koronal restorasyonu yeniden enfeksiyonu önleyecek biçimde kapatmaktır. Kök kanal sisteminin oval uzantıları, isthmusları, lateral kanalları, apikal deltaları ve dentin tübülleri, mekanik aletlerin erişemediği bölgeler oluşturur; bu nedenle şekillendirme tek başına tam yüzey teması sağlamaz. (Siqueira et al., 2018; Wong et al., 2021)

Lazerlerin endodontiye girişi, ışığın belirli dalga boylarında yoğunlaştırılabilmesi ve bu enerjinin hedef doku veya irrigasyon sıvısı içinde termal, mekanik ya da fotokimyasal dönüşümlere uğraması fikrine dayanır. İlk çalışan yakut lazerin 1960 yılında bildirilmesinden sonra dental uygulamalar hızla çeşitlenmiş; endodontide lazerler özellikle dezenfeksiyon ve irrigasyon aktivasyonu amacıyla araştırılmıştır. (Huang et al., 2023; Kimura et al., 2000; Maiman, 1960; Parker, 2007)

Bununla birlikte, güncel kanıt lazeri “kanalı steril eden” bağımsız bir cihaz olarak desteklememektedir. 2026 yılında yayımlanan klinik odaklı bir umbrella review, farklı lazer sistemleri için bazı olumlu sonuçlar bildirilse de kanıtın sınırlı, heterojen ve klinik yararı kesinleştirmeye yetersiz olduğunu; lazer-aktif irrigasyonun şimdilik geleneksel irrigasyona ek bir yöntem olarak görülmesi gerektiğini vurgulamıştır. (Duarte et al., 2026)

Lazer fiziği ve lazer-doku etkileşimi

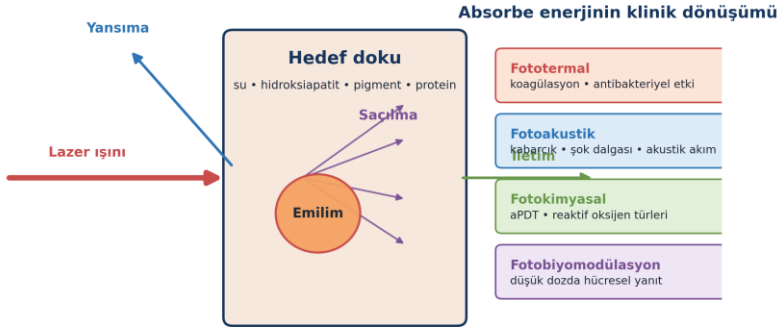
Lazer ışığının temel özellikleri

LASER, “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” ifadesinin kısaltmasıdır. Lazer ışığı dar spektral bantlı olması nedeniyle yaklaşık monokromatik, fotonlar arasındaki faz ilişkisi nedeniyle koherent ve düşük diverjansla ilerlemesi nedeniyle kolime bir ışın olarak tanımlanır. Bu özellikler enerjinin küçük bir alana ve kontrollü bir zaman aralığına yoğunlaştırılmasına olanak verir. (Kimura et al., 2000; Parker, 2007)

Bir lazer sistemi aktif ortam, enerji pompalama mekanizması ve optik rezonatörden oluşur. Aktif ortam dalga boyunu belirler; ancak klinik sonucu yalnızca dalga boyu değil, enerjinin zamansal ve mekânsal dağılımı da belirler. (Huang et al., 2023; Parker, 2007)

Şekil 1. Lazer ışığının dental dokuyla temel etkileşimleri.

Lazer ışığının dental dokuyla temel etkileşimleri



$$\text{Klinik etki} = \text{dalga boyu} \times \text{atım özellikleri} \times \text{enerji yoğunluğu} \times \text{süre} \times \text{doku kromoforu} \times \text{soğutma}$$

Kaynak: Yazar tarafından özgün olarak hazırlanmıştır; kavramsal temel için bkz. (Huang et al., 2023; Parker, 2007).

Klinik parametreleri doğru okumak

Cihaz ekranındaki güç değeri, birim zamanda iletilen enerjiyi ifade eder; atımlı sistemlerde ortalama güç, atım başına enerji ile frekansın çarpımına eşittir. Aynı ortalama güç, kısa ve yüksek tepe güçlü atımlarla veya daha uzun ve düşük tepe güçlü atımlarla üretilebilir; bu iki durumun kabarcık dinamiği ve termal yükü aynı değildir. (Meire & De Moor, 2024; Parker, 2007)

Enerji yoğunluğu veya fluens, enerjinin spot alanına bölünmesiyle; güç yoğunluğu ise gücün spot alanına bölünmesiyle elde edilir. Uç çapının küçülmesi aynı toplam enerjiyi daha küçük alana taşıyarak lokal enerji yoğunluğunu yükseltebilir. Toplam enerji, ışınlama süresi, görev döngüsü, uç hareketi ve soğutma birlikte kaydedilmediğinde yayımlanan bir protokolün tekrarlanabilirliği zayıflar. (Meire & De Moor, 2024; Parker, 2007)

Tablo 1. Lazer parametrelerinin klinik anlamı ve raporlama gerekliliği

Parametre	Tanım	Klinik anlam	Asgari kayıt
Dalga boyu (nm/μm)	Aktif ortamın ürettiği ışığın spektral konumu	Kromofor seçiciliği, penetrasyon ve saçılmayı belirler.	Lazer tipi ve tam dalga boyu
Atım enerjisi (mJ)	Tek bir atımda verilen enerji	Kabarcık hacmi, ablasyon eşiği ve lokal termal etkiyi değiştirir.	mJ/atım
Frekans (Hz)	Saniyedeki atım sayısı	Ortalama güç ve ısı birikimini etkiler.	Hz
Atım süresi (μs/ms)	Enerjinin tek atımda verilme süresi	Kısa atımlar fotoakustik/termomekani k etkiyi, uzun atımlar ısı yayılımını artırabilir.	Atım modu ve süre
Ortalama güç (W)	Birim zamandaki enerji	Tek başına yeterli güvenlik göstergesi değildir.	W ve çalışma modu

Parametre	Tanım	Klinik anlam	Asgari kayıt
Uç/spot çapı	Enerjinin uygulandığı alan	Küçük çapta enerji yoğunluğu ve lokal ısınma artabilir.	Uç kodu, çapı ve geometrisi
Toplam süre/enerji	Tüm döngü boyunca verilen enerji	Kümülatif ısı, doku dozu ve tekrar edilebilirlik için kritiktir.	Döngü sayısı, süre ve toplam J
Ortam ve soğutma	İrrigant, su-hava spreyi veya kuru alan	Erbiyum lazerde etkinlik ve termal güvenliğin temel belirleyicisidir.	İrrigant türü/hacmi, su-hava ayarı

Kaynak: Parker (2007) ile Meire ve De Moor (2024) temel alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

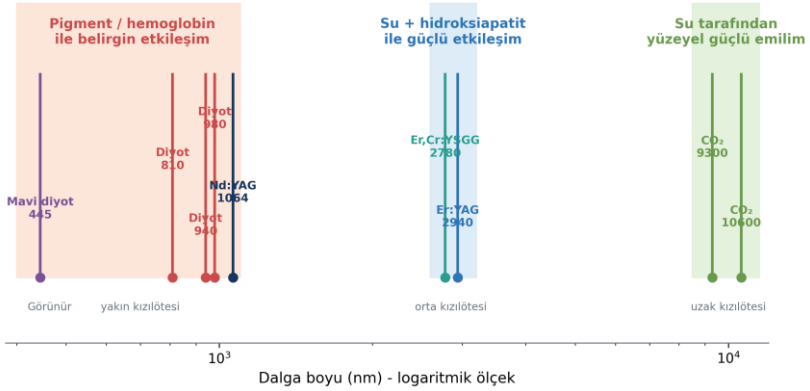
Yansıma, saçılma, iletim ve absorbsiyon

Lazer ışığı dokuya ulaştığında enerjinin bir bölümü yansır, bir bölümü saçılır, bir bölümü iletilir ve bir bölümü absorbe edilir. Klinik etkiyi başlatan ana olay absorbsiyondur; ancak derin dokulara ulaşan enerji miktarı saçılma ve iletimle birlikte değerlendirilmelidir. (Huang et al., 2023; Parker, 2007)

Su ve hidroksiapatit erbiyum ve CO₂ dalga boylarında güçlü kromoforlardır. Hemoglobin, melanin ve bazı mikrobiyal pigmentler ise görünür ve yakın kızılötesi dalga boylarında daha belirgin etkileşim gösterebilir. Bu nedenle “sert doku lazeri” veya “yumuşak doku lazeri” tanımları, cihazın pazarlama adından çok dalga boyu-kromofor ilişkisine dayanmalıdır. (Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023; Parker, 2007)

Şekil 2. Endodontide kullanılan başlıca lazer dalga boylarının hedef kromoforlarla şematik ilişkisi. Grafik nicel bir absorbsiyon spektrumu değildir

Endodontide kullanılan başlıca lazer dalga boyları ve hedef kromoforlar



Not: Şema klinik yönelim içindir; nicel bir absorbsiyon spektrumu değildir.

Kaynak: Yazar tarafından özgün olarak hazırlanmıştır; bkz. (Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023; Parker, 2007).

Biyolojik etki mekanizmaları

Fototermal etki, absorbe edilen foton enerjisinin ısıya dönüşmesiyle oluşur. Kontrollü sıcaklık artışı protein denatürasyonu, koagülasyon ve bakteriyel membran hasarı sağlayabilirken, aşırı ısınma dentin yüzeyinde erime, çatlak, karbonizasyon veya periodontal hasar oluşturabilir. (Meire et al., 2009; Parker, 2007; Saydjari et al., 2016; Schoop et al., 2004)

Fotomekanik ve fotoakustik etkiler özellikle erbiyum lazerlerin su bazlı irrigant içinde oluşturduğu hızlı buhar kabarcıklarıyla ilişkilidir. Kabarcığın genişlemesi ve çökmesi basınç dalgaları, mikroakım ve irrigant hareketi meydana getirir; LAI, PIPS

ve SWEEPS bu mekanizmanın farklı uygulamalarıdır. (De Moor et al., 2009; DiVito et al., 2012; Lukac & Jezersek, 2018; Meire & De Moor, 2024; Peters et al., 2011; Swimberghe et al., 2022)

Fotokimyasal etki aPDT’de, fotosensitizerin uygun dalga boyuyla uyarılması ve singlet oksijen ile diğer reaktif oksijen türlerinin oluşması üzerinden gerçekleşir. Fotobiyomodülasyonda ise amaç termal ablasyon değil, düşük ışık dozlarının mitokondriyal ve hücrel sinyal yollarını modüle etmesidir. (Bonacina et al., 2026; Das et al., 2026; Huang et al., 2026; Kadam et al., 2024; Plotino et al., 2019)

Endodontide kullanılan lazer sistemleri

Aynı klinik hedef için farklı lazerler kullanılabilse de sistemler birbirinin eşdeğeri değildir. Dalga boyu, emisyon modu, fiber veya uç geometrisi ve hedef kromofor, hangi mekanizmanın baskın olacağını belirler. (Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023; Meire & De Moor, 2024)

Tablo 2. Endodontide başlıca lazer sistemleri

Sistem	Dalga boyu	Başlıca etkileşim	Endodontik kullanım	Önemli risk/sınırlılık
Mavi diyet	≈445 nm	Hemoglobin/pigment; yüzeyel etki	Yumuşak doku, VPT/PBM, fotosensitizer aktivasyonu	Yüzey ısısı; sınırlı kanal kanıtı
Yakın kızılötesi diyet	810, 940, 980 nm	Pigment absorpsiyonu; dentinde saçılma	Ek dezenfeksiyon, aPDT/PBM, cerrahi	Sıcak uç ve kök yüzeyi ısısı
Nd:YAG	1064 nm	Düşük su absorpsiyonu; derin saçılma	Fototermal dezenfeksiyon ve hemostaz	PDL/kemikte termal risk; yüzey erimesi
Er,Cr:YSGG	2780 nm	Su/hidroksiapatit absorpsiyonu	LAI, sert doku ve cerrahi	Su-hava ve uç konumu kritik
Er:YAG	2940 nm	Su absorpsiyonu; güçlü fotoakustik etki	LAI, PIPS, SWEEPS; smear/debris kontrolü	Kuru kanalda termal/yüzey hasarı
CO ₂	9300-10600 nm	Güçlü yüzeyel su absorpsiyonu	Cerrahi hemostaz/vaporizasyon; kılavuzlu erişim	Erişim sınırlı; karbonizasyon/kemik hasarı

Kaynak: Huang et al. (2023), Meire ve De Moor (2024) ve Ghods et al. (2025) temel alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Er:YAG ve Er,Cr:YSGG

Er:YAG lazer 2940 nm, Er,Cr:YSGG lazer 2780 nm dalga boyunda çalışır ve her iki sistem de suyla güçlü etkileşir. Bu özellik, irrigasyon sıvısında yüksek enerjili fakat kısa ömürlü kabarcıkların oluşturulmasına ve sert dokuda termomekanik ablasyona olanak verir. (Fiegler-Rudol et al., 2025; Huang et al., 2023; Meire & De Moor, 2024)

Endodontide modern erbiyum uygulamalarının çoğunda amaç dentin duvarını doğrudan kesmek değil, irrigantı fotoakustik olarak aktive etmektir. Bu nedenle kanal veya pulpa odasının yeterli sıvı rezervuarıyla dolu olması, ucun duvara temas etmemesi ve taze irrigantın döngüler arasında yenilenmesi önemlidir. (De Moor et al., 2009; DiVito et al., 2012; Lukac & Jezersek, 2018; Meire & De Moor, 2024; Peters et al., 2011; Swimberghe et al., 2022)

Nd:YAG lazer

Nd:YAG lazerin 1064 nm dalga boyu su ve hidroksiapatitte düşük absorpsiyon gösterir; bu nedenle enerji dentin içinde daha derine saçılabilir. Bu özellik dentin tübüllerindeki pigmentli mikrobiyal yapılara ulaşma potansiyeli sağlarken, sement, periodontal ligament ve alveoler kemikte istenmeyen ısı birikimi riskini de artırır. (Saydjari et al., 2016; Schoop et al., 2004)

Nd:YAG ışınlaması dentin yüzeyinde erime ve yeniden kristalizasyon oluşturabilir. Bu yüzey modifikasyonu bazı geçirgenlik azaltma uygulamalarında yararlı görülebilse de smear tabakasını “uzaklaştırma” ile aynı etki değildir ve sealer penetrasyonu açısından her zaman avantajlı kabul edilemez. (Anagnostaki et al., 2020; Kimura et al., 2000; Saydjari et al., 2016)

Diyot lazerler

Diyot lazerler kompakt yapıları, fiberle iletim kolaylığı ve görece düşük maliyetleri nedeniyle klinikte yaygındır. 810-980 nm aralığındaki sistemlerin antibakteriyel etkisi büyük ölçüde fototermaldir; kanal içinde fiberin sürekli hareket ettirilmesi, kısa döngüler ve soğuma araları termal güvenlik açısından zorunludur. (Ghods et al., 2025; Saydjari et al., 2016)

Diyot lazerlerin dentin ve su tarafından zayıf absorpsiyonu, “daha derin etki” olarak yorumlanabilir; ancak bu özellik kontrolsüz enerji yayılımı anlamına da gelebilir. Fiber ucunda biriken koyu renkli debris sıcak uç etkisini artırarak lokal karbonizasyon oluşturabileceğinden, uç temizliği ve cihaz-özel kalibrasyon önemlidir. (Parker, 2007; Saydjari et al., 2016)

CO₂ lazer ve diğer gelişen sistemler

CO₂ lazerler, özellikle 10.6 µm dalga boyunda su tarafından çok güçlü absorbe edilir ve enerjiyi yüzeyde bırakır. Bu nedenle yumuşak dokuda vaporizasyon ve hemostaz sağlayabilir; ancak kök kanal içindeki dar ve eğri anatomilere enerji iletimi sınırlıdır. (Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023; Kimura et al., 2000)

9.3 µm CO₂ lazer ile CBCT ve dijital görüntü eşleştirmesine dayalı bilgisayar kontrollü erişim kavitesi hazırlanması, 2021 tarihli bir in vitro pilot çalışmada iatrojenik hata olmaksızın uygulanmıştır. Bu yaklaşım robotik veya görüntü kılavuzlu sert doku ablasyonunun gelecekteki potansiyelini gösterse de henüz rutin klinik standardı değildir. (Simon et al., 2021)

Cerrahi olmayan endodontide klinik uygulamalar

Kök kanal dezenfeksiyonuna yardımcı fototermal uygulamalar

Kök kanal enfeksiyonları planktonik mikroorganizmalardan çok, ekstrasellüler matriks içinde organize biyofilmlerle karakterizedir. Biyofilm yapısı ve dentin tübüllerinin derinliği, tek bir antimikrobiyal modalitenin tüm mikroorganizmaları elimine etmesini gerçekçi olmaktan çıkarır. (Meire et al., 2009; Wong et al., 2021)

Nd:YAG ve diyet lazerler laboratuvar çalışmalarında dentin derinliklerinde bakteri azalması sağlayabilmiştir; ancak sonuçlar örnek modeli, dentin kalınlığı, güç, fiber çapı ve ışınlama süresine son derece bağlıdır. Lazerle elde edilen kültür azalması, klinik ortamda “sterilizasyon” veya uzun dönem tedavi başarısı ile eşanlamlı değildir. (Meire et al., 2009; Saydjari et al., 2016; Schoop et al., 2004)

Fototermal lazer uygulanacaksa mekanik preparasyon ve irrigasyon tamamlanmış olmalı, fiber kanalda serbestçe hareket edebilmeli ve apikal bölgede sıkışmamalıdır. Ucun sabit tutulması, özellikle ince köklü dişlerde veya rezorpsiyon alanlarında lokal ısı birikimini hızlandırabilir. (Parker, 2007; Saydjari et al., 2016)

Kanıt uyarısı

Daha yüksek güç, daha iyi dezenfeksiyon anlamına gelmez. Antimikrobiyal yarar ile periodontal termal risk arasındaki ilişki doğrusal değildir; klinik hedef, en düşük biyolojik yükü yeterli ek etkiyi sağlamaktır.

Lazer-aktif irrigasyonun temel mekanizması

LAI’de lazer enerjisinin ana hedefi dentin değil, kanal içindeki su bazlı irriganttır. Erbiyum lazer atımı sıvıda hızlı buhar

kabarcığı oluşturur; kabarcığın genişmesi ve çökmesi irrigantın ana kanal, isthmus ve lateral düzensizlikler içinde hareketini artırır. (De Moor et al., 2009; Meire & De Moor, 2024; Swimberghe et al., 2022)

Yüksek hızlı görüntüleme çalışmaları, LAI'nin biyofilme etkisinin yalnızca “kavitasyon” sözcüğüyle açıklanamayacağını; kabarcık dinamiği, basınç gradyanı, sıvı jetleri, kanal geometrisi ve gaz içeriğinin birlikte rol oynadığını göstermiştir. (Meire & De Moor, 2024; Swimberghe et al., 2022)

LAI, NaOCl'nin organik doku çözme ve antimikrobiyal işlevinin veya EDTA'nın şelasyon etkisinin yerine geçmez; bu solüsyonların taşınmasını ve yüzeyle temasını artırır. Bu nedenle taze irrigant hacmi, aktivasyon döngüsü, ara yıkama ve apikal taşma kontrolü, lazer parametresi kadar önemlidir. (Fiegler-Rudol et al., 2025; Meire & De Moor, 2024)

PIPS

PIPS, düşük enerjili Er:YAG atımlarının özel bir uçla pulpa odası veya koronal sıvı rezervuarında uygulanmasına dayanır. Uzun çalışma boyuna kadar ilerletilmemesi, duvar teması ve apikal bölgede fiber sıkışması riskini azaltırken, basınç dalgalarının tüm sıvı kolonunda yayılmasını hedefler. (DiVito et al., 2012; Peters et al., 2011)

PIPS'in avantajı, geniş apikal preparasyona ihtiyaç duymadan irrigant hareketini artırabilmesidir. Bununla birlikte açık apeks, apikal rezorpsiyon, perforasyon veya geniş apikal açıklık bulunan olgularda düşük basınçlı çalışma ve ekstrüzyon riski ayrıca değerlendirilmelidir. (Meire & De Moor, 2024)

SWEEPS

SWEEPS, ilk kabarcığın çöküş fazı ile ikinci Er:YAG atımını eşzamanlayarak basınç dalgasını güçlendirmeyi amaçlar. Dar kanal boşluklarında ilk kabarcığın serbestçe genişleyememesiyle oluşan sınırlılığı azaltmak için geliştirilen bu çift atımlı yaklaşım, deneysel modellerde daha güçlü basınç salınımları ve sıvı hareketi oluşturmuştur. (Lukac & Jezersek, 2018; Swimberghe et al., 2022)

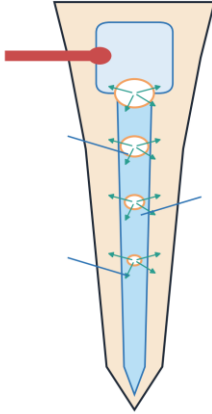
Kavisli kanallarda yapılan bir çalışmada PIPS ve SWEEPS, konvansiyonel irrigasyona göre özellikle orta ve apikal üçlüde daha az smear tabakası bırakmıştır. Ancak bu bulgu laboratuvar temizliği ile klinik iyileşme arasında doğrudan bir nedensellik kurmaz. (Tong et al., 2023)

Şekil 3. PIPS ve SWEEPS tekniklerinin kavramsal karşılaştırması.

Her iki yöntemde de enerji sıvı rezervuarına aktarılır; SWEEPS ikinci atımla kabarcık çöküşünü güçlendirmeyi hedefler

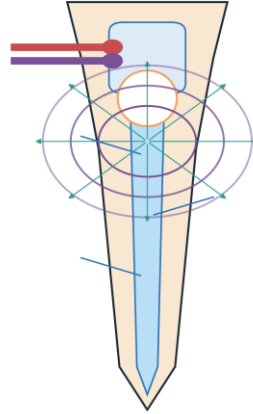
Lazer-aktifte irrigasyonda enerji dentine değil, sıvı rezervuarına aktarılır

PIPS: tek atımlı fotoakustik aktivasyon



Düşük enerjili atım → kabarcık oluşumu → akustik akım

SWEEPS: eşzamanlanmış çift atım



İkinci atım, ilk kabarcığın çöküşünü güçlendirir → basınç dalgası

Klinik amaç; irrigantın isthmus, lateral kanal ve apikal düzensizliklere taşınmasını artırmak.

Kaynak: Yazar tarafından özgün olarak hazırlanmıştır; bkz. (DiVito et al., 2012; Lukac & Jezersek, 2018; Peters et al., 2011; Swimberghe et al., 2022; Tong et al., 2023).

Geleneksel, sonik, ultrasonik ve lazer aktivasyonun karşılaştırılması

Konvansiyonel iğne irrigasyonu ucuz, erişilebilir ve temel bir yöntemdir; ancak sıvı değişimi çoğunlukla iğne ucunun yakın çevresiyle sınırlıdır ve kapalı uçlu kanallarda apikal gaz tutulumu akışı azaltabilir. Sonik ve ultrasonik sistemler irrigant hareketini artırır; PUI özellikle akustik mikroakım ve ucun serbest salınımı üzerinden etkili olur. (Meire & De Moor, 2024; Siqueira et al., 2018)

LAI'nin bazı laboratuvar sonuçlarında PUI'den üstün bulunması, her klinik olguda lazerin seçilmesi gerektiği anlamına

gelmez. Cihaz maliyeti, eğitim, apikal güvenlik, tedavi süresi ve operatör standardizasyonu birlikte değerlendirilmelidir. (Duarte et al., 2026; Fiegler-Rudol et al., 2025; Meire & De Moor, 2024)

Tablo 3. İrrigasyon aktivasyon tekniklerinin klinik karşılaştırması

Teknik	Başlıca mekanizma	Güçlü yön	Sınırlılık / risk	Klinik konum
Konvansiyonel iğne	Pozitif basınçlı sıvı verilmesi	Basit, ekonomik, vazgeçilmez temel yöntem	Apikal ve lateral alanlarda sınırlı değişim; ekstrüzyon riski	Her olguda temel
Manuel dinamik	Gutta-perka ile piston benzeri hareket	Ek cihaz gerektirmez	Operatör bağımlı, standardizasyon düşük	Düşük maliyetli ek seçenek
Sonik	Düşük frekanslı esnek uç salınımı	Kullanımı kolay, duvar hasarı düşük	Enerji aktarımı ultrasonik/LAI'den düşük olabilir	Rutin ek aktivasyon
PUI	Yüksek frekanslı akustik mikroakım	Klinik deneyim ve kanıt birikimi güçlü	Uç duvara temas ederse etkinlik azalır; eğri kanalda kontrol gerekir	Yerleşik aktivasyon yöntemi
PIPS	Koronal rezervuarda düşük enerjili Er:YAG fotoakustığı	Derin fiber yerleşimi gerektirmez; minimal preparasyonla uyumlu	Cihaz-özel protokol, maliyet ve eğitim	Seçilmiş olguda yardımcı
SWEEPS	Eşzamanlanmış çift atımlı güçlendirilmiş basınç dalgası	Güçlü sıvı dinamiği; kompleks anatomide potansiyel	Klinik kanıt ve standardizasyon gelişmekte	Gelişen yardımcı teknik

Kaynak: Meire ve De Moor (2024) ve Duarte et al. (2026) temel alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Smear tabakası, debris ve dentin yüzeyi

Smear tabakası, enstrümantasyon sırasında oluşan organik ve inorganik artıkların dentin yüzeyini ve tübül ağzıklarını örtmesiyle oluşur. Bu tabaka irrigant penetrasyonunu, intrakanal medikamentlerin etkisini ve sealer-dentin etkileşimini değiştirebilir; bu nedenle final irrigasyonda EDTA veya başka bir şelatör kullanımı temel yaklaşımdır. (Violich & Chandler, 2010)

Erbiyum LAI, EDTA ve NaOCl'nin yüzeyle temasını artırarak smear ve debris uzaklaştırılmasına katkı sağlayabilir. Buna karşılık Nd:YAG ve CO₂ gibi lazerlerin oluşturduğu erime ve yeniden kristalizasyon, tübül ağzıklarını kapatabilir; bu sonuç smear tabakası uzaklaştırma değil, yüzey modifikasyonudur. (DiVito et al., 2012; Tong et al., 2023; Violich & Chandler, 2010)

Aşırı aktivasyon, uzun EDTA teması ve yüksek enerji kombinasyonu dentin erozyonu veya yüzey morfolojisinde istenmeyen değişiklikler oluşturabilir. Final irrigasyonun amacı “maksimum enerji” değil, organik ve inorganik bileşenleri dengeli biçimde uzaklaştırmaktır. (Meire & De Moor, 2024; Violich & Chandler, 2010)

Retreatment, medikament ve dolgu kalıntılarının uzaklaştırılması

Retreatment olgularında gutta-perka, sealer ve kalsiyum hidroksit kalıntıları isthmus, rezorpsiyon boşluğu veya oval uzantılarda kalabilir. LAI bu kalıntıların uzaklaştırılmasına yardımcı olabilir; ancak mekanik retreatment, büyütmeye, ultrasonik uçlar ve gerektiğinde çözücülerle birlikte düşünülmelidir. (Ghods et al., 2025; Meire & De Moor, 2024)

Lazerin biyoseramik sealer veya kırık aletleri “güvenle erittiği” biçimindeki genellemeler kanıtla desteklenmez. Yüksek ısı, dentin çatlağı, materyal kimyasında değişiklik veya periodontal hasar yaratabileceğinden bu uygulamalar cihaz-özel araştırma protokolleri dışında rutin öneri haline getirilmemelidir. (Duarte et al., 2026; Ghods et al., 2025)

Antimikrobiyal fotodinamik tedavi

aPDT’de fotosensitizer kanal sistemine uygulanır, uygun süreyle mikroorganizma veya biyofilmle etkileşmesi beklenir ve spektral olarak uyumlu ışıkla aktive edilir. Oluşan reaktif oksijen türleri membran, protein ve nükleik asitleri okside ederek mikrobiyal yükü azaltır. (Plotino et al., 2019)

aPDT’nin termal yükünün düşük olması ve klasik antibiyotik direnci seçim mekanizmasına dayanmaması önemli avantajlardır. Bununla birlikte fotosensitizerin biyofilm ve dentin tübüllerine difüzyonu, ışığın kanal içinde dağılımı, oksijen varlığı ve boya kalıntısının restoratif sonuçlara etkisi protokolü belirler. (Das et al., 2026; Huang et al., 2026; Plotino et al., 2019)

2026 tarihli bir sistematik derleme ve meta-analiz, aPDT’nin mikrobiyal yük ve erken postoperatif ağrı üzerinde ek yarar gösterebileceğini bildirmiş; ancak dahil edilen çalışmaların azlığı ve risk-of-bias sorunları nedeniyle kesinliğin sınırlı olduğunu belirtmiştir. Aynı yıl yayımlanan geniş kapsamlı bir derleme de klinik çalışmaların laboratuvar literatürüne göre az olduğunu ve protokol standardizasyonuna ihtiyaç bulunduğunu vurgulamıştır. (Das et al., 2026; Huang et al., 2026)

Klinik konum

aPDT, NaOCl/EDTA ve mekanik preparasyonun yerine değil; persistan enfeksiyon, retreatment veya düşük termal yük istenen seçilmiş olgularda ek dezenfeksiyon yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir.

Fotobiyomodülasyon ve postoperatif ağrı

PBM’de amaç bakterileri ısıyla öldürmek veya dokuyu ablate etmek değildir. Düşük ışık dozlarının sitokrom-c oksidaz, ATP üretimi, reaktif oksijen sinyali, inflamatuvar mediyatörler ve periferik sinir iletimi üzerinde oluşturduğu biyolojik yanıtlar araştırılmaktadır. (Bonacina et al., 2026; Kadam et al., 2024)

2024 tarihli sistematik derleme PBM’nin endodontik işlem sonrası ağrıyı azaltabileceğini bildirmiştir. 2026 tarihli meta-analizde beş çalışmanın birleştirilmiş verisi, birinci günde plaseboya göre ortalama 0.56 puanlık VAS azalması göstermiş; yazarlar daha fazla yüksek kaliteli çalışmaya ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır. (Bonacina et al., 2026; Kadam et al., 2024)

PBM için tek bir evrensel doz önerilemez; dalga boyu, enerji yoğunluğu, uygulama noktası, doku kalınlığı, seans sayısı ve cihaz çıkış kalibrasyonu sonucu değiştirir. Analjezik etki, hatalı endodontik tanı veya yetersiz dezenfeksiyonu maskeleyerek için kullanılmamalıdır. (Bonacina et al., 2026; Kadam et al., 2024)

Postoperatif ağrı ve periapikal iyileşme: 2024-2026 kanıtı

LAI’nin postoperatif ağrı üzerindeki etkisi son yıllarda birden fazla sistematik derleme ile değerlendirilmiştir. Genel eğilim, ilk 24-48 saatte küçük veya orta büyüklükte bir ağrı azalması olabileceği; ancak sonuçların irrigant, pulpal tanı, apikal durum, lazer modu ve karşılaştırmaya göre değiştiği yönündedir.

(McGillivray & Dutta, 2024; Pertek Hatipoğlu et al., 2026; Sabeti et al., 2026; Schmidt et al., 2025)

Randomize klinik çalışmalar PIPS, SWEEPS ve ultrasonik aktivasyon arasında bazı erken zaman noktalarında fark bildirmiş olsa da bu farklar tüm ölçümlerde tutarlı değildir. Bu nedenle lazerin postoperatif ağrıyı kesin olarak önlediği söylenemez. (Erkan et al., 2022; Liapis et al., 2021)

2026 tarihli 132 hastalık prospektif klinik çalışmada tüm aktivasyon gruplarında bir yıllık iyileşme görülmüş; PIPS ve SWEEPS gruplarında lezyon boyutu ve PAI azalması konvansiyonel iğne grubuna göre daha fazla bulunmuştur. Bu sonuç klinik açıdan dikkat çekicidir, ancak tek bir çalışma olarak umbrella review düzeyindeki genel belirsizliği ortadan kaldırmaz. (Çiçek et al., 2026; Duarte et al., 2026)

Tablo 4. 2024-2026 döneminden seçilmiş güncel kanıtlar

Çalışma	Tasarım	Konu	Temel çıkarım
McGillivray ve Dutta, 2024	Sistematiik derleme	LAI ve postoperatif ağrı	Erken ağrıda olası azalma; protokoller heterojen.
Meire ve De Moor, 2024	Anlatı derlemesi	LAI fiziğı ve antimikrobiyal etki	Kabarcık dinamiğı ve parametre raporlaması klinik yorumun merkezinde.
Fiegler-Rudol ve ark., 2025	Sistematiik derleme	Er:YAG dezenfeksiyonu	Laboratuvar ve erken klinik bulgular olumlu; standardizasyon gerekli.
Schmidt ve ark., 2025	Sistematiik derleme/meta-analiz	Er:YAG LAI ve ağrı	Erken ağrıda yarar olası; kanıt kesinliğı sınırlı.
Ribeiro ve ark., 2025	Scoping review	Lazer destekli rejeneratif endodonti	Biyolojik potansiyel var; klinik veri az.

Çalışma	Tasarım	Konu	Temel çıkarım
Duarte ve ark., 2026	Umbrella review	Primer endodontik olgularda klinik etkililik	Lazer yardımcıdır; kanıt heterojen ve klinik yarar kesin değil.
Sabeti ve ark., 2026	RCT meta-analizi	LAI ve UAI sonrası ağrı	Bazı erken zamanlarda LAI lehine fark; uzun dönem üstünlük belirsiz.
Hatipoğlu ve ark., 2026	Ağ meta-regresyonu	Aktivasyon teknikleri ve ağrı	Teknikler arası sıralama değişken; vaka ve protokol etkisi belirgin.
Çiçek ve ark., 2026	Prospektif klinik karşılaştırma	1 yıllık periapikal iyileşme	Lazer gruplarında daha fazla PAI/lezyon azalması; doğrulayıcı RCT gerekli.
Bonacina ve ark., 2026	Sistemik derleme/meta-analiz	PBM ve postoperatif ağrı	Birinci günde küçük fakat anlamlı analjezik etki; daha güçlü çalışma gerekli.
Das ve ark., 2026	Sistemik derleme/meta-analiz	aPDT	Ek mikrobiyal ve ağrı yararı olası; çalışma kalitesi heterojen.

Kaynak: Tabloda belirtilen çalışmalar temel alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Vital pulpa tedavisi ve rejeneratif endodonti

Vital pulpa tedavisinde lazer

Vital pulpa tedavisinde temel hedef, doğru pulpal tanı, kontrollü kanama, enfekte dentinin uzaklaştırılması, biyouyumlu kalsiyum silikat materyali ve sızdırmaz restorasyondur. Lazer; hemostaz, yüzey dekontaminasyonu veya PBM amacıyla yardımcı olabilir, ancak biyomateryal ve koronal sızdırmazlığın yerini alamaz. (Afkhami et al., 2023; Afkhami et al., 2024)

2023 ve 2024 tarihli iki kapsamlı derleme, lazer destekli VPT’de bazı olumlu histolojik, klinik ve radyografik sonuçlar

bulunduğunu; ancak lazer tipleri, dozlar ve karşılaştırmalar arasındaki heterojenliğin kesin öneri geliştirmeyi engellediğini bildirmiştir. (Afkhami et al., 2023; Afkhami et al., 2024)

2025 tarihli in vitro bir çalışma, 450 ve 980 nm diyet lazerin Biodentine ile birlikte dental pulpa kök hücresi proliferasyonu ve pluripotensi genleri üzerindeki etkilerini göstermiştir. Bu bulgular mekanistik açıdan ilgi çekici olmakla birlikte, doğrudan klinik doz veya başarı önerisine dönüştürülemez. (Alborzy et al., 2025)

Rejeneratif endodontide lazer

Rejeneratif endodontik prosedürlerde dezenfeksiyon ile apikal papilla kök hücrelerinin, dentin kaynaklı büyüme faktörlerinin ve oluşacak scaffoldun korunması arasında hassas bir denge gerekir. Geniş mekanik preparasyondan kaçınıldığı için irrigant aktivasyonu teorik olarak daha önemli hale gelir. (Kumar et al., 2025; Ribeiro et al., 2025)

Erbiyum LAI, düşük konsantrasyonlu irrigantların kompleks anatomiye taşınmasını artırma potansiyeli nedeniyle immatür dişlerde ilgi çekmektedir. Ancak açık apeks, apikal dokuların korunması ve irrigant ekstrüzyonu riski, enerji ve süre seçiminde daha konservatif yaklaşım gerektirir. (Kumar et al., 2025; Ribeiro et al., 2025)

2025 tarihli scoping review ve sistematik derleme, lazer destekli rejeneratif uygulamalarda dezenfeksiyon ve hücresel biyomodülasyon potansiyeli bulunduğunu; ancak kanıtın çoğunlukla prelinik, hayvan veya küçük klinik serilerden oluştuğunu göstermiştir. Lazer, mevcut rejeneratif protokolün standart bileşeni olarak değil, araştırma temelli yardımcı yaklaşım olarak değerlendirilmelidir. (Kumar et al., 2025; Ribeiro et al., 2025)

Rejeneratif endodonti için kırmızı çizgi

Kök hücre canlılığını koruma hedefi, daha agresif lazer dozlarıyla “maksimum dezenfeksiyon” arayışından daha önemlidir. Açık apeksli dişlerde apikal ekstrüzyon ve termal yük için daha geniş güvenlik payı bırakılmalıdır.

Cerrahi endodontide lazer

Periapikal cerrahide lazerler yumuşak doku insizyonu, hemostaz, granülasyon dokusunun uzaklaştırılması, osteotomi, kök ucu rezeksiyonu, yüzey dekontaminasyonu ve PBM amacıyla araştırılmıştır. Doku seçimi dalga boyuna göre yapılmalıdır: erbiyum lazerler su ve hidroksiapatit üzerinden sert dokuda ablasyon sağlarken, diyet ve CO₂ lazerler yumuşak doku hemostazında daha belirgin rol oynar. (Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023; Lietzau et al., 2013)

2013 tarihli retrospektif bir çalışmada operasyon mikroskobu eşliğinde Er:YAG kullanılan apikoektomi grubunda konvansiyonel cerrahiye göre daha iyi postoperatif iyileşme bildirilmiştir. Retrospektif tasarım ve sınırlı örneklem nedeniyle bu sonuç lazerin modern mikrocerrahiye üstünlüğünü kanıtlamaz. (Lietzau et al., 2013)

Güncel endodontik mikrocerrahinin çekirdeği büyütme ve aydınlatma, uygun kök ucu rezeksiyonu, ultrasonik retropreparasyon ve biyoseramik retrograd dolgu materyalidir. Lazer bu basamakları tamamlayabilir; ancak bunların yerine geçmemelidir. (Duarte et al., 2026; Ghods et al., 2025)

Cerrahide yüksek enerji karbonizasyon, erime, kemik nekrozu veya gecikmiş iyileşme oluşturabilir. Erbiyum sert doku ablasyonunda sürekli su soğutması; diyet ve CO₂ yumuşak doku

uygulamalarında hareketli teknik, kısa temas ve plume kontrolü zorunludur. (Eriksson & Albrektsson, 1983; Laser Institute of America, 2024; Parker, 2007)

Termal güvenlik ve uluslararası güvenlik standartları Termal eşikler nasıl yorumlanmalıdır?

Lazer uygulamalarında en önemli biyolojik risk, hedef dışı dokularda kümülatif ısı artışıdır. Pulpa, periodontal ligament ve alveoler kemik; dentin kalınlığı, kan akımı, uygulama süresi ve soğutma koşullarına göre farklı termal yanıt verir. (Eriksson & Albrektsson, 1983; Parker, 2007; Zach & Cohen, 1965)

Zach ve Cohen'in (1965) tarihli klasik hayvan çalışmasında pulpa içi 5.5°C sıcaklık artışıyla histolojik hasar arasında ilişki bildirilmiş; bu değer uzun yıllar güvenlik referansı olarak kullanılmıştır. Bu tarihsel eşik, güncel insan klinik uygulamaları için mutlak ve evrensel bir sınır olarak yorumlanmamalı; ölçüm yöntemi, süre ve model farklılıkları dikkate alınmalıdır.

Eriksson ve Albrektsson'un (1983) çalışması, kemikte yaklaşık 47°C'de bir dakikalık maruziyetin osteonekroz riski taşıdığını göstermiştir. Klinik hedef, kök yüzeyinde yalnızca belirli bir "derece artışı"nı değil, ulaşılan mutlak sıcaklık ile maruziyet süresini birlikte sınırlamaktır.

Termal riski azaltan işlem ilkeleri

- Diş tipi, kök kalınlığı, rezorpsiyon ve apikal açıklık işlem öncesinde değerlendirilir.
- Mümkün olan en düşük etkili enerji ve en kısa etkili döngü kullanılır.

- Fiber veya uç aynı noktada sabit tutulmaz; kanal içinde serbest hareket doğrulur.
- Erbiyum LAI sırasında yeterli irrigant rezervuarı ve düzenli solüsyon yenileme sağlanır.
- Döngüler arasında soğuma süresi bırakılır; toplam enerji ve toplam ışınlama süresi kaydedilir.
- Karbonize fiber ucu/debris temizlenir; cihaz kalibrasyonu ve uç bütünlüğü kontrol edilir.

Oküler güvenlik, kontrollü alan ve plume

Dental lazerlerin büyük bölümü Sınıf 3B veya Sınıf 4 risk profiline sahiptir. ANSI Z136.3-2024, sağlık ortamlarında lazer güvenlik programı, kontrollü alan, eğitim, lazer güvenlik sorumluluğu, dalga boyuna özgü göz koruması ve mühendislik/idari kontroller için güncel çerçeveyi sağlar. (Laser Institute of America, 2024)

IEC 60825-1 lazer ürünlerinin sınıflandırılması ve üretici gerekliliklerini; IEC 60601-2-22:2019 ve 2026 değişikliği ise cerrahi, terapötik ve tanısal medikal lazer ekipmanının temel güvenlik ve performans gerekliliklerini düzenler. Klinik kurumun yerel mevzuatı ve cihazın CE/FDA durumu ayrıca kontrol edilmelidir. (International Electrotechnical Commission, 2014; International Electrotechnical Commission, 2026)

Lazer plume; partikül, kimyasal yan ürün ve biyolojik materyal içerebilir. NIOSH, doku dumanının kaynağa yakın yüksek hacimli aspirasyonla uzaklaştırılmasını, uygun filtrasyon ve kişisel koruyucu ekipman kullanılmasını önermektedir. (National Institute for Occupational Safety and Health, 1996)

Şekil 4. Sağlık hizmetlerinde lazer güvenliğinin hiyerarşik yaklaşımı.

PPE tek başına yeterli değildir; mühendislik ve idari kontroller önceliklidir

Güvenlik, yalnızca koruyucu gözlük değildir



En etkili yaklaşım: tehlikeyi kaynağında azaltmak; PPE son savunma katmanıdır.

Kaynak: Yazar tarafından özgün olarak hazırlanmıştır; bkz. (International Electrotechnical Commission, 2014; International Electrotechnical Commission, 2026; Laser Institute of America, 2024; National Institute for Occupational Safety and Health, 1996).

Tablo 5. Endodontik lazer güvenliği ve dokümantasyon kontrol listesi

Aşama	Kontrol	Klinik gerekçe
İşlem öncesi	Endikasyon, kök anatomisi, açık apeks/rezorpsiyon ve alternatif yöntemler değerlendirildi.	Risk-yarar dengesi ve hasta seçimi
Alan güvenliği	Kontrollü alan, uyarı levhası, anahtar kontrolü ve acil durdurma erişimi hazır.	Yetkisiz maruziyeti önleme
Göz koruması	Hasta, hekim ve yardımcı personelde dalga boyuna uygun, hasarsız gözlük mevcut.	Retina/kornea hasarını önleme

Aşama	Kontrol	Klinik gerekçe
Cihaz ve uç	Kalibrasyon, fiber/uç bütünlüğü, temizliği ve üretici protokolü doğrulandı.	Çıkış hatası, kırılma ve sıcak uç riskini azaltma
Parametre	Dalga boyu, mJ, Hz, atım süresi, W, uç çapı, mod ve planlanan toplam süre kaydedildi.	Tekrarlanabilirlik ve termal risk kontrolü
İrrigasyon/s öğütme	Gerekli sıvı rezervuarı veya su-hava soğutması sağlandı; irrigant taze tutuldu.	Termal yük ve kimyasal etkinlik
Uygulama	Uç hareketli, döngüler kısa, dinlenme araları yeterli; apikal ekstrüzyon izleniyor.	Lokal ısı ve NaOCl kazası riskini azaltma
Plume	Kaynağa yakın yüksek hacimli aspirasyon ve uygun maske/filtrasyon kullanılıyor.	Partikül ve biyolojik aerosol kontrolü
Kayıt	Cihaz, uç, parametre, süre, irrigant, klinik yanıt ve istenmeyen olaylar dosyada.	Kalite, eğitim ve medikolegal izlenebilirlik

Kaynak: Laser Institute of America (2024), International Electrotechnical Commission (2014, 2026) ve National Institute for Occupational Safety and Health (1996) temel alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Kanıtın eleştirel değerlendirilmesi

Endodontik lazer literatürünün önemli bir bölümü çekilmiş diş, tek tür biyofilm, yapay kanal veya SEM sonuçları kullanır. Bu çalışmalar mekanizma ve güvenlik için değerlidir; ancak hastanın immün yanıtı, kök anatomisi, restoratif sızdırmazlık ve takip süresi gibi klinik değişkenleri temsil etmez. (Anagnostaki et al., 2020; Duarte et al., 2026; Fiegler-Rudol et al., 2025; Meire & De Moor, 2024)

Sistemik derlemelerdeki heterojenlik yalnızca lazer tipinden kaynaklanmaz. Aynı “Er:YAG” başlığı altında atım enerjisi, frekans, uç konumu, irrigant konsantrasyonu, aktivasyon süresi ve

karşılaştırmacı teknik değişebilir; bu nedenle marka veya modalite adı tek başına protokol değildir. (Duarte et al., 2026; Fiegler-Rudol et al., 2025; Meire & De Moor, 2024)

Hasta-önemli sonuçları mikrobiyal kültür veya smear skorundan daha üst düzeydedir. Ağrı, flare-up, diş sağkalımı, radyografik iyileşme, yaşam kalitesi, advers olay ve maliyet-etkililik; gelecekteki çalışmaların ana sonuçları olmalıdır. (Çiçek et al., 2026; Duarte et al., 2026; McGillivray & Dutta, 2024; Pertek Hatipoğlu et al., 2026; Sabeti et al., 2026; Schmidt et al., 2025)

Şekil 5. Endodontik lazer uygulamalarında mekanistik kanıt ile klinik kesinlik arasındaki farkın şematik gösterimi.

Endodontide lazer uygulamalarının kanıt görünümü: güçlü mekanizmadan sınırlı klinik kesinliğe

Şematik sentez: formal GRADE değerlendirmesi değildir.

	Mekanistik / laboratuvar	Klinik sonuç	Protokol standardizasyonu	2026 klinik konumu
Erbiyum LAI / PIPS / SWEEPS	✓	●	-	✓
Postoperatif ağrı (LAI)	●	●	-	✓
Periapikal iyileşme	●	-	-	●
aPDT	✓	-	-	✓
PBM ile ağrı modülasyonu	●	●	-	✓
Vital pulpa tedavisi	●	-	-	●
Rejeneratif endodonti	●	-	-	●

● Güçlü/yerleşik mekanistik bulgu ● Orta/umut verici ● Sınırlı/heterojen
● Yardımcı klinik seçenek ● Gelişen alan

Kaynak: Yazar tarafından özgün olarak hazırlanmıştır; sentez için bkz. (Bonacina et al., 2026; Çiçek et al., 2026; Das et al., 2026; Duarte et al., 2026; Fiegler-Rudol et al., 2025; Ghods et al., 2025; Huang et al., 2026; Kadam et al., 2024; Kumar et al., 2025; McGillivray & Dutta, 2024; Meire & De Moor, 2024; Pertek Hatipoğlu et al., 2026; Plotino et al., 2019; Ribeiro et al., 2025; Sabeti et al., 2026; Schmidt et al., 2025).

Klinik karar verme ve uygulama mantığı

Lazer seçimi cihazın elde bulunmasına göre değil, klinik hedefe göre yapılmalıdır. Kompleks anatomide irrigant hareketini artırmak hedefleniyorsa erbiyum LAI; seçilmiş persistan enfeksiyonda ek fototermal etki düşünülüyorsa diyet veya Nd:YAG; hedefli düşük termal dezenfeksiyon amaçlanıyorsa aPDT; ağrı modülasyonu amaçlanıyorsa PBM değerlendirilir. (Bonacina et al., 2026; Das et al., 2026; Duarte et al., 2026; Fiegler-Rudol et al., 2025; Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023; Huang et al., 2026; Kadam et al., 2024; Meire & De Moor, 2024; Plotino et al., 2019)

Her seçenek, doğru çalışma boyu, yeterli şekillendirme, NaOCl/EDTA mantığı, koronal sızdırmazlık ve restoratif planlama üzerine eklenir. Lazer, hatalı tanı, yetersiz apikal preparasyon, kırık irrigasyon iğnesi tekniği veya sızdıran koronal restorasyonu telafi etmez. (Duarte et al., 2026; Meire & De Moor, 2024)

Şekil 6. Endodontide lazer seçimi için kanıta dayalı karar akışı.

Endodontide lazer seçimi için kanıta dayalı karar akışı



Lazer, doğru endikasyonda tamamlayıcıdır; konvansiyonel tedavinin yerini almaz.

Kaynak: Yazar tarafından özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 6. Klinik senaryoya göre lazerin olası rolü

Klinik senaryo	Temel standart	Lazerin olası rolü	Kanıt ve dikkat noktası
Primer tedavi, kompleks isthmus/oval kanal	Şekillendirme + NaOCl + EDTA + güvenli iğne/PUI	Erbiyum LAI, PIPS veya SWEEPS ile final irrigasyon desteği	Temizlik verileri olumlu; klinik üstünlük kesin değil.
Persistan enfeksiyon / retreatment	Dolgu ve medikamentlerin mekanik uzaklaştırılması, taze irrigasyon	LAI; seçilmiş olguda ek diyot/Nd:YAG veya aPDT	Termal yük, kalan materyal ve dentin kalınlığı izlenir.
Yüksek postoperatif ağrı riski	Doğru tanı, apikal taşma kontrolü, analjezi planı	LAI veya PBM yardımcı olabilir	Erken ağrıda küçük yarar; protokol heterojen.

Klinik senaryo	Temel standart	Lazerin olası rolü	Kanıt ve dikkat noktası
Açık apeks / rejeneratif olgu	Düşük sitotoksik dezenfeksiyon, apikal doku ve scaffold korunması	Konservatif erbiyum aktivasyonu araştırma temelli seçenek	Ekstrüzyon ve hücre canlılığı öncelikli; klinik kanıt sınırlı.
Vital pulpa tedavisi	Hemostaz, kalsiyum silikat materyali, sızdırmaz restorasyon	Yüzey dekontaminasyon u/hemostaz/PBM	Lazer yardımcıdır; standart materyalin yerine geçmez.
Periapikal cerrahi	Mikroskop, ultrasonik retropreparasyon, biyoseramik dolgu	Hedef dokuya göre erbiyum veya yumuşak doku lazeri	Klinik veri sınırlı; termal ve plume kontrolü şart.

Kaynak: Duarte et al. (2026), Meire ve De Moor (2024), Ghods et al. (2025), Bonacina et al. (2026), Ribeiro et al. (2025), Afkhami et al. (2023, 2024) ve Lietzau et al. (2013) temel alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Gelecek perspektifi

Endodontik lazerlerin geleceği, daha yüksek güçten çok daha iyi dozimetri ve geri bildirim sistemlerine bağlıdır. Gerçek zamanlı sıcaklık takibi, uç konum sensörleri, irrigant hacmi izleme, otomatik enerji sınırlandırma ve yapay zekâ destekli vaka seçimi güvenliği artırabilir. (Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023)

Görüntü kılavuzlu CO₂ ablasyon ve robotik tarama sistemleri, minimal invaziv erişim kavitesi hazırlanmasında araştırılmaktadır. Bu sistemlerin klinik değeri, doğruluk kadar işlem süresi, pulpa/periapikal güvenlik, maliyet ve restoratif prognozla belirlenmelidir. (Simon et al., 2021)

Araştırma öncelikleri; cihaz parametrelerinin CORE outcome set ile standart raporlanması, yeterli örneklemlerle çok

merkezli RCT'ler, en az 1-4 yıllık periapikal iyileşme ve diş sağkalımı takibi, advers olayların sistematik kaydı ve maliyet-etkililik analizleridir. (Duarte et al., 2026; Fiegler-Rudol et al., 2025; Meire & De Moor, 2024)

Sonuç

Lazer teknolojileri endodontide en güçlü biçimde fotoakustik irrigasyon aktivasyonu, ek dezenfeksiyon ve seçilmiş biyomodülasyon uygulamalarında değer taşır. Er:YAG ve Er,Cr:YSGG suyla etkileşimleri nedeniyle LAI, PIPS ve SWEEPS için; diyet ve Nd:YAG lazerler fototermal etki için; CO₂ lazerler ise yüzeysel cerrahi etki ve deneysel sert doku uygulamaları için öne çıkar. (Fiegler-Rudol et al., 2025; Ghods et al., 2025; Huang et al., 2023; Meire & De Moor, 2024)

Güncel klinik kanıt, laboratuvar düzeyindeki etkileyici sonuçlara rağmen lazerlerin primer endodontik tedavide rutin ve mutlak üstünlüğünü göstermemektedir. En doğru yaklaşım, lazeri kemomekanik preparasyon ve kimyasal irrigasyona eklenen, parametre-duyarlı ve endikasyon-özel bir yardımcı teknoloji olarak kullanmaktır. (Duarte et al., 2026)

Güvenli kullanım; dalga boyuna özgü göz koruması, kontrollü alan, plume aspirasyonu, uygun irrigasyon/soğutma, hareketli uç tekniği, kısa döngüler, cihaz-özel eğitim ve ayrıntılı parametre kaydı gerektirir. Klinik başarı, “lazer kullanıldı” ifadesinden değil; doğru hasta, doğru hedef, doğru doz ve doğru güvenlik sisteminin birlikte yönetilmesinden doğar. (International Electrotechnical Commission, 2014; International Electrotechnical Commission, 2026; Laser Institute of America, 2024; National Institute for Occupational Safety and Health, 1996)

Kaynakça

- Afkhami, F., Rostami, G., Xu, C., Walsh, L. J., & Peters, O. A. (2023). The application of lasers in vital pulp therapy: a review of histological effects. *Lasers in Medical Science*, 38, 215. <https://doi.org/10.1007/s10103-023-03854-7>
- Afkhami, F., Rostami, G., Xu, C., Walsh, L. J., & Peters, O. A. (2024). The application of lasers in vital pulp therapy: clinical and radiographic outcomes. *BMC Oral Health*, 24, 333. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04026-x>
- Alborzy, L., Hashemikamangar, S. S., Hodjat, M., Chiniforush, N., & Behniafar, B. (2025). Impact of diode laser irradiation along with Biodentine on dental pulp stem cell proliferation and pluripotent gene expression. *Scientific Reports*, 15, 24955. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11388-x>
- Anagnostaki, E., Mylona, V., Parker, S., Lynch, E., & Grootveld, M. (2020). Systematic review on the role of lasers in endodontic therapy. *Journal of Clinical Medicine*, 9(6), 1827. <https://doi.org/10.3390/jcm9061827>
- Bonacina, G., Hartmann, R. C., Gomes, M. S., & Böttcher, D. E. (2026). Analgesic efficacy of low-level laser therapy for postoperative endodontic pain: a systematic review and meta-analysis. *Australian Endodontic Journal*, 52(1), 310-322. <https://doi.org/10.1111/aej.70052>
- Çiçek, M., Şanal Çıkman, A., & Günaçar, D. N. (2026). Do laser-activated irrigation protocols improve endodontic success? A prospective clinical comparison of 1-year periapical healing with sonic, ultrasonic, manual dynamic and conventional techniques. *Diagnostics*, 16(7), 1003. <https://doi.org/10.3390/diagnostics16071003>

- Das, U., Giri, J., & Ayer, A. (2026). Effectiveness of antimicrobial photodynamic therapy in endodontic infection: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 26, 116. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07501-1>
- De Moor, R. J. G., Blanken, J., Meire, M., & Verdaasdonk, R. (2009). Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation. *Lasers in Surgery and Medicine*, 41(7), 520-523. <https://doi.org/10.1002/lsm.20797>
- DiVito, E., Peters, O. A., & Olivi, G. (2012). Effectiveness of the Er:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers in Medical Science*, 27(2), 273-280. <https://doi.org/10.1007/s10103-010-0858-x>
- Duarte, M. A., Neves, J. A., Caçador, M., & Flores-Fraile, J. (2026). Clinical efficiency of lasers in endodontic treatment of primary endodontic cases: an umbrella review of systematic reviews. *International Dental Journal*, 76(3), 109470. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2026.109470>
- Eriksson, A. R., & Albrektsson, T. (1983). Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 50(1), 101-107. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90174-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90174-9)
- Erkan, E., Gündoğar, M., Uslu, G., & Özyürek, T. (2022). Postoperative pain after SWEEPS, PIPS, sonic and ultrasonic-assisted irrigation activation techniques: a randomized clinical trial. *Odontology*, 110(4), 786-794. <https://doi.org/10.1007/s10266-022-00700-0>

- Fiegler-Rudol, J., Grzech-Leśniak, Z., Tkaczyk, M., Grzech-Leśniak, K., Zawilska, A., & Wiench, R. (2025). Enhancing root canal disinfection with Er:YAG laser: a systematic review. *Dentistry Journal*, 13(3), 101. <https://doi.org/10.3390/dj13030101>
- Ghods, K., Asnaashari, E., Dehmoobed, A., Motaharitabari, S., & Tofighirad, N. (2025). Application of dental lasers in the field of endodontics: a review of literature. *Iranian Endodontic Journal*, 20(1), e44. <https://doi.org/10.22037/iej.v20i1.46956>
- Huang, Q., Li, Z., Lyu, P., Zhou, X., & Fan, Y. (2023). Current applications and future directions of lasers in endodontics: a narrative review. *Bioengineering*, 10(3), 296. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030296>
- Huang, J., Wang, Y., Cai, Z., & Huang, X. (2026). Current status of antimicrobial photodynamic therapy in endodontic disinfection: a review of the literature. *Journal of Dentistry*, 164, 106205. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.106205>
- International Electrotechnical Commission. (2014). *IEC 60825-1:2014. Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements*.
- International Electrotechnical Commission. (2026). *IEC 60601-2-22:2019/AMD1:2026. Medical electrical equipment - Part 2-22: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical, cosmetic, therapeutic and diagnostic laser equipment*.

- Kadam, A. S., Merwade, S., Neelakantappa, K. K., Naik, S. B., Brigit, B., Bhumralkar, S. S., & Naik, B. H. (2024). Effect of laser photobiomodulation on postoperative pain in endodontics: a systematic review. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 42(1), 11-19. <https://doi.org/10.1089/photob.2023.0129>
- Kimura, Y., Wilder-Smith, P., & Matsumoto, K. (2000). Lasers in endodontics: a review. *International Endodontic Journal*, 33(3), 173-185. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2000.00280.x>
- Kumar, N. K., Abhishek, M., Naik, S. B., Brigit, B., Geervani, V. S., & Manimozhi, M. (2025). Evaluation of effect of laser in root canal disinfection in pulp regenerative therapy: a systematic review. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 43(2), 53-58. <https://doi.org/10.1089/photob.2024.0090>
- Laser Institute of America. (2024). *ANSI Z136.3-2024: Safe use of lasers in health care*.
- Liapis, D., De Bruyne, M. A. A., De Moor, R. J. G., & Meire, M. A. (2021). Postoperative pain after ultrasonically and laser-activated irrigation during root canal treatment: a randomized clinical trial. *International Endodontic Journal*, 54(7), 1037-1050. <https://doi.org/10.1111/iej.13500>
- Lietzau, M., Smeets, R., Hanken, H., Heiland, M., & Apel, C. (2013). Apicoectomy using Er:YAG laser in association with microscope: a comparative retrospective investigation. *Photomedicine and Laser Surgery*, 31(3), 110-115. <https://doi.org/10.1089/pho.2012.3393>

- Lukac, N., & Jezersek, M. (2018). Amplification of pressure waves in laser-assisted endodontics with synchronized delivery of Er:YAG laser pulses. *Lasers in Medical Science*, 33(4), 823-833. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2435-z>
- Maiman, T. H. (1960). Stimulated optical radiation in ruby. *Nature*, 187, 493-494. <https://doi.org/10.1038/187493a0>
- McGillivray, A., & Dutta, A. (2024). The influence of laser-activated irrigation on post-operative pain following root canal treatment: a systematic review. *Journal of Dentistry*, 144, 104928. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104928>
- Meire, M. A., De Prijck, K., Coenye, T., Nelis, H. J., & De Moor, R. J. G. (2009). Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in biofilms. *International Endodontic Journal*, 42(4), 351-359. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01532.x>
- Meire, M., & De Moor, R. J. G. (2024). Principle and antimicrobial efficacy of laser-activated irrigation: a narrative review. *International Endodontic Journal*, 57(7), 841-860. <https://doi.org/10.1111/iej.14042>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1996). *Control of smoke from laser/electric surgical procedures* (DHHS (NIOSH) Publication No. 96-128).
- Parker, S. (2007). Laser-tissue interaction. *British Dental Journal*, 202(2), 73-81. <https://doi.org/10.1038/bdj.2007.24>
- Pertek Hatipoğlu, F., Çoban Öksüz, M., Karobari, M. I., & Hatipoğlu, Ö. (2026). Determining the optimal irrigation activation or agitation techniques for postoperative pain control: a network meta-regression of clinical trials. *Japanese Dental Science Review*, 62, 26-45. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2025.12.001>

- Peters, O. A., Bardsley, S., Fong, J., Pandher, G., & DiVito, E. (2011). Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *Journal of Endodontics*, 37(7), 1008-1012. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.03.016>
- Plotino, G., Grande, N. M., & Mercadé, M. (2019). Photodynamic therapy in endodontics. *International Endodontic Journal*, 52(6), 760-774. <https://doi.org/10.1111/iej.13057>
- Ribeiro, L., Fischer, B. V., Vitali, F. C., Santos, P. S., Teixeira, C. D. S., Queiroz, Í. O. A., Sivieri-Araujo, G., dos Santos, P. H., & Garcia, L. D. F. R. (2025). Advances in laser-assisted regenerative endodontic procedures: a scoping review. *Journal of Dentistry*, 158, 105783. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105783>
- Sabeti, M., Harouni, A., & Gabbay, J. (2026). Comparing ultrasonically activated irrigation and laser-activated irrigation for postoperative pain reduction in endodontics: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Endodontics*, 52(1), 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2025.08.002>
- Saydjari, Y., Kuypers, T., & Gutknecht, N. (2016). Laser application in dentistry: irradiation effects of Nd:YAG 1064 nm and diode 810/980 nm in infected root canals - a literature overview. *BioMed Research International*, 2016, 8421656. <https://doi.org/10.1155/2016/8421656>
- Schmidt, L. S., Ferreira, L. D. S., Vargas Junior, F. A., Montagner, A. F., Rosa, W. L. O., Araújo, L. P., & Vieira, C. C. (2025). Postoperative pain in primary root canal treatments after Er:YAG laser-activated irrigation: a systematic review and meta-analysis. *Lasers in Medical Science*, 40, 37. <https://doi.org/10.1007/s10103-024-04271-0>

- Schoop, U., Kluger, W., Moritz, A., Nedjelic, N., Georgopoulos, A., & Sperr, W. (2004). Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers in Surgery and Medicine*, 35(2), 111-116. <https://doi.org/10.1002/lsm.20026>
- Simon, J. C., Kwok, J. W., Vinculado, F., & Fried, D. (2021). Computer-controlled CO2 laser ablation system for cone-beam computed tomography and digital image guided endodontic access: a pilot study. *Journal of Endodontics*, 47(9), 1445-1452. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.06.004>
- Siqueira, J. F., Jr., Rôças, I. N., Marceliano-Alves, M. F., Pérez, A. R., & Ricucci, D. (2018). Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian Oral Research*, 32(suppl 1), e65. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0065>
- Swimberghe, R. C. D., Tzourmanas, R., De Moor, R. J. G., Braeckmans, K., Coenye, T., & Meire, M. A. (2022). Explaining the working mechanism of laser-activated irrigation and its action on microbial biofilms: a high-speed imaging study. *International Endodontic Journal*, 55(12), 1372-1384. <https://doi.org/10.1111/iej.13824>
- Tong, J., Liu, L., Du, J., Gao, Y., Song, D., & Huang, D. (2023). Effect of photon-induced photoacoustic streaming and shock-wave enhanced emission photoacoustic streaming technique on the removal of the smear layer after root canal preparation in curved root canals. *Journal of Dental Sciences*, 18(1), 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2022.06.019>

- Violich, D. R., & Chandler, N. P. (2010). The smear layer in endodontics - a review. *International Endodontic Journal*, 43(1), 2-15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01627.x>
- Wong, J., Manoil, D., Näsman, P., Belibasakis, G. N., & Neelakantan, P. (2021). Microbiological aspects of root canal infections and disinfection strategies: an update review on the current knowledge and challenges. *Frontiers in Oral Health*, 2, 672887. <https://doi.org/10.3389/froh.2021.672887>
- Zach, L., & Cohen, G. (1965). Pulp response to externally applied heat. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 19, 515-530. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(65\)90015-0](https://doi.org/10.1016/0030-4220(65)90015-0)

REJENERATİF ENDODONTİ: BİYOLOJİK BÖLÜM 2 İLKELER, KANITA DAYALI KLİNİK PROTOKOLLER ve 2026 PERSPEKTİFİ

ALİYE KAMALAK¹

Özet

Rejeneratif endodonti, pulpa nekrozu gelişmiş ve kök gelişimi tamamlanmamış daimi dişlerde enfeksiyon kontrolünün ötesine geçerek kök matürasyonunu, periapikal iyileşmeyi ve dişin uzun dönem fonksiyonunu desteklemeyi amaçlayan biyolojik temelli bir tedavi yaklaşımıdır. Geleneksel apeksifikasyon, öngörülebilir bir apikal bariyer sağlayabilse de kısa kök ve ince dentin duvarı sorununu doğrudan çözmez. Rejeneratif endodontik tedavide apikal papilla ve periapikal dokulardaki endojen hücrelerin kanal boşluğuna göçü, dentin matriksinden serbestleşen sinyal molekülleri ve kan pıhtısı ya da trombosit konsantreleri gibi iskeleler birlikte kullanılır. Bununla birlikte klinik olarak oluşan dokunun çoğu vakada histolojik anlamda özgün pulpa-dentin kompleksi değil, canlı tamir dokusu ve mineralize doku bileşimi olduğu kabul edilmelidir.

Bu bölümde terminoloji, biyolojik mekanizmalar, vaka seçimi, tanı ve görüntüleme, dezenfeksiyon, intrakanal medikamentler, scaffold seçenekleri, biyoseramik koronal bariyerler, iki seanslı klinik protokol, takip ölçütleri, komplikasyon yönetimi ve olgun dişlerdeki araştırma yaklaşımları ele alınmıştır.

¹ Doç. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0003-2103-0826

Güncel kanıtlar, rejeneratif tedavinin uygun seçilmiş immatür nekrotik dişlerde yüksek diş retansiyonu ve periapikal iyileşme sağlayabildiğini; buna karşılık kök uzaması, dentin duvar kalınlaşması, sensiblite yanıtı ve kanal içi kalsifikasyonun değişken ve öngörülmesi güç olduğunu göstermektedir. Klinik başarı, güçlü dezenfeksiyon ile hücre dostu mikroçevre arasındaki dengenin kurulmasına, güvenli irrigasyona, koronal sızdırmazlığa ve uzun dönem standardize izleme bağlıdır.

Anahtar kelimeler: rejeneratif endodonti; revitalizasyon; revaskülarizasyon; apikal papilla kök hücreleri; immatür daimi diş; scaffold; sodyum hipoklorit; EDTA; biyoseramik.

Abstract

Regenerative endodontics is a biologically based approach designed for permanent teeth with pulp necrosis and incomplete root development. Rather than limiting the treatment objective to infection control and apical barrier formation, regenerative endodontic procedures seek to promote periapical healing, continued root maturation, and long-term functional retention. The clinical strategy combines recruitment of endogenous cells from apical and periapical tissues, release of dentin-derived signaling molecules, and a three-dimensional scaffold such as an induced blood clot or an autologous platelet concentrate. Nevertheless, the tissue formed after conventional cell-homing procedures frequently represents vital repair tissue with mineralized components rather than a fully organized native pulp–dentin complex.

This chapter reviews terminology, biological mechanisms, case selection, diagnostic imaging, disinfection, intracanal medicaments, scaffold selection, coronal bioceramic barriers, the two-visit clinical protocol, outcome assessment, complications, and emerging strategies for mature teeth. The literature was updated

through June 2026, prioritizing official professional guidance and recent systematic reviews, meta-analyses, cohort studies, and consensus documents. Current evidence supports high tooth retention and periapical healing in appropriately selected immature necrotic teeth, while root elongation, wall thickening, sensory response, and intracanal calcification remain variable. Predictable care depends on balancing antimicrobial efficacy with stem-cell compatibility, preventing irrigant extrusion, creating a stable scaffold, securing a durable coronal seal, and using standardized long-term outcome reporting.

Keywords: regenerative endodontics; revitalization; revascularization; stem cells of the apical papilla; immature permanent tooth; scaffold; sodium hypochlorite; EDTA; bioceramics.

Kısaltmalar

Tablo 1. Bölümde kullanılan temel kısaltmalar.

Kısaltma	Açılım
AAE	American Association of Endodontists
CBCT	Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
DAP	İkili antibiyotik patı
DPSC	Dental pulpa kök hücresi
EDTA	Etilendiamintetraasetik asit
ESE	European Society of Endodontology
HERS	Hertwig epitel kök kını
IADT	International Association of Dental Traumatology
MTA	Mineral trioksit agregat
NaOCl	Sodyum hipoklorit

Kısaltma	Açılım
PDL	Periodontal ligament
PRF	Trombositten zengin fibrin
PRP	Trombositten zengin plazma
RET	Rejeneratif endodontik tedavi
SCAP	Apikal papilla kök hücreleri
TAP	Üçlü antibiyotik patı

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Giriş

Pulpa nekrozu gelişmiş immatür daimi diş, açık apikal foramen, kısa kök, geniş kanal ve ince dentin duvarları nedeniyle endodontinin en kırılgan klinik tablolarından biridir. Bu anatomi, geleneksel mekanik preparasyon ve obtürasyonun güvenliğini azaltır; aşırı enstrümantasyon kökü daha da zayıflatabilir, apikal stop eksikliği ise irrigasyon ve dolgu materyali taşması riskini artırır. AAE, ESE ve uluslararası konsensus belgeleri bu hasta grubunda tedavinin yalnızca apikal bariyer oluşturmakla sınırlı kalmaması, mümkün olduğunda kökün biyolojik gelişim potansiyelinden yararlanılması gerektiğini vurgulamaktadır (American Association of Endodontists, 2022; Galler et al., 2016; Murray, 2023; Wei et al., 2022).

Kalsiyum hidroksit apeksifikasyonu ve MTA apikal plug, enfeksiyon kontrolü ile apikal bariyer oluşturulmasında değerli ve kimi vakalarda daha öngörülebilir seçeneklerdir. Buna karşın kök boyunda artış veya dentin duvarında kalınlaşma beklenmez. Rejeneratif endodontik tedavi, apikal dokulardan gelen hücre ve damarların kanal boşluğuna alınmasını hedefleyerek bu anatomik dezavantajlara biyolojik bir yanıt sunar. Güncel üst düzey kanıtlar,

rejeneratif tedavi ile apeksifikasyonun genel klinik başarı bakımından çoğu zaman benzer derecede yüksek sonuçlar verdiğini; rejeneratif tedavinin asıl potansiyel üstünlüğünün devam eden kök gelişiminde olduğunu, ancak bu sonucun her vakada görülmediğini göstermektedir (Sabeti et al., 2024; Tewari et al., 2025).

Uzun dönem gözlemsel çalışmalar bu nüansı doğrulamaktadır. Mahidol Study 2’de rejeneratif prosedür uygulanan 120 immatür daimi dişte ortalama 41,7 aylık takipte fonksiyonel retansiyon %97,5, tamamen iyileşme %80 olarak bildirilmiş; 12 yaşından küçük hastalarda periapikal iyileşme ve kök matürasyonu daha olumlu bulunmuştur (Theekakul et al., 2024). Daha yeni bir kohortta kümülatif sağkalım yaklaşık %85, kök gelişimi yaklaşık üçte iki vakada izlenmiş, kanal içi kalsifikasyonun zamanla artabildiği gösterilmiştir (Song et al., 2025). Bu veriler, “yüksek diş retansiyonu” ile “öngörülebilir gerçek pulpa rejenerasyonu”nun aynı kavramlar olmadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Terminoloji

Revaskülarizasyon, kanal boşluğuna yeni damar girişini; revitalizasyon, kanal içinde canlı dokunun yeniden kazanılmasını; rejenerasyon ise kaybedilen dokunun özgün hücresel organizasyon ve fonksiyonuyla yeniden oluşmasını ifade eder. Klinik literatürde bu terimler tarihsel olarak birbirinin yerine kullanılmış olsa da “rejeneratif endodontik prosedür” en kapsayıcı ifadedir. AAE, rejeneratif endodontiyi hasarlanmış dentin ve kök yapıları ile pulpa-dentin kompleksindeki hücreleri biyolojik olarak yenilemeyi amaçlayan işlemler bütünü olarak tanımlamaktadır (American Association of Endodontists, 2025).

Klinisyen ve yazar açısından terminolojik hassasiyet önemlidir. Standart kanama indüksiyonlu RET sonrasında “pulpa

tamamen yenilendi” demek çoğu durumda mevcut histolojik kanıtı aşar. Daha güvenli ifade, “pulpa-dentin kompleksine benzer canlı tamir dokusu oluşumu ve kök matürasyonunun desteklenmesi”dir. Bu yaklaşım hasta iletişiminde de aşırı beklentiği önler; tedavinin birincil hedefinin ağrı, şişlik, fistül ve periapikal hastalığın ortadan kaldırılması olduğu açıkça anlatılmalıdır.

Tablo 2. Apeksifikasyon ve rejeneratif endodontik tedavinin klinik karşılaştırması.

Parametre	Kalsiyum hidroksit apeksifikasyonu	MTA/biyoseramik apikal plug	Rejeneratif endodontik tedavi
Temel hedef	Kalsifiye apikal bariyer	Hızlı ve kontrollü apikal tıkaç	Enfeksiyon kontrolü + biyolojik kök matürasyonu
Kök boyu artışı	Beklenmez	Beklenmez	Uygun vakalarda görülebilir; öngörülemez
Dentin duvar kalınlaşması	Beklenmez	Beklenmez	Sekonder hedef; vakaya göre değişir
Seans/takip	Uzun süre ve çok sayıda seans gerekebilir	Genellikle kısa ve öngörülebilir	Çoğunlukla iki seans + uzun dönem takip
Hücre canlılığı	Tedavinin merkezinde değildir	Tedavinin merkezinde değildir	Apikal hücre nişinin korunması kritiktir
Başlıca risk	Uzun süreli kullanımda dentin zayıflaması	Kök duvarı ince kalır	Renklenme, obliterasyon, değişken kök gelişimi, persistan enfeksiyon

Parametre	Kalsiyum hidroksit apeksifikasyonu	MTA/biyoseramik apikal plug	Rejeneratif endodontik tedavi
Tercih mantığı	RET uygun değilse veya kanama/uyum sorunu varsa	Hızlı apikal bariyer gereken seçilmiş vaka	Nekrotik, immatür, restoratif olarak korunabilir ve takip edilebilir diş

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Biyolojik temel ve histolojik gerçeklik

Apikal papilla ve kök hücre kaynakları

Rejeneratif prosedürün hücresel temelini çoğunlukla apikal papilla kök hücreleri oluşturur. SCAP, kök gelişimi devam eden dişlerin apikalinde yer alan, yüksek proliferasyon ve odontojenik farklılaşma potansiyeline sahip bir mezenkimal hücre popülasyonudur (Sonoyama et al., 2008). Pulpa nekrotik olsa bile apikal papilla ve periodontal dokular tamamen yok olmayabilir. Apikal kanama indüksiyonu, bu hücrelerin ve diğer mezenkimal hücrelerin kanal boşluğuna taşınmasını belirgin biçimde artırır (Lovelace et al., 2011).

Dental pulpa kök hücreleri, periodontal ligament kök hücreleri, dental folikül kök hücreleri ve süt dişi kaynaklı kök hücreler de pulpa-dentin rejenerasyonu açısından önemlidir. Dental pulpa kök hücrelerinin kendini yenileme ve dentin-pulpa benzeri kompleks oluşturma potansiyeli ilk kez insan dokularında ayrıntılı biçimde gösterilmiştir (Gronthos et al., 2000). Bununla birlikte rutin klinik RET, hücrelerin laboratuvarında izole edilip transplantasyonuna değil, apikal dokulardaki endojen hücrelerin “cell homing” yoluyla kanala çekilmesine dayanır.

Dentin matriksi ve sinyal molekülleri

Dentin yalnızca mineralize bir duvar değildir; TGF- β ailesi, BMP’ler, VEGF, FGF ve diğer matriks-bağlı sinyalleri depolayan

biyolojik bir rezervuardır (Smith et al., 2012). Kontrollü demineralizasyon ve smear tabakasının uzaklaştırılması, bu moleküllerin erişilebilirliğini artırabilir. Bu nedenle EDTA, rejeneratif protokolde yalnızca şelatlayıcı bir temizleyici değil, hücre göçü ve farklılaşmasını düzenleyen dentin mikroçevresini hazırlayan biyolojik bir ajan olarak değerlendirilir (de Oliveira et al., 2026; Galler et al., 2011).

Histolojik olarak rejenerasyon mu, tamir mi?

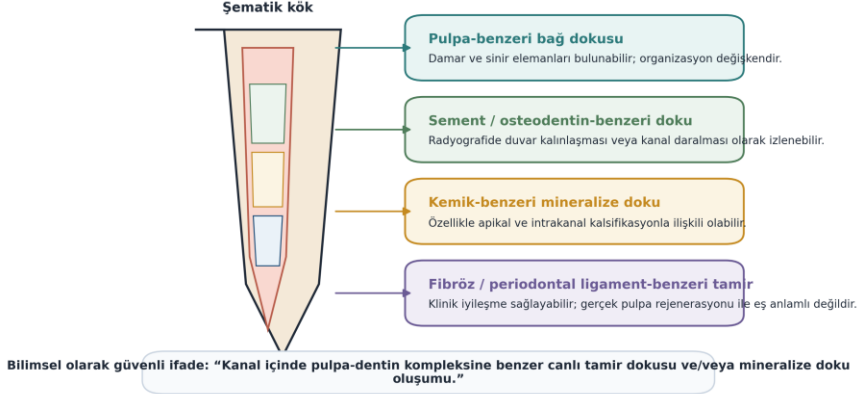
Hayvan ve insan histolojisi, kanama indüksiyonu temelli klinik RET'den sonra kanal boşluğunda gerçek pulpa-dentin kompleksinin her zaman oluşmadığını göstermiştir. Sement-benzeri, kemik-benzeri, osteodentin-benzeri ve periodontal ligament-benzeri dokular; değişen oranlarda damar ve sinir elemanlarıyla birlikte bulunabilir (Shimizu et al., 2013; Simon et al., 2014; Wang et al., 2010). Başarısız veya persistan enfeksiyonlu örneklerde biyofilm ve inflamatuvar doku varlığı da gösterilmiştir (Lin et al., 2014).

Bu histolojik gerçeklik, radyografik “dentin duvar kalınlaşması” teriminin dikkatle kullanılmasını gerektirir. Radyografide duvar kalınlaşması veya apikal kapanma görüldüğünde, en doğru akademik ifade “mineralize doku birikimi”dir. Buna karşın semptomsuzluk, periapikal iyileşme, fonksiyon ve artmış kök kalınlığı hasta açısından klinik olarak değerli kazanımlardır. Dolayısıyla RET'nin başarı değerlendirmesi, histolojik ideal ile hasta merkezli klinik yararı birlikte ele almalıdır.

Şekil 1. RET sonrası kanal içinde görülebilecek doku örüntülerinin şematik gösterimi.

RET sonrası kanal içinde hangi doku oluşur?

Radyografik sert doku kazanımı, histolojik olarak her zaman organize tübüler dentin anlamına gelmez.



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Hertwig epitel kök kını ve travmanın etkisi

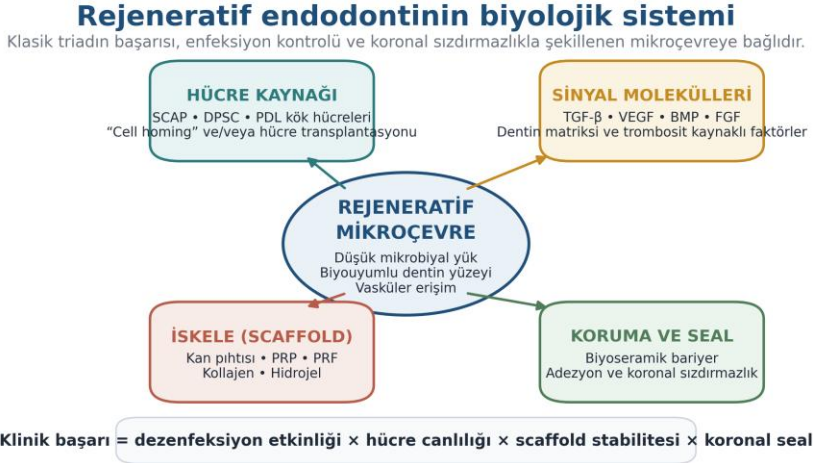
Kök boyunun uzaması yalnızca mezenkimal hücrelere bağlı değildir; Hertwig epitel kök kını kök şekillenmesinde belirleyici sinyaller üretir. Travma veya uzun süreli enfeksiyon HERS ve apikal papilla bütünlüğünü bozduğunda periapikal iyileşme elde edilse bile kök uzaması sınırlı kalabilir. Travmatik dental yaralanma öyküsü, bu nedenle prognostik değerlendirmede ayrı bir değişken olarak kaydedilmeli ve IADT ilkeleri doğrultusunda eşlik eden kök kırığı, luksasyon ve periodontal hasar göz önünde bulundurulmalıdır (Bourguignon et al., 2020).

Doku mühendisliği sistemi: triadın ötesinde mikroçevre

Klasik doku mühendisliği modeli hücreler, scaffold ve sinyal moleküllerinden oluşan bir triad şeklinde tanımlanır (Hargreaves et al., 2013; Murray et al., 2007). Rejeneratif endodontide bu üç bileşenin tek başına yeterli olmadığı açıktır. Persistan biyofilm, yüksek sitotoksik yük, irrigant ekstrüzyonu, aşırı inflamasyon veya koronal sızıntı varsa hücreler ve sinyaller işlev göremez. Bu nedenle

çağdaş yaklaşım, temiz ve biyouyumlu mikroçevreyi dördüncü yapıtaşısı; kalıcı koronal sızdırmazlığı ise bu sistemin koruyucu sınırı olarak ele alır (Kim et al., 2026).

Şekil 2. Rejeneratif endodontinin biyolojik sistemi: hücre kaynağı, sinyal molekülleri, scaffold ve koronal koruma; merkezde ise dezenfekte ve biyouyumlu mikroçevre.



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Tablo 3. Rejeneratif sistemin bileşenleri ve klinik karşılıkları.

Bileşen	Başlıca kaynak/uygulama	Klinik anlam	Başarısızlığa yol açan durum
Hücreler	SCAP, DPSC, PDL ve apikal dokulardan hücre göçü	Doku oluşumu ve mineralizasyon için biyolojik rezerv	Yüksek sitotoksisite, apikal doku hasarı, ileri yaş/uzun enfeksiyon
Sinyal molekülleri	Dentin matriksi, trombosit kaynaklı faktörler	Göç, proliferasyon, anjiyogenez ve farklılaşma	Protein denatürasyonu, uygunsuz dentin kondisyonlaması

Bileşen	Başlıca kaynak/uygulama	Klinik anlam	Başarısızlığa yol açan durum
Scaffold	Kan pıhtısı, PRP, PRF, kollajen, hidrojel	Üç boyutlu tutunma, fibrin ağı ve sinyal salımı	Yetersiz kanama, pıhtı çökmesi, kontaminasyon
Mikroçevre	Düşük mikrobiyal yük, uygun pH, nem ve vasküler erişim	Hücre yaşaması ve fonksiyon için zorunlu ortam	Persistan biyofilm, irrigant taşması, aşırı inflamasyon
Koronal seal	Biyoseramik bariyer + adeziv restorasyon	Yeni dokuyu oral mikrofloradan izole eder	Geçici/kalıcı restorasyon sızıntısı, kırık, marjinal bozulma

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Hasta ve diş seçimi

En güçlü endikasyon; pulpa nekrozu bulunan, apikal gelişimini tamamlamamış, restoratif olarak korunabilir daimi diştir. Hastanın ve ebeveynin uzun dönem takibe uyum sağlayabilmesi, rubber dam izolasyonunun yapılabilmesi ve kanal boşluğuna ileride post yerleştirme gereksinimi olmaması gerekir (American Association of Endodontists, 2022; Galler et al., 2016; Wei et al., 2022). Yaş önemli bir biyolojik değişkendir; daha genç hastalarda kök matürasyonu olasılığı daha yüksek olabilir. Bununla birlikte kronolojik yaş tek başına endikasyon veya kontrendikasyon değildir; kök gelişim evresi, enfeksiyon süresi, apikal açıklık, travma şiddeti ve restoratif prognoz birlikte yorumlanmalıdır (Murray, 2023; Theekakul et al., 2024).

Restore edilemeyen koronal yapı, vertikal kök kırığı, kontrol edilemeyen periodontal hastalık, güvenli izolasyon yapılamaması, ciddi hasta uyumsuzluğu ve takip olanağının bulunmaması RET'nin anlamını azaltır. İmmün yetmezlik, kontrolsüz sistemik hastalık,

kanama bozukluğu, kullanılan ilaçlar ve antibiyotik alerjileri hasta bazında değerlendirilmelidir. Estetik bölgede renklenme riski, tedavi planı ve onamın zorunlu bir parçasıdır.

Şekil 3. RET için vaka seçimini özetleyen klinik karar ağacı.

Vaka seçimi için klinik karar ağacı

Karar yalnızca yaşa değil; pulpa tanısı, kök gelişimi, restoratif prognoz ve hasta uyumuna dayanır.



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Tablo 4. Hasta ve diş seçimi için pratik kontrol listesi.

Başlık	RET lehine bulgular	Dikkat gerektiren bulgular / alternatif plan
Pulpa ve apeks	Pulpa nekrozu, açık apeks, ince kök duvarı	Kapalı apeks; matür dişte rutin RET için kanıt sınırlı
Restorabilite	Yeterli koronal doku, izolasyon ve adeziv restorasyon mümkün	Post gereksinimi, derin subgingival kırık, restore edilemez kuron
Periapikal durum	Apikal periodontitis/apse kontrol edilebilir	Persistan eksüda, kontrolsüz enfeksiyon, şüpheli kök kırığı

Başlık	RET lehine bulgular	Dikkat gerektiren bulgular / alternatif plan
Hasta faktörü	İyi uyum, uzun dönem takip, gerçekçi beklenti	Kontrol randevularına gelememe, yüksek anksiyete, onam sorunu
Sistemik durum	Stabil genel sağlık, ilaç/antibiyotik engeli yok	İyileşmeyi veya kanamayı etkileyen kontrolsüz hastalık
Estetik risk	Minosiklinsiz protokol ve renk stabil bariyer planlanabilir	Anterior dişte mevcut renklenme veya yüksek estetik beklenti

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Tanı, başlangıç kayıtları ve görüntüleme

Başlangıç kaydı; ağrı öyküsü, travma/çürük etiyolojisi, şişlik, fistül, perküsyon ve palpasyon, mobilite, periodontal sondalama, renk, koronal çatlak ve restoratif durumun sistematik olarak belgelenmesini içermelidir. Soğuk ve elektrikli pulpa testleri immatür veya travmatize dişlerde yalancı negatif sonuç verebilir. Bu testler “vitalite”yi doğrudan değil, sinirsel sensibilitayı değerlendirir; bu nedenle sonuçlar kontrol dişleri ve klinik/radyografik bulgularla birlikte yorumlanmalıdır.

Takipte temel görüntüleme yöntemi standardize periapikal radyografidir. Paralel teknik, kişiye özgü ısırma bloğu, aynı cihaz ve mümkün olduğunca aynı açılama; kök boyu, apikal açıklık ve dentin duvar kalınlığı ölçümlerindeki projeksiyon hatasını azaltır. Bose ve arkadaşlarının yarı nicel yöntemi ile Flake ve arkadaşlarının standardize dijital ölçüm yaklaşımı, klinik araştırmalarda kök gelişimini nesnelleştirmek için sık kullanılmıştır (Bose et al., 2009; Flake et al., 2014).

CBCT, rutin takip aracı değildir. Kök kırığı veya rezorpsiyon şüphesi, geniş/atipik lezyon, kompleks anatomi ya da iki boyutlu

radıyografının tedavi kararını açıklayamadığı durumlarda; yönetimi değıştiren ek bilgi bekleniyorsa düşünölmelidir. AAE-AAOMR 2025 güncellemesi, seçilmiş endikasyon, küçük görüntöleme alanı ve tanı için yeterli en düşük doz ilkelerini vurgulamaktadır (Sousa Melo et al., 2026). Çocuk ve adölesan hastalarda her radyolojik inceleme endikasyon odaklı ve hasta özgü olmalıdır.

Araştırma raporlaması için ölçüm önerisi

Kök boyu, kök alanı, apikal açıklık ve dentin duvar kalınlığı ayrı değışkenler olarak raporlanmalıdır. Ölçüm yapan gözlemciler mümkünse körlenmeli; gözlemci içi ve gözlemciler arası güvenilirlik verilmelidir. CBCT kullanılan çalışmalarda FOV, voxel boyutu, segmentasyon yöntemi ve doz parametreleri açıkça yazılmalıdır.

Dezenfeksiyon: antimikrobiyal etkinlik ile hücre uyumu arasındaki denge

RET’de dezenfeksiyon paradoksaldır. Rezidüel bakteriler yeni dokunun organizasyonunu bozabilir ve tedavi başarısını düşürebilir; buna karşılık agresif kimyasal dezenfeksiyon apikal kök hücreleri, dentin matriksi proteinleri ve periapikal dokuları zedeleyebilir (Martin et al., 2014; Trevino et al., 2011; Verma et al., 2017). Bu nedenle amaç steril bir kanal oluşturmak değil, biyolojik iyileşmeye izin verecek ölçüde düşük mikrobiyal yük sağlarken kök hücre nişini korumaktır. İnce duvarlı immatür köklerde minimal veya sıfıra yakın mekanik preparasyon, kimyasal irrigasyonun önemini artırır.

Şekil 4. Dezenfeksiyon–biyouyumluluk dengesini gösteren kavramsal şema.

Dezenfeksiyon–biyouyumluluk dengesi (şematik)



Bu grafik nicel doz–yanıt verisi değildir; klinik ilkeyi görselleştiren kavramsal bir şemadır.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Sodyum hipoklorit

NaOCl, organik doku çözme ve geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisi nedeniyle temel irriganttır. AAE klinik çerçevesi, RET için yaklaşık %1,5–3 NaOCl kullanılmasını; bol hacimde, yavaş akışla, side-vented iğneyle ve apikal taşmayı en aza indirecek şekilde uygulanmasını önermektedir (American Association of Endodontists, 2022). Hücre kültürü çalışmaları, konsantrasyon yükseldikçe SCAP canlılığı ve odontojenik farklılaşmanın azaldığını göstermiştir (Martin et al., 2014). Açık apeksli dişte iğne çalışma boyundan belirgin kısa tutulmalı, kanala kilitlenmemeli ve düşük basınçla kullanılmalıdır. Apikal negatif basınç sistemleri güvenliği artırabilir; ancak hiçbir aktivasyon yöntemi güvenli iğne yerleşiminin yerini tutmaz.

EDTA ve dentin biyolojik aktivasyonu

%17 EDTA, özellikle ikinci seansta final irrigant olarak kullanılır. Smear tabakasını uzaklaştırması, NaOCl'nin dentin yüzeyindeki olumsuz etkilerini kısmen dengelemesi ve matriks-bağlı büyüme faktörlerinin salınımını artırması temel gerekçelerdir (de Oliveira et al., 2026; Galler et al., 2011). AAE örnek protokolü, ikinci seansta yaklaşık 20 mL %17 EDTA'yı beş dakika boyunca nazik irrigasyonla kullanır (American Association of Endodontists, 2022). Çok uzun süreli veya aşırı agresif şelasyon dentin erozyonu oluşturabileceğinden süre, hacim ve aktivasyon kontrollü olmalıdır.

Aktivasyon yöntemleri

Sonik ve pasif ultrasonik aktivasyon, mekanik preparasyonun minimal tutulduğu kanallarda irrigant penetrasyonunu ve biyofilm bozulmasını artırabilir. Bununla birlikte açık apeksli dişte irrigantın periapikal dokulara taşması, ısı oluşumu ve dentin yüzeyinin aşırı etkilenmesi göz önünde bulundurulmalıdır. Lazer destekli irrigasyon ve fotodinamik yaklaşımlar umut verici olsa da protokol heterojenliği ve kök hücre güvenliği konusunda klinik standardizasyon yetersizdir. Bu teknikler, güvenli temel irrigasyonun yerine değil, seçilmiş durumlarda onun yardımcısı olarak değerlendirilmelidir (Kim et al., 2026).

Tablo 5. RET'de irrigantların klinik rolü.

Ajan/teknik	Başlıca katkı	Risk / sınırlılık	Pratik yorum
NaOCl (%1,5–3)	Antimikrobiyal etki ve nekrotik organik doku çözünmesi	Konsantrasyona bağlı sitotoksisite; apikal taşma	Bol hacim, düşük basınç, side-vented iğne; açık apekte ekstra güvenlik
%17 EDTA	Smear tabakasının uzaklaştırılması ve büyüme faktörü salımı	Aşırı süre/aktivasyonda dentin erozyonu	İkinci seansta final irrigasyon ve biyolojik dentin kondisyonlaması

Ajan/teknik	Başlıca katkı	Risk / sınırlılık	Pratik yorum
Serum fizyolojik	Kimyasal seyreltme ve arıyıkama	Antimikrobiyal etkisi yok	İrrigant/medikament artıklarını azaltmak için yardımcı
Pasif ultrasonik/sonik aktivasyon	İrrigant hareketi ve penetrasyon artışı	Ekstrüzyon, ısı, protokol heterojenliği	Düşük güç ve güvenli apikal sınırlarla seçilmiş vakalarda
Lazer/PDT	Biyofilm kontrolüne yardımcı potansiyel	Maliyet, termal risk, sınırlı klinik kanıt	Rutin standart değil; araştırma ve seçilmiş uygulama

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

İntrakanal medikamentler

Birinci ve ikinci seans arasındaki medikamentin amacı, mekanik enstrümantasyonun sınırlı olduğu kanalda mikrobiyal yükü azaltmak ve akut inflamasyonu kontrol etmektir. AAE, kalsiyum hidroksit veya düşük konsantrasyonlu antibiyotik patı kullanımını kabul etmektedir; medikamentin mine-sement birleşiminin üzerinde kalmaması ve kök hücrelerin bulunduğu apikal dokulara taşırılmaması önemlidir (American Association of Endodontists, 2022).

Üçlü ve ikili antibiyotik patları

TAP, metronidazol, siprofloksasin ve minosiklin kombinasyonudur ve polimikrobiyal endodontik floraya karşı geniş spektrumlu etki için geliştirilmiştir (Hoshino et al., 1996). En önemli sorunlar yüksek konsantrasyonda SCAP sitotoksitesi, minosiklin ilişkili koronal renklenme, antimikrobiyal direnç kaygısı ve patın dentinden uzaklaştırılmasının güçlüğüdür (Berkhoff et al., 2014; Kim et al., 2010; Ruparel et al., 2012). Bu nedenle estetik bölgede minosiklinsiz DAP veya modifiye kombinasyonlar; antibiyotik patı kullanılacaksa AAE'nin 1–5 mg/mL düşük konsantrasyon

çerçevesinin alt sınırına yakın, ince ve kontrollü uygulamalar düşünülür (American Association of Endodontists, 2022).

Kalsiyum hidroksit

Kalsiyum hidroksit yüksek pH ile antibakteriyel etki sağlar, lipopolisakkaritleri inaktive edebilir ve antibiyotik patlarına göre daha iyi hücre uyumu gösterebilir. Dentin yüzeyinin kalsiyum hidroksit sonrası koşullandırılması SCAP canlılığını destekleyebilir (Althumairy et al., 2014). Bununla birlikte materyalin kanaldan tamamen uzaklaştırılması güçtür ve uzun süreli kullanım radiküler dentinin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilir (Yassen & Platt, 2013). RET’de 1–4 haftalık kısa süre, koronal/orta üçlüde kontrollü yerleştirme ve ikinci seansta etkili uzaklaştırma makul yaklaşımdır.

2026 tarihli dolaylı karşılaştırmalı meta-analiz, TAP, DAP ve kalsiyum hidroksit arasında bir yıllık klinik başarı açısından belirgin ve kesin bir üstünlük göstermemiş; çalışma heterojenliği ile dolaylı karşılaştırmının sınırlılıklarını vurgulamıştır (Alovisi et al., 2026). Bu nedenle medikament seçimi enfeksiyon şiddeti, estetik risk, alerji, yaş, kanal anatomisi ve klinisyenin güvenli uygulama becerisiyle bireyselleştirilmelidir.

Tablo 6. İntrakanal medikamentlerin karşılaştırılması.

Medikament	Avantaj	Başlıca sınırlılık	Klinik seçim mantığı
Kalsiyum hidroksit	Biyouyumluluk, renklenme riskinin düşük olması, yüksek pH	Tam uzaklaştırma güçlüğü; uzun sürede dentin zayıflaması	Anterior bölgede ve hücre uyumunun öncelikli olduğu vakalarda güçlü seçenek

Medikament	Avantaj	Başlıca sınırlılık	Klinik seçim mantığı
TAP	Geniş spektrumlu antibakteriyel etki	Minosiklin renklenmesi, sitotoksitesi, direnç ve kalıntı	Şiddetli/polimikro biyal enfeksiyonda düşük konsantrasyonla seçilmiş kullanım
DAP	Minosiklin çıkarıldığı için renklenme riski daha düşük	Yüksek dozda hücre toksisitesi sürebilir; doz standardı değişken	Estetik bölgede antibiyotik patı gerekli görülürse alternatif
Modifiye antibiyotik patı	Vaka ve alerjiye göre formülasyon olanağı	Antimikrobiyal spektrum ve klinik kanıt heterojen	Rutin değil; gerekçe ve konsantrasyon açıkça belgelenmeli

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Scaffold seçimi

Scaffold, hücrelerin tutunacağı ve organize olacağı üç boyutlu geçici matrikstir. Kan pıhtısı, venöz kan alımı veya laboratuvar hazırlığı gerektirmediği için halen en yaygın klinik seçenektir. Apikal kanama yalnızca fibrin ağı oluşturmaz; endojen mezenkimal hücreleri ve trombosit kaynaklı sinyalleri de kanal boşluğuna taşır (Lovelace et al., 2011). Kanama miktarı, pıhtı yüksekliği ve stabilitesi ise vakadan vakaya değişir.

PRP ve PRF

PRP, yüksek trombosit konsantrasyonu ve hızlı büyüme faktörü salımı; PRF ise antikoagülansız hazırlanan daha stabil fibrin ağı ve daha uzun salım profili nedeniyle alternatif scaffoldlar olarak kullanılmıştır. Randomize ve kontrollü çalışmalar PRP, PRF ve kan pıhtısıyla yüksek klinik başarı bildirmiştir (Bezgin et al., 2015; Ulusoy et al., 2019). 2024 network meta-analizi bazı zaman

noktalarında PRP ile kök uzunluğu artışının daha fazla olabileceğini düşündürse de doğrudan kanıtın kesinliği düşüktür (Sabeti et al., 2024). 2025 sistematik derleme ve meta-analizi ise kan pıhtısı, PRP ve PRF arasında evrensel klinik üstünlük gösterilemediğini belirtmiştir (Tsiolaki et al., 2025).

Hidrojeller ve biyomimetik scaffoldlar

Enjekte edilebilir hidrojeller, düzensiz kanal anatomisine uyum, hücre/sinyal/antimikrobiyal ajan taşıma ve kontrollü biyobozunma avantajları sunar. Kendiliğinden organize olan peptit hidrojeller, jelatin metakrilat, kollajen ve kitosan tabanlı sistemler prelinik araştırmaların başlıca platformlarıdır (Galler et al., 2012; Raddall et al., 2019). 2025 tarihli sistematik derleme, hidrojellerin pulpa iyileşmesi ve doku organizasyonu açısından umut verici olduğunu; ancak optimal materyal, uygulama ve uzun dönem protokollerinin standardize edilmediğini bildirmiştir (Hsueh et al., 2025). Büyüme faktörü ve ilaç taşıyan platformların 2026 meta-analizi de translasyon potansiyelini desteklemekle birlikte klinik heterojenliği vurgulamaktadır (Kaur et al., 2026).

Şekil 5. Kan pıhtısı, PRP, PRF ve hidrojel scaffoldların klinik özelliklerinin karşılaştırılması.

Rejeneratif endodontide scaffold seçenekleri

Seçim; biyolojik hedef, uygulanabilirlik ve kanıt düzeyine göre yapılır.



Güncel kanıtın ortak mesajı
Kan pıhtısı, PRP ve PRF yüksek başarı sağlayabilir; evrensel üstünlük gösterilmemiştir.

Scaffold seçimi, dezenfeksiyon ve koronal seal'in yerini tutmaz.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Tablo 7. Scaffold seçeneklerinin klinik değerlendirmesi.

Scaffold	Biyolojik özellik	Avantaj	Sınırlılık / kanıt durumu
Kan pıhtısı	Fibrin ağı, endojen hücre ve trombositler	Basit, ucuz, ek ekipman gerektirmez	İçerik ve stabilite değişken; kanama her vakada oluşturulamaz
PRP	Konsantre trombosit ve hızlı faktör salımı	Kontrollü hazırlanabilir; erken biyolojik aktivite	Antikoagülan/aktivasyon, maliyet ve protokol farklılıkları
PRF	Stabil fibrin matriksi ve daha uzun salım	Otolog, kimyasal katkı gerektirmez	Kan alımı ve santrifüj; kan pıhtısına kesin üstünlük gösterilmemiştir
Kollajen matriks	Pıhtı ve bariyer arasında mekanik destek	Biyoseramik yerleştirmeyi kolaylaştırır	Ana biyolojik scaffoldun yerine geçmez

Scaffold	Biyolojik özellik	Avantaj	Sınırlılık / kanıt durumu
Hidrojel	Enjekte edilebilir, tasarlanabilir ve ilaç/sinyal taşıyabilir	Kişiselleştirme ve kontrollü salım potansiyeli	Rutin klinik kullanım için standardizasyon ve uzun dönem veri yetersiz

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Koronal bariyer ve restoratif sızdırmazlık

Yeni oluşacak doku, oral mikrofloradan kalıcı olarak izole edilmediğinde en iyi dezenfeksiyon ve scaffold bile başarısız olabilir. Kan pıhtısı veya trombosit matriksi üzerine genellikle 3–4 mm kalsiyum silikat esaslı biyoseramik bariyer yerleştirilir. MTA'nın biyouyumluluğu, alkalın pH'sı, nemli ortamda sertleşmesi ve sert doku oluşumunu desteklemesi güçlü özelliklerdir (Parirokh & Torabinejad, 2010). Buna karşılık uzun sertleşme süresi, manipülasyon güçlüğü ve özellikle kanla temas halinde renklenme riski vardır.

Biodentin ve hazır biyoseramik putty materyalleri daha hızlı sertleşme, kullanım kolaylığı ve bazı formülasyonlarda daha iyi renk stabilitesi sağlayabilir. Bununla birlikte marka temelli genellemeler yerine materyalin radyoopasitesi, renk stabilitesi, yıkanma direnci, sertleşme davranışı ve üretici talimatları dikkate alınmalıdır. Anterior dişlerde pıhtı seviyesinin CEJ'nin 2–3 mm altında tutulması, pulpa odası duvarlarına adeziv bariyer uygulanması, minosiklin kullanılmaması ve renk stabil materyal seçimi renklenme riskini azaltabilir (Kahler & Rossi-Fedele, 2016).

Biyoseramik bariyerin üzerine rezin modifiye cam iyonmer veya uygun adeziv ara tabaka ve kalıcı kompozit restorasyon yerleştirilmelidir. Nem kontrolü, marjinal adaptasyon, oklüzal yük ve travma riski restoratif planın parçasıdır. Koronal doku kaybı fazla olan vakalarda, kanal içine post yerleştirmeden dişi güçlendirecek

adeziv ve gerekirse ortodontik/restoratif stratejiler önceden planlanmalıdır.

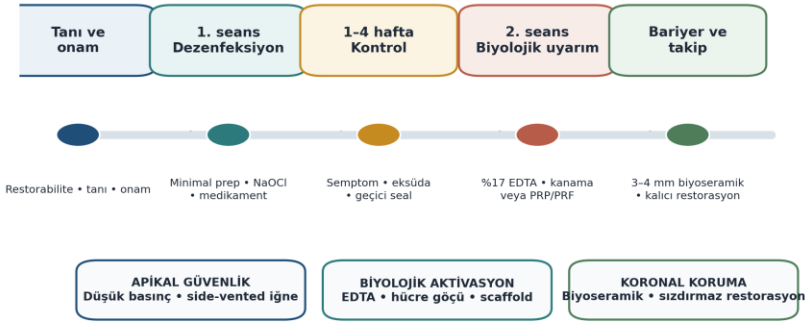
İki seanslı klinik protokol

Aşağıdaki protokol, AAE klinik değerlendirme belgesi, ESE pozisyon bildirisi ve 2022 uzman konsensusu birlikte yorumlanarak hazırlanmıştır. Klinik durum, yaş, diş anatomisi, akut enfeksiyon ve kullanılan materyalin talimatları basamaklarda uyarlama gerektirebilir (American Association of Endodontists, 2022; Galler et al., 2016; Wei et al., 2022).

Şekil 6. İki seanslı RET protokolünün klinik akışı.

İki seanslı rejeneratif endodontik tedavi akışı

Klinik basamaklar, biyolojik güvenlik ve koronal sızdırmazlık ekseninde ilerler.



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Birinci seans: enfeksiyon kontrolü

1. Tanı doğrulanır; restoratif prognoz, alternatif tedaviler, renklenme, yetersiz kök gelişimi, obliterasyon ve ek tedavi gereksinimi aydınlatılmış onamda açıklanır.
2. Lokal anestezi, rubber dam izolasyonu ve aseptik giriş sağlanır. Çalışma boyu radyografik ve elektronik bulgular birlikte değerlendirilerek belirlenir.

3. Kanal duvarları mümkün olduğunca korunur; yalnızca gevşek nekrotik doku ve debris uzaklaştırılır. Agresif şekillendirmeden kaçınılır.
4. Yaklaşık %1,5–3 NaOCl, side-vented iğneyle düşük basınç altında ve apikalden taşırılmadan kullanılır; AAE örneğinde kanal başına yaklaşık 20 mL ve beş dakikalık irrigasyon yer alır [1].
5. Gerektiğinde serum fizyolojik veya EDTA ile ara/final yıkama yapılır; kanal nazıkçe kurutulur.
6. Kalsiyum hidroksit veya düşük konsantrasyonlu antibiyotik patı, apikal dokulara taşırılmadan ve CEJ seviyesini geçmeden yerleştirilir.
7. En az 3–4 mm kalınlıkta sızdırmaz geçici restorasyon yapılır; hasta genellikle 1–4 hafta sonra çağrılır.

İkinci seans: biyolojik uyarım ve scaffold

8. Semptom, şişlik, fistül, perküsyon/palpasyon hassasiyeti, eksüda ve geçici restorasyonun bütünlüğü kontrol edilir. Aktif enfeksiyon sürüyorsa rejeneratif basamağa geçilmez; dezenfeksiyon tekrarlanır.
9. Kanama oluşturmayı kolaylaştırmak için vazokonstriktörsüz lokal anestezi, örneğin %3 mepivakain, kılavuz temelli pratik bir tercihtir [1].
10. Medikament dikkatle uzaklaştırılır; yaklaşık 20 mL %17 EDTA ile beş dakika nazık final irrigasyonu yapılır ve kanal kurutulur.
11. Önceden eğim verilmiş steril K-eğge apikal foramenin yaklaşık 1–2 mm ötesine geçirilerek periapikal dokular kontrollü biçimde irritasyona uğratılır ve kanama oluşturulur.

12. Kan seviyesi CEJ'nin yaklaşık 2–3 mm altında stabilize edilir. Pıhtılaşma için birkaç dakika beklenir; gerekirse kollajen matriks, PRP veya PRF kullanılır.
13. Pıhtı/scaffold üzerine yaklaşık 3–4 mm biyoseramik bariyer, aşırı kondensasyon yapılmadan yerleştirilir. Üzerine sızdırmaz adeziv restorasyon tamamlanır.
14. Başlangıç fotoğraf ve radyografileriyle aynı standardizasyonda kontrol kayıtları planlanır.

Kritik karar noktası

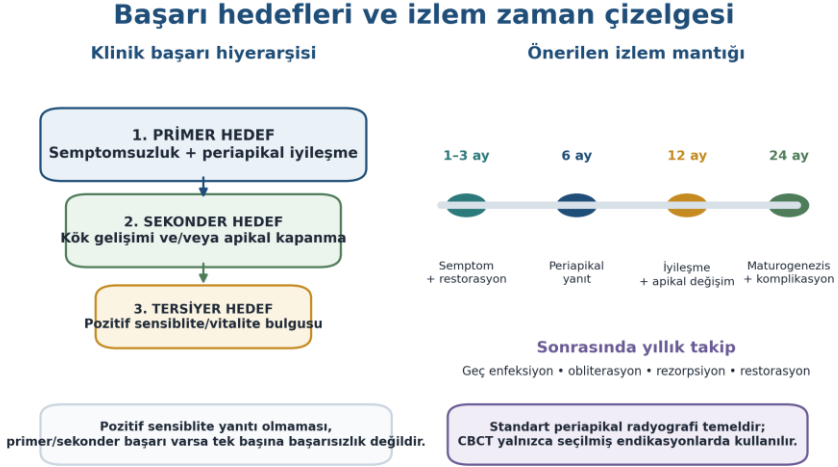
Persistan eksüda veya akut şişlik varken kan pıhtısı oluşturmaya çalışmak, kontamine scaffold ve başarısızlık riskini artırır. “İkinci seansa gelmiş olmak” biyolojik uyarıma geçmek için yeterli değildir; kanal klinik olarak sakın olmalıdır.

Başarı kriterleri ve takip

AAE, tedavi hedeflerini üç basamakta tanımlar. Primer hedef; semptomların ortadan kalkması ve kemik iyileşmesidir. Sekonder hedef; kök duvarında kalınlaşma ve/veya kök boyunda artıştır. Tersiyer hedef; sensiblite testlerine pozitif yanıtıdır (American Association of Endodontists, 2022). Primer hedef karşılanmadığında tedavi başarısız kabul edilir; tersiyer hedefin olmaması ise tek başına başarısızlık değildir.

COS-ENDO 2025, araştırma raporlamasında diş sağkalımı, ağrı, enfeksiyon bulguları, periradiküler radyografik iyileşme, devam eden kök gelişimi, başarı, fonksiyonel diş, ek girişim gereksinimi ve advers olay/komplikasyonları çekirdek sonuçlar olarak önermiştir (Zanjir et al., 2025). Bu çerçevede, “başarı oranı” gibi tek bir kompozit sonucun ardında klinik olarak farklı sonuçların gizlenmesini önler.

Şekil 7. Primer, sekonder ve tersiyer başarı hedefleri ile önerilen izlem zaman çizelgesi.



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Klinik kontrol aralıkları hastalığın şiddetine göre değişebilir. İlk 1–3 ay restorasyon ve semptom kontrolü; 6 ay periapikal yanıt; 12 ve 24 ay kök gelişimi, apikal kapanma ve kalsifikasyon; daha sonra yıllık takip için uygundur. Erken dönemde kök boyu artışı görülmemesi, periapikal iyileşme ve semptomsuzluk varsa tek başına başarısızlık değildir. Kök matürasyonu çoğu zaman daha yavaş ve heterojen ilerler.

Tablo 8. Takip zamanları ve değerlendirme alanları.

Zaman	Klinik değerlendirme	Radyografik değerlendirme	Yorum
1–3 ay	Ağrı, şişlik, fistül, perküsyon; restorasyon bütünlüğü	Erken değişim sınırlı olabilir	Persistan semptom varsa enfeksiyon ve seal yeniden değerlendirilir

Zaman	Klinik değerlendirme	Radyografik değerlendirme	Yorum
6 ay	Semptomsuzluk, periodontal stabilite	Lezyonda küçülme/kemik iyileşmesi başlayabilir	Primer hedefin ilk güvenilir kontrolü
12 ay	Sensiblite testleri denenebilir; renk ve fonksiyon	Periapikal iyileşme, apikal daralma, erken kök gelişimi	Kök gelişimi olmadan da primer başarı mümkün
18–24 ay	Fonksiyon, renklenme, restorasyon, mobilite	Duvar kalınlaşması, kök boyu, apikal kapanma, kalsifikasyon	Sekonder hedefler ve komplikasyonlar değerlendirilir
Yıllık	Semptom, travma, restorasyon ve hasta bildirimi	Geç lezyon, rezorpsiyon, obliterasyon	Diş sağkalımı ve ek girişim gereksinimi izlenir

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Komplikasyonlar ve başarısızlık yönetimi

Renklenme

Koronal renklenme minosiklin, kan ürünlerinin dentinle uzun süre teması ve bazı kalsiyum silikat materyallerle ilişkilidir (Kahler & Rossi-Fedele, 2016; Kim et al., 2010). Önleme; minosiklinsiz medikament, düşük konsantrasyon, medikamentin CEJ altında tutulması, pulpa odası duvarlarının adeziv bariyerle korunması, pıhtı seviyesinin kontrolü ve renk stabil biyoseramik seçimini içerir. Tedavi sonrası iç beyazlatma, mikroabrazyon, kompozit veya veneer gibi restoratif çözümler dışın gelişim durumu ve yaşa göre planlanabilir.

Kanal obliterasyonu ve intrakanal kalsifikasyon

Kanal boşluğunun kısmen veya tamamen mineralize doku ile daralması sık bildirilen bir sonuçtur ve zamanla artabilir (Chen et al.,

2012; Song et al., 2025). Semptomsuz, fonksiyonel ve periapikal olarak sağlıklı bir dişte obliterasyon tek başına klinik başarısızlık değildir. Ancak gelecekte enfeksiyon gelişmesi halinde ortograd erişimi güçleştirir. Bu nedenle uzun dönem takip ve başlangıçtan itibaren ayrıntılı dijital kayıt önemlidir.

Persistan enfeksiyon

Ağrı, şişlik, fistül, artan radyolusensi veya eksüda devam ediyorsa geçici/kalıcı restorasyon sızıntısı, yetersiz dezenfeksiyon, kanal anatomisi, kırık ve rezorpsiyon yeniden değerlendirilmelidir. İlk aşamada medikamentin yenilenmesi ve güvenli irrigasyon protokolünün tekrarı düşünülebilir. Persistan enfeksiyonda rejeneratif prosedürü tekrarlamak, MTA apikal plug, konvansiyonel kanal tedavisi, cerrahi endodonti veya çekim seçenekleri restoratif ve periodontal prognozla birlikte planlanır.

Kanama oluşturmama ve yetersiz scaffold

Kanama oluşturmama; vazokonstriktör etkisi, apikal dokuların fibrotik/iyileşmiş olması, dar apikal açıklık veya yetersiz periapikal irritasyonla ilişkili olabilir. Vazokonstriktörsüz anestezi, uygun eğe ve kontrollü overinstrumentasyon ilk seçeneklerdir. Yine de kanama sağlanamazsa PRP veya PRF gibi otolog scaffoldlar düşünülebilir. Scaffold seçimi, enfeksiyon kontrolündeki eksikliği telafi etmez.

Kök kırığı ve restoratif başarısızlık

İmmatür dişin kırılma riski yalnızca kök duvarı kalınlığına bağlı değildir; travma öyküsü, servikal dentin kaybı, uzun süreli kalsiyum hidroksit, oklüzal yük ve restorasyon bütünlüğü önemlidir. Radyografik duvar kalınlaşması mekanik yarar için makul bir surrogate olsa da doğrudan uzun dönem kırılma azalmasını kanıtlayan veri sınırlıdır. Oklüzal düzenleme, travmadan korunma ve güçlü adeziv restorasyon temel önlemlerdir.

Tablo 9. Başlıca komplikasyonlar ve yönetim yaklaşımı.

Komplikasyon	Olası neden	Önleme	Yönetim
Renklenme	Minosiklin, kan-biyoseramik etkileşimi, materyal artığı	Minosiklinsiz pat, dentin bariyeri, renk stabil materyal	Beyazlatma veya restoratif düzeltme; enfeksiyon yoksa takip
Persistan enfeksiyon	Yetersiz dezenfeksiyon, sızıntı, kompleks anatomi	Sızdırmaz geçici/kalıcı restorasyon, güvenli irrigasyon	Medikament yenileme, alternatif endodontik/cerrahi tedavi
Kanama oluşturmama	Vazokonstriktör, fibrozis, dar apeks	Vazokonstriktörsüz anestezi, kontrollü overinstrumentasyon	PRP/PRF veya alternatif tedavi planı
Obliterasyon	Kontrolsüz mineralize doku birikimi	Tam olarak önlenemez; kayıt ve takip	Semptomsuzsa izlem; enfeksiyonda mikroskopik/cerrahi yaklaşım
Yetersiz kök gelişimi	HERS/SCAP hasarı, yaş, enfeksiyon süresi	Doğru vaka seçimi ve hücre dostu protokol	Primer iyileşme varsa takip; kırılma/enfeksiyona göre alternatif
Kök kırığı	İnce duvar, travma, servikal kayıp, uzun Ca(OH) ₂	Kısa medikament süresi, adeziv destek, oklüzal koruma	Kırık tipine göre restorasyon, cerrahi veya çekim

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Güncel kanıtların eleştirel sentezi

Güncel sistematik derlemelerin ortak mesajı, RET'nin immatür nekrotik daimi dişlerde yüksek klinik başarı ve sağkalım sağlayabildiği; ancak kök gelişim ölçütlerinde protokol ve vaka heterojenliğinin belirgin olduğudur (Sabeti et al., 2024; Tewari et al.,

2025). Çalışmaların çoğunda diş tipi, yaş, etiyoloji, apikal açıklık, irrigant konsantrasyonu, medikament, scaffold, bariyer ve takip süresi farklıdır. Bu nedenle tek bir yüzdeyi “RET başarı oranı” olarak genellemek yanıltıcıdır.

Klinik başarı ile biyolojik rejenerasyon ayrılmalıdır. Ağrı ve periapikal radyolusensinin ortadan kalkması güçlü ve hasta odaklı bir sonuçtur; kök uzaması ve duvar kalınlaşması değerli fakat daha değişken sekonder sonuçlardır. Pozitif sensiblite yanıtı nöral organizasyonu düşündürse de gerçek pulpa histolojisini kanıtlamaz. İntrakanal kalsifikasyon, bir yandan biyolojik aktivitenin işareti, diğer yandan gelecekte erişimi zorlaştıran advers sonuç olabilir.

Medikament ve scaffold üstünlüğü konusunda kanıt kesin değildir. 2026 medikament meta-analizi klinik başarıda TAP, DAP ve kalsiyum hidroksit arasında belirleyici fark göstermezken (Alovisi et al., 2026), trombosit konsantreleri için 2025 meta-analizi PRP/PRF’nin kan pıhtısına evrensel üstünlüğünü desteklememiştir (Tsiolaki et al., 2025). Dolayısıyla “en yeni materyal” yerine biyolojik güvenlik, standardize uygulama, koronal seal ve takip kalitesi öncelenmelidir.

Tablo 10. 2026 itibarıyla kanıtın klinik yorumu.

Soru	En güvenilir güncel sonuç	Belirsizlik / araştırma gereksinimi
RET apeksifikasyondan daha mı başarılı?	Genel klinik başarı ve sağkalım çoğu analizde benzer derecede yüksektir; RET kök gelişimi potansiyeli sunar.	Kök matürasyonunun büyüklüğü ve uzun dönem kırılma etkisi heterojendir.

Soru	En güvenilir güncel sonuç	Belirsizlik / araştırma gereksinimi
En iyi irrigant protokolü nedir?	Düşük konsantrasyonlu NaOCl + %17 EDTA, güvenlik ve biyolojik aktivasyon için temel çerçevedir.	Hacim, süre, aktivasyon ve apikal güvenliğin optimum kombinasyonu.
En iyi medikament hangisidir?	Kalsiyum hidroksit ve düşük doz antibiyotik patları kabul edilebilir; belirgin üstünlük yoktur.	Mikrobiyal ekoloji, direnç, hücre toksisitesi ve kişiselleştirilmiş seçim.
PRP/PRF kan pıhtısından üstün mü?	Her üçü de yüksek klinik başarı sağlayabilir; kesin evrensel üstünlük yoktur.	Alt gruplar, hazırlama standardı ve kök gelişimi üzerindeki gerçek etki.
Oluşan doku gerçek pulpa mı?	Konvansiyonel cell-homing RET’de çoğunlukla heterojen canlı tamir/mineralize dokudur.	Organize odontoblast tabakası, innervasyon ve immün fonksiyonun öngörülebilir yeniden kurulması.
CBCT rutin gerekli mi?	Hayır; standardize periapikal radyografi temel yöntemidir.	Seçilmiş endikasyonlarda düşük doz 3B ölçümün ek klinik değeri.

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Olgun dişlerde rejeneratif yaklaşımlar

Matür nekrotik dişlerde apikal foramen daha dardır, apikal papilla artık mevcut değildir ve endojen hücre girişi immatür dişlere göre sınırlıdır. Buna rağmen apikal genişletme, kanama indüksiyonu, scaffold ve biyoseramik seal içeren araştırma protokolleri semptom ve periapikal iyileşme sağlayabilmiştir. Ön randomize çalışmalar ve sistematik derlemeler umut verici sonuçlar bildirirse de yöntemler heterojen, örneklemeler küçük ve uzun dönem histolojik/fonksiyonel kanıt yetersizdir (Li et al., 2023; Youssef et al., 2022). Bu nedenle

matür nekrotik dişte RET, rutin konvansiyonel kanal tedavisinin yerini alan standart yaklaşım olarak görülmemelidir.

Hücre temelli ve hücresiz gelecek stratejileri

Hücre transplantasyonu

Laboratuvarda çoğaltılmış otolog dental pulpa kök hücrelerinin scaffold ve sinyal molekülleriyle kanala transplantasyonu, gerçek pulpa benzeri dokunun daha kontrollü yeniden oluşturulmasını hedefler. Mobilize dental pulpa kök hücreleriyle yapılan pilot klinik çalışma, güvenlik ve vaskülarize doku oluşumu açısından kavram kanıtı sağlamıştır (Nakashima et al., 2017). Ancak hücre izolasyonu, GMP üretimi, maliyet, düzenleyici gereklilik, sterilite ve hasta seçimi bu yaklaşımın rutin kliniğe geçişini sınırlar.

Hücresiz biyolojik tedaviler

Hücresiz stratejiler; eksozomlar, sekretom, kontrollü büyüme faktörü salımı, dentin kaynaklı sinyal mobilizasyonu ve immünomodülatör moleküllerle endojen onarımı güçlendirmeyi amaçlar. Bu yaklaşım hücre kültürü ve transplantasyonun lojistik risklerini azaltabilir. 2025–2026 dönemindeki biyomateryal ve taşıyıcı sistem derlemeleri, çoklu sinyal salan hidrojel­lerin ve antibakteriyel–rejeneratif hibrit platformların gelecek için güçlü adaylar olduğunu, fakat klinik etkinlik ve güvenliğin henüz standardize olmadığını vurgulamaktadır (Farjaminejad et al., 2025; Kaur et al., 2026; Kim et al., 2026).

Akıllı scaffoldlar, 3B biyobaskı ve yapay zekâ

Yeni nesil scaffoldlar, kanalın koronal-apikal gradyanlarını taklit eden mekanik özelliklere, zamana bağlı biyobozunmaya ve ardışık antimikrobiyal/anjiyojenik sinyal salımına göre tasarlanmaktadır. 3B biyobaskı, vasküler ve nöral yönelmeyi destekleyen bölgesel yapıların üretilmesini hedefler. Yapay zekâ destekli görüntü analizi ise standardize radyografilerde kök alanı,

duvar kalınlığı, lezyon hacmi ve kalsifikasyonu daha nesnel izleme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojilerin klinik değeri, dış doğrulama, açıklanabilirlik, veri standardizasyonu ve radyasyon optimizasyonu ile gösterilmelidir (Kim et al., 2026; Kyaw et al., 2025).

Hasta iletişimi ve aydınlatılmış onam

Hasta ve ebeveyne RET'nin biyolojik ve sonuçları değişken bir tedavi olduğu açıklanmalıdır. "Dış kesin olarak tekrar canlı olacak" yerine "enfeksiyonu kontrol ederek kökün gelişim potansiyelini desteklemeyi amaçlıyoruz" ifadesi daha doğrudur. Beklenen yararlar; ağrı ve enfeksiyonun ortadan kalkması, dişin ağızda tutulması ve olası kök matürasyonudur. Renklenme, kanal obliterasyonu, kök gelişiminin yetersiz kalması, tekrar enfeksiyon, kırık ve alternatif tedaviye geçiş riski yazılı onamda yer almalıdır.

Takip randevuları tedavinin ayrılmaz parçasıdır. Final restorasyonun kırılması veya sızdırması, biyolojik kazanımı kısa sürede kaybettirebilir. Ağız hijyeni, travmadan korunma, spor sırasında ağız koruyucu, oklüzal kontrol ve restorasyon bütünlüğü hakkında yazılı öneriler verilmelidir. Özellikle çocuk hastada tedavi başarısı, klinik protokol kadar aile uyumuna da bağlıdır.

Klinik uygulama özeti

Aşağıdaki kontrol listesi, klinisyenin her basamakta biyolojik hedef ile teknik güvenliği birlikte doğrulamasına yardımcı olur. Protokol, hastanın yaşı, travma öyküsü, enfeksiyonun şiddeti ve kullanılan materyalin özelliklerine göre bireyselleştirilmelidir.

Tablo 11. RET için basamak bazlı klinik kontrol listesi.

Basamak	Zorunlu kontrol	İlerlemeden önce yanıtlanacak soru
Endikasyon	Nekrotik pulpa, immatür apeks, restorabilite, takip uyumu	Dişin biyolojik potansiyeli ve uzun dönem restoratif plan RET ile uyumlu mu?
Birinci seans	Rubber dam, minimal preparasyon, güvenli düşük basınçlı irrigasyon	Apikal dokuları korurken mikrobiyal yükü yeterince azaltabildim mi?
Ara dönem	Sızdırmaz geçici restorasyon, semptom ve eksüda kontrolü	Kanal klinik olarak sakın ve ikinci seansa hazır mı?
İkinci seans	Medikament uzaklaştırma, %17 EDTA, vazokonstriktörsüz anestezi	Hücre göçünü destekleyecek biyouyumlu yüzey ve kontrollü kanama var mı?
Bariyer/restorasyon	Stabil scaffold, 3–4 mm biyoseramik, adeziv kalıcı seal	Pıhtıyı bozmadan oral mikrofloraya karşı kalıcı izolasyon sağlandı mı?
Takip	6, 12, 24 ay ve yıllık klinik/radyografik kayıt	Primer başarı, sekonder kök gelişimi ve advers olaylar ayrı kaydedildi mi?

Kaynak: Yazar tarafından ilgili literatür temelinde bu bölüm için oluşturulmuştur.

Tedaviyi durdurup yeniden değerlendirmeyi gerektiren kırmızı bayraklar

Kontrol edilemeyen eksüda veya şişlik; güvenli izolasyonun sağlanamaması; restoratif prognozun bozulması; apikal irrigant taşması şüphesi; ilerleyen kök rezorpsiyonu veya kırık; hastanın takipten çıkması. Bu durumlarda biyolojik uyarım basamağına otomatik olarak geçilmemelidir.

Sonuç

Rejeneratif endodonti, immatür nekrotik daimi dişlerde mekanik apikal bariyer yaklaşımından biyolojik iyileşme ve kök matürasyonuna yönelen önemli bir paradigma değişimidir. Uygun seçilmiş vakalarda yüksek fonksiyonel retansiyon ve periapikal iyileşme sağlayabilir; fakat kök uzaması, duvar kalınlaşması, sensiblite yanıtı ve gerçek pulpa histolojisi öngörülebilir değildir. Tedavinin başarısı tek bir irrigant, medikament veya scaffoldta değil; doğru vaka seçimi, apikal güvenlik, mikrobiyal kontrol, hücre dostu dentin yüzeyi, stabil scaffold, biyoseramik bariyer, sızdırmaz restorasyon ve uzun dönem takibin bütününe bağlıdır.

2026 itibarıyla en güçlü klinik mesaj, teknolojik yeniliği biyolojik temel ilkelerin önüne koymamaktır. Kan pıhtısı, PRP, PRF veya hidrojel seçimi; ancak enfeksiyon kontrolü ve koronal seal sağlandığında anlam kazanır. Gelecekte hücre transplantasyonu, eksozom/sekretom, akıllı hidrojeller ve kontrollü molekül taşıma sistemleri özgün pulpa-dentin kompleksine yaklaşabilir. Bu ilerlemenin klinik pratiğe güvenle aktarılması için standardize sonuç setleri, uzun dönem karşılaştırmalı çalışmalar ve hasta merkezli sonuçların zorunlu olarak raporlanması gerekir.

Klinik olarak akılda tutulması gerekenler

RET için ideal aday, nekrotik pulpalı, açık apeksli, restoratif olarak korunabilir ve uzun dönem takip edilebilir daimi diştir. Düşük konsantrasyonlu NaOCl, %17 EDTA, kısa süreli biyoyumlu medikament, kontrollü kanama, 3–4 mm biyoseramik bariyer ve güçlü adeziv restorasyon temel çerçeveyi oluşturur. Primer başarı semptomsuzluk ve periapikal iyileşmedir; kök matürasyonu değerli fakat değişken bir sekonder hedeftir.

Şekil notu: Bu bölümdeki tüm şematik şekiller özgün olarak hazırlanmış, hasta görüntüsü veya üçüncü taraf telifli görsel kullanılmamıştır.

Kaynakça/References

- Alovisi, M., Arduino, P. G., Petti, S., et al. (2026). The efficacy of intracanal medicaments within regenerative endodontic procedures on permanent necrotic immature teeth: systematic review and naïve indirect-comparison meta-analysis. *International Endodontic Journal*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/iej.70135>
- Althumairy, R. I., Teixeira, F. B., & Diogenes, A. (2014). Effect of dentin conditioning with intracanal medicaments on survival of stem cells of apical papilla. *Journal of Endodontics*, 40(4), 521–525..
- American Association of Endodontists (2022). *AAE clinical considerations for a regenerative procedure*. (Revised November 2022).
- American Association of Endodontists (2025). *AAE position statement—Scope of endodontics: Regenerative endodontics*.
- Berkhoff, J. A., Chen, P. B., Teixeira, F. B., & Diogenes, A. (2014). Evaluation of triple antibiotic paste removal by different irrigation procedures. *Journal of Endodontics*, 40(8), 1172–1177..
- Bezgin, T., Yilmaz, A. D., Celik, B. N., Kolsuz, M. E., & Sonmez, H. (2015). Efficacy of platelet-rich plasma as a scaffold in regenerative endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 41(1), 36–44..
- Bose, R., Nummikoski, P., & Hargreaves, K. (2009). A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures. *Journal of Endodontics*, 35(10), 1343–1349..

- Bourguignon, C., Cohenca, N., Lauridsen, E., Flores, M. T., O'Connell, A. C., Day, P. F., et al. (2020). International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 1. Fractures and luxations of permanent teeth. *Dental Traumatology*, 36(4), 314–330. <https://doi.org/10.1111/edt.12578>
- Chen, M. Y. H., Chen, K. L., Chen, C. A., Tayebaty, F., Rosenberg, P. A., & Lin, L. M. (2012). Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *International Endodontic Journal*, 45(3), 294–305..
- de Oliveira, C. L. L., Ferreira, F. M., Puppini-Rontani, J., Puppini-Rontani, R. M., & Pascon, F. M. (2026). Potential of irrigants and medicaments in regenerative endodontics: insights from a systematic review on dentin growth factor release. *Odontology*, 114(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10266-025-01128-y>
- Farjaminejad, R., Farjaminejad, S., & Garcia-Godoy, F. (2025). Regenerative endodontic therapies: harnessing stem cells, scaffolds, and growth factors. *Polymers*, 17(11), 1475. <https://doi.org/10.3390/polym17111475>
- Flake, N. M., Gibbs, J. L., Diogenes, A., Hargreaves, K. M., & Khan, A. A. (2014). A standardized novel method to measure radiographic root changes after endodontic therapy in immature teeth. *Journal of Endodontics*, 40(1), 46–50..
- Galler, K. M., D'Souza, R. N., Federlin, M., et al. (2011). Dentin conditioning codetermines cell fate in regenerative endodontics. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1536–1541..
- Galler, K. M., Hartgerink, J. D., Cavender, A. C., Schmalz, G., & D'Souza, R. N. (2012). A customized self-assembling

- peptide hydrogel for dental pulp tissue engineering. *Tissue Engineering Part A*, 18(1-2), 176–184..
- Galler, K. M., Krastl, G., Simon, S., Van Gorp, G., Meschi, N., Vahedi, B., & Lambrechts, P. (2016). European Society of Endodontology position statement: Revitalization procedures. *International Endodontic Journal*, 49(8), 717–723. <https://doi.org/10.1111/iej.12629>
- Gronthos, S., Mankani, M., Brahimi, J., Robey, P. G., & Shi, S. (2000). Postnatal human dental pulp stem cells in vitro and in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(25), 13625–13630..
- Hargreaves, K. M., Diogenes, A., & Teixeira, F. B. (2013). Treatment options: biological basis of regenerative endodontic procedures. *Journal of Endodontics*, 39(3 Suppl), S30–S43..
- Hoshino, E., Kurihara-Ando, N., Sato, I., Uematsu, H., Sato, M., Kota, K., & Iwaku, M. (1996). In-vitro antibacterial susceptibility of bacteria taken from infected root dentine to a mixture of ciprofloxacin, metronidazole and minocycline. *International Endodontic Journal*, 29(2), 125–130..
- Hsueh, W. C., Constantinidou, S. H., Capoferri, M., Bejarano, E., Łukomska-Szymańska, M., & Sauro, S. (2025). Hydrogel scaffold for dental pulp regeneration: a systematic review. *British Dental Journal*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1038/s41415-025-9003-x>
- Kahler, B., & Rossi-Fedele, G. (2016). A review of tooth discoloration after regenerative endodontic therapy. *Journal of Endodontics*, 42(4), 563–569..
- Kaur, K., et al. (2026). Bioactive molecule delivery platforms in regenerative endodontic therapy: a systematic review and meta-analysis. *Cell Transplantation*, 35,

09636897251407385.

<https://doi.org/10.1177/09636897251407385>

- Kim, J. H., Kim, Y., Shin, S. J., Park, J. W., & Jung, I. Y. (2010). Tooth discoloration of immature permanent incisor associated with triple antibiotic therapy: a case report. *Journal of Endodontics*, 36(6), 1086–1091..
- Kim, S. G., Neelakantan, P., & Yang, M. (2026). Microenvironmental challenges in regenerative endodontic procedures: disinfection, tissue engineering and future directions. *International Endodontic Journal*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/iej.70139>
- Kyaw, M. S., Kamano, Y., Yahata, Y., Tanaka, T., Sato, N., Toyama, F., et al. (2025). Endodontic regeneration therapy: current strategies and tissue engineering solutions. *Cells*, 14(6), 422. <https://doi.org/10.3390/cells14060422>
- Li, J., et al. (2023). Treatment outcome of regenerative endodontic procedures for necrotic immature and mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis based on randomized controlled trials. *Oral Health & Preventive Dentistry*, 21(1), 141–152..
- Lin, L. M., et al. (2014). Histologic and histobacteriologic observations of failed revascularization/revitalization therapy: a case report. *Journal of Endodontics*, 40(2), 291–295..
- Lovelace, T. W., Henry, M. A., Hargreaves, K. M., & Diogenes, A. (2011). Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative endodontic procedure. *Journal of Endodontics*, 37(2), 133–138..

- Martin, D. E., De Almeida, J. F. A., Henry, M. A., Khaing, Z. Z., Schmidt, C. E., Teixeira, F. B., & Diogenes, A. (2014). Concentration-dependent effect of sodium hypochlorite on stem cells of apical papilla survival and differentiation. *Journal of Endodontics*, 40(1), 51–55..
- Murray, P. E., Garcia-Godoy, F., & Hargreaves, K. M. (2007). Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *Journal of Endodontics*, 33(4), 377–390..
- Murray, P. E. (2023). Review of guidance for the selection of regenerative endodontics, apexogenesis, apexification, pulpotomy, and other endodontic treatments for immature permanent teeth. *International Endodontic Journal*, 56, 188–199. <https://doi.org/10.1111/iej.13809>
- Nakashima, M., Iohara, K., Murakami, M., Nakamura, H., Sato, Y., Aiji, Y., & Matsushita, K. (2017). Pulp regeneration by transplantation of dental pulp stem cells in pulpitis: a pilot clinical study. *Stem Cell Research & Therapy*, 8, 61. <https://doi.org/10.1186/s13287-017-0506-5>
- Parirokh, M., & Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—Part III: clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of Endodontics*, 36(3), 400–413..
- Raddall, G., Mello, I., & Leung, B. M. (2019). Biomaterials and scaffold design strategies for regenerative endodontic therapy. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 317. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00317>
- Ruparel, N. B., Teixeira, F. B., Ferraz, C. C. R., & Diogenes, A. (2012). Direct effect of intracanal medicaments on survival of stem cells of the apical papilla. *Journal of Endodontics*, 38(10), 1372–1375..

- Sabeti, M., Ghobrial, D., Zanjir, M., da Costa, B. R., Young, Y., & Azarpazhooh, A. (2024). Treatment outcomes of regenerative endodontic therapy in immature permanent teeth with pulpal necrosis: a systematic review and network meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 57(3), 238–255. <https://doi.org/10.1111/iej.13999>
- Shimizu, E., et al. (2013). Clinical, radiographic, and histological observation of a human immature permanent tooth with chronic apical abscess after revitalization treatment. *Journal of Endodontics*, 39(8), 1078–1083..
- Simon, S., Tomson, P. L., & Berdal, A. (2014). Regenerative endodontics: regeneration or repair? *Journal of Endodontics*, 40(4 Suppl), S70–S75..
- Smith, A. J., Scheven, B. A., Takahashi, Y., Ferracane, J. L., Shelton, R. M., & Cooper, P. R. (2012). Dentine as a bioactive extracellular matrix. *Archives of Oral Biology*, 57(2), 109–121..
- Song, M., Jung, H. I., & Kim, S. G. (2025). Clinical outcomes of regenerative endodontic procedure: periapical healing, root development, and intracanal calcification. *Journal of Endodontics*, 51(6), 722–731. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2025.02.007>
- Sonoyama, W., Liu, Y., Yamaza, T., Tuan, R. S., Wang, S., Shi, S., & Huang, G. T. J. (2008). Characterization of the apical papilla and its residing stem cells from human immature permanent teeth: a pilot study. *Journal of Endodontics*, 34(2), 166–171..
- Sousa Melo, S. L., Fayad, M. I., Gohel, A., Johnson, B. R., Kalathingal, S., Mahdian, M., Nair, M., Setzer, F. C., & Makins, S. R. (2026). AAE and AAOMR joint position statement: use of cone-beam computed tomography in

- endodontics—2025 update. *Journal of Endodontics*, 52(1), 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2025.09.008>
- Tewari, N., Devi, P., Sampath, S., Mathur, V. P., Tsilingaridis, G., Wikström, A., et al. (2025). Comparative effectiveness of regenerative endodontic treatment versus apexification for necrotic immature permanent teeth with or without apical periodontitis: an umbrella review. *Dental Traumatology*, 41(3), 263–282. <https://doi.org/10.1111/edt.13028>
- Theekakul, C., Banomyong, D., Osiri, S., Sutam, N., Ongchavalit, L., & Jantararat, J. (2024). Mahidol Study 2: clinical outcomes of immature permanent teeth treated with regenerative endodontic procedures. *Journal of Endodontics*, 50(11), 1569–1578. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.08.017>
- Trevino, E. G., Patwardhan, A. N., Henry, M. A., Perry, G., Dybdal-Hargreaves, N., Hargreaves, K. M., & Diogenes, A. (2011). Effect of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla in a platelet-rich plasma scaffold in human root tips. *Journal of Endodontics*, 37(8), 1109–1115..
- Tsiolaki, A., Theocharis, D., Tsitsipas, N., Fardi, A., & Kodonas, K. (2025). Evaluation of platelet concentrates in regenerative endodontics: a systematic review and meta-analysis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 50(4), e38. <https://doi.org/10.5395/rde.2025.50.e38>
- Ulusoy, A. T., Turedi, I., Cimen, M., & Cehreli, Z. C. (2019). Evaluation of blood clot, platelet-rich plasma, platelet-rich fibrin, and platelet pellet as scaffolds in regenerative endodontic treatment: a prospective randomized trial. *Journal of Endodontics*, 45(5), 560–566..
- Verma, P., Nosrat, A., Kim, J. R., Price, J. B., Wang, P., Bair, E., et al. (2017). Effect of residual bacteria on the outcome of pulp

- regeneration in vivo. *Journal of Dental Research*, 96(1), 100–106..
- Wang, X., Thibodeau, B., Trope, M., Lin, L. M., & Huang, G. T. J. (2010). Histologic characterization of regenerated tissues in canal space after the revitalization/revascularization procedure of immature dog teeth with apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, 36(1), 56–63..
- Wei, X., Yang, M., Yue, L., Huang, D., Zhou, X., Wang, X., et al. (2022). Expert consensus on regenerative endodontic procedures. *International Journal of Oral Science*, 14, 55. <https://doi.org/10.1038/s41368-022-00206-z>
- Yassen, G. H., & Platt, J. A. (2013). The effect of nonsetting calcium hydroxide on root fracture and mechanical properties of radicular dentine: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 46(2), 112–118..
- Youssef, A., Ali, M., ElBolok, A., & Hassan, R. (2022). Regenerative endodontic procedures for the treatment of necrotic mature teeth: a preliminary randomized clinical trial. *International Endodontic Journal*, 55(4), 334–346..
- Zanjir, M., Cardoso, E., Harman, N. L., Khansari, A., Jafarzadeh, H., Malkhassian, G., et al. (2025). Development of a Core Outcome Set in Endodontics (COS-ENDO): Part 5—COS-ENDO for studies of apexification and regenerative endodontics in permanent teeth. *Journal of Endodontics*, 51(4), 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2025.01.012>

BÖLÜM 3

ENDODONTİDE BİYOSERAMİK VE BİYOAKTİF MATERYALLER: SINIFLANDIRMA, MATERYAL BİLİMİ, KANITA DAYALI KLİNİK KULLANIM VE 2026 PERSPEKTİFİ

ESRA BALKANLIOĞLU¹

Özet

Endodontide biyoseramik ve biyoaktif materyaller; vital pulpa tedavisi, perforasyon ve rezorpsiyon tamiri, apikal bariyer oluşturulması, rejeneratif endodontide koronal bariyer, kök-uç dolgusu ve ortograd kanal obturasyonu gibi çok farklı klinik işlemlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte “biyoseramik” terimi; bağlayıcı fazı, radyoopaklaştırıcısı, taşıyıcısı, katkıları ve sertleşme mekanizması birbirinden belirgin biçimde farklı ürünleri tek bir ticari başlık altında toplar. Bu nedenle materyal seçimi marka veya jenerik etiket üzerinden değil; kimyasal sınıf, endikasyon, operasyonel koşullar ve klinik kanıt üzerinden yapılmalıdır. Hidrolik kalsiyum silikat esaslı çimentolar su ile reaksiyona girerek kalsiyum-silikat-hidrat fazı ve kalsiyum hidroksit oluşturur; alkali

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0009-0903-7129

pH ve kalsiyum iyon salımı fosfat içeren ortamlarda kalsiyum fosfat/apatite-benzer yüzey çökeltilerini ve mineralizasyonla ilişkili hücresel yanıtları destekleyebilir. Ancak bu özellikler sterilite, gerçek doku rejenerasyonu veya otomatik klinik üstünlük anlamına gelmez.

Vital pulpa tedavisinde rezin içermeyen hidrolik kalsiyum silikatların kalsiyum hidroksite göre daha güvenilir başarı sağladığı; MTA ve hızlı sertleşen trikalsiyum silikat materyalleri arasında ise vaka ve protokole göre değişen, çoğu zaman sınırlı farklar bulunduğu görülmektedir. Kök tamiri ve endodontik cerrahide bu materyaller güçlü klinik seçeneklerdir. Kalsiyum silikat esaslı kanal patlarıyla tek kon tekniği kabul edilebilir klinik sonuçlar göstermekle birlikte, epoksi rezin patlara evrensel üstünlük, gerçek monoblok oluşumu ve sorunsuz yeniden tedavi edilebilirlik iddiaları kanıt düzeyini aşmaktadır. Güvenli klinik kullanım; doğru tanı, aseptisi, hemostaz, uygun materyal kalınlığı, kontrollü nem, üreticiye özgü sertleşme/ısı protokolü, koronal sızdırmazlık ve uzun dönem takip bütününe bağlıdır.

Anahtar kelimeler: biyoseramik; biyoaktif materyal; hidrolik kalsiyum silikat çimento; mineral trioksit agregat; vital pulpa tedavisi; perforasyon tamiri; kanal patı; tek kon obturasyonu.

Abstract

Bioceramic and bioactive materials are used across a wide spectrum of endodontic procedures, including vital pulp therapy, repair of perforations and resorptive defects, apical barrier formation, coronal barriers in regenerative endodontics, root-end filling, and orthograde obturation. The term “bioceramic,” however, groups products with substantially different binders, radiopacifiers, vehicles, additives, and setting mechanisms under one commercial umbrella. Material selection should therefore be

based on chemical class, indication, operative conditions, and clinical evidence rather than the generic label. Hydraulic calcium silicate cements react with water to form calcium-silicate-hydrate and calcium hydroxide. Their alkaline environment and calcium ion release may promote calcium-phosphate/apatite-like surface precipitation and mineralization-associated cellular responses in phosphate-containing environments. These findings do not, however, guarantee sterility, true tissue regeneration, or superior long-term clinical outcomes.

Current evidence supports resin-free hydraulic calcium silicate cements over calcium hydroxide for vital pulp therapy, while differences among MTA-type and fast-setting tricalcium silicate materials are generally smaller and context-dependent. These materials are valuable for repair procedures and endodontic microsurgery. Calcium silicate sealers used with a hydraulic single-cone technique can provide acceptable clinical outcomes, but universal superiority over epoxy resin sealers, formation of a true monoblock, and uncomplicated retreatability remain unproven. Predictable use depends on accurate diagnosis, asepsis, hemostasis, adequate material thickness, controlled moisture, product-specific setting and heat protocols, a durable coronal seal, and long-term follow-up.

Keywords: bioceramics; bioactive material; hydraulic calcium silicate cement; mineral trioxide aggregate; vital pulp therapy; perforation repair; root canal sealer; single-cone obturation.

Kısaltmalar

Tablo 1. Bölümde kullanılan temel kısaltmalar.

Kısaltma	Açılım
AAE	American Association of Endodontists
C-S-H	Kalsiyum-silikat-hidrat
DPC	Direkt pulpa örtüsü (direct pulp capping)
ESE	European Society of Endodontology
HCSC	Hidrolik kalsiyum silikat çimento
ISO	International Organization for Standardization
MTA	Mineral trioksit agregat
PBS	Fosfat tamponlu salin
RET	Rejeneratif endodontik tedavi
RRM	Kök tamir materyali (root repair material)
SC	Tek kon (single cone)
VPT	Vital pulpa tedavisi
XRD	X-ışını difraksiyonu

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Giriş: inert dolgulardan biyolojik etkileşime

Endodontik materyal seçiminin tarihsel hedefi, enfekte veya hasarlı kanal sistemini fiziksel olarak kapatmak ve oral mikroorganizmalara karşı kalıcı bir bariyer oluşturmaktır. Mineral trioksit agregatın kullanıma girmesiyle birlikte nemli ortamda sertleşebilen, kalsiyum salabilen ve sert doku oluşumuyla ilişkili biyolojik yanıtlar oluşturabilen hidrolik çimentolar endodontinin birçok alanında standart yaklaşımı değiştirdi. Bugün aynı temel kimyadan türeyen materyaller vital pulpa tedavisinden kök-uç dolgusuna, perforasyon tamirinden kanal obtürasyonuna kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir (Camilleri et al., 2022; Darvell

& Wu, 2011; Dawood et al., 2017; Dong & Xu, 2023; Torabinejad et al., 2018; Wang et al., 2023).

Bu hızlı genişleme önemli bir terminoloji sorunu oluşturmuştur. “Biyoseramik” etiketi; suyla sertleşen kalsiyum silikat çimentoları, kalsiyum fosfat sistemlerini, biyoaktif cam içeren patları ve rezin-modifiye kalsiyum silikat ürünlerini aynı sınıfta gösterebilir. Oysa sertleşme reaksiyonu, iyon salımı, renk stabilitesi, çözünürlük, ısı duyarlılığı, hücresel yanıt ve yeniden tedavi edilebilirlik bu gruplar arasında aynı değildir. 2026 tarihli güncel sınıflandırma, materyalin bağlayıcı fazı, radyopaklaştırıcısı, taşıyıcısı, katkıları, kalsiyum hidroksit salımı ve reaksiyon ürünleri üzerinden tanımlanmasını önermektedir (Camilleri, 2020; Camilleri, 2026).

Klinik açıdan temel soru “en yeni biyoseramik hangisidir?” değil, “bu materyalin kimyası ve test edilmiş özellikleri bu endikasyonda hangi operasyonel gereksinimi karşılıyor?” olmalıdır. Vital pulpa tedavisinde kısa sertleşme süresi ve renk stabilitesi; furkal perforasyonda yıkanma direnci ve adaptasyon; apikal plugda kontrol edilebilir yerleştirme; ortograd obturasyonda akış, film kalınlığı, nem ihtiyacı, ısı davranışı ve retrievability farklı ağırlık taşır. Bu bölümün amacı, materyal bilimi ile klinik karar arasındaki bu baği kanıta dayalı ve ürün-ötesi bir çerçevede kurmaktır.

Terminoloji ve 2026 sınıflandırması

“Biyoseramik” neyi ifade eder?

Biyoseramik, biyolojik dokularla temas etmek üzere tasarlanmış seramik ve seramik-benzeri inorganik materyalleri tanımlayan geniş bir üst terimdir. Endodontide günlük kullanımda bu terim çoğunlukla hidrolik kalsiyum silikat çimentoları ve bunlardan türetilmiş kanal patları için kullanılır. Ancak “hidrolik kalsiyum silikat esaslı” ifadesi, su ile sertleşen bağlayıcı fazı açıkça

tanımladığı için materyal kimyasını daha doğru yansıtır (Camilleri, 2020; Camilleri, 2026; Camilleri et al., 2022).

Biyouyumluluk, biyoaktivite ve biyomineralizasyon

Biyouyumluluk, materyalin belirli bir uygulamada kabul edilebilir konak yanıtıyla işlev görmesidir; tamamen inert olması gerekmez. Biyoaktivite ise materyalin çevresiyle iyonik ve kimyasal etkileşime girerek doku ile işlevsel bir arayüz oluşturma potansiyelini ifade eder. Kalsiyum silikat materyallerde bu kavram çoğu zaman alkali pH, kalsiyum iyon salımı, fosfat içeren sıvılarda yüzeysel kalsiyum fosfat çökmesi ve mineralizasyonla ilişkili gen ekspresyonu ile gösterilir (Niu et al., 2014; Prati & Gandolfi, 2015). “Biyomineralizasyon” ise hücre veya doku aracılı mineral birikimini anlatır; yalnızca materyal yüzeyinde in vitro apatite-benzer çökelti görülmesiyle eş anlamlı değildir.

Bu ayrımlar klinik iletişim için kritiktir. Bioaktivite, rezidüel enfeksiyonu ortadan kaldırmaz; kötü hemostazı, yetersiz materyal kalınlığını veya koronal sızıntıyı telafi etmez. Aynı şekilde hücre kültüründe yüksek canlılık gösteren bir ürünün uzun dönem klinik üstünlüğü ancak karşılaştırmalı hasta verileriyle gösterilebilir (Camilleri et al., 2022; Drukteinis et al., 2024; Prasad Kumara et al., 2025).

Şekil 1. Endodontide kullanılan biyoseramik ve biyoaktif materyallerin güncel, ürün-ötesi sınıflandırması.

Endodontik biyoseramikler: güncel sınıflandırma

Ticari ad yerine bağlayıcı faz, taşıyıcı, radyoopaklaştırıcı ve sertleşme mekanizması okunmalıdır.



Klinik terim: "biyoseramik". Bilimsel olarak daha açıklayıcı terim: "hidrolik kalsiyum silikat esaslı materyal".

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 2. Temel terimler, operasyonel tanımlar ve sık yorum hataları.

Terim	Operasyonel tanım	Sık hata	Klinik yorum
Biyoseramik	Biyolojik dokularla temas için tasarlanmış geniş inorganik materyal grubu	Tüm ürünleri kimyasal olarak eşdeğer görmek	Bağlayıcı faz ve sertleşme mekanizması ayrıca belirtilmelidir.
HCSC	Su ile hidrasyonla sertleşen kalsiyum silikat bağlayıcı çimento	Her HCSC'yi MTA olarak adlandırmak	MTA, HCSC ailesinin bir alt tipidir.
Biyouyumluluk	Belirli kullanımda kabul edilebilir konak yanıtı	"Toksik değil" şeklinde mutlaklaştırmak	Doz, set durumu, ekstrüzyon ve temas süresi önemlidir.

Terim	Operasyonel tanım	Sık hata	Klinik yorum
Biyoaktivite	İyonik/kimyasal etkileşim ve işlevsel arayüz oluşturma potansiyeli	Klinik başarı veya rejenerasyonla eşitlemek	Laboratuvar sonlanımı, hasta merkezli sonuç değildir.
Biyomineralizasyon	Hücre/doku aracılı mineral birikimi	PBS’de çökteltiyi doğrudan dentin köprüsü saymak	Histoloji ve uzun dönem klinik veri gerekir.
Premiks	Üretici tarafından kullanıma hazır taşıyıcı içinde sunulan materyal	Nemden bağımsız sertleştiğini varsaymak	Dentin nemi, materyal hacmi ve erişilebilir su sertleşmeyi etkiler.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Materyal kimyası, hidratasyon ve biyolojik arayüz

Bağlayıcı faz ve hidratasyon reaksiyonu

Klasik MTA tipi çimentoların temel reaktif fazları trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikattır; ürün formülasyonuna göre trikalsiyum alüminat, kalsiyum sülfat, kalsiyum karbonat, hızlandırıcılar ve farklı radyoopaklaştırıcılar bulunabilir (Camilleri et al., 2005; Darvell & Wu, 2011; Dawood et al., 2017; Parirokh & Torabinejad, 2010). Su ile temas ettiğinde kalsiyum-silikat-hidrat jel ve kalsiyum hidroksit oluşur. C-S-H fazı materyalin ana bağlayıcı matriksini oluştururken, kalsiyum hidroksit alkali pH ve kalsiyum iyon kaynağı sağlar. Reaksiyon ilk dakikalarda çözünme ve nükleasyonla başlar; mikro yapı ve mekanik özellikler günler ve haftalar boyunca olgunlaşmaya devam edebilir (Camilleri et al., 2022; Darvell & Wu, 2011).

Radyoopaklaştırıcı ve katkıların rolü

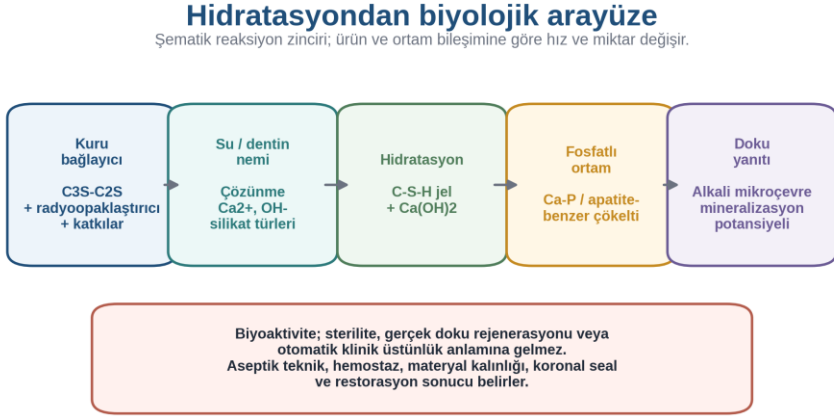
Bismut oksit yüksek radyoopasite sağlasa da kan, kollajen, ışık ve sodyum hipokloritle etkileşim altında koyulaşma potansiyeli

nedeniyle estetik bölgede önemli bir sınırlılıktır. Zirkonyum oksit, tantal oksit ve kalsiyum tungstat gibi alternatifler renk stabilitesini iyileştirebilir; ancak partikül boyutu, oran ve yüzey kimyası hidratasyon ve mekanik performansı da etkileyebilir. Kalsiyum klorür, polikarboksilatlar, kıvam düzenleyiciler ve hidrofilik polimerler çalışma süresi, akış ve yıkanma direncini değiştirir (Camilleri et al., 2022; Prasad Kumara et al., 2025; Torabinejad et al., 2018).

Fosfatlı ortamda yüzey mineralizasyonu

Kalsiyum salan set materyal fosfat içeren sıvılarla temas ettiğinde yüzeyde amorf kalsiyum fosfat ve zamanla apatite-benzer kristal birikimleri oluşabilir. Bu süreç dentin-materyal arayüzünde mikromorfolojik bir mineral tabaka ve dentin tübüllerinde tag-benzeri yapılar oluşturabilir. Ancak laboratuvar ortamında kullanılan PBS veya simüle vücut sıvısının gerçek pulpal/periapikal sıvıdan farklı olduğu, kristal çökelmenin kimyasal yapışma veya uzun dönem sızdırmazlıkla birebir eşit olmadığı unutulmamalıdır (Niu et al., 2014; Prati & Gandolfi, 2015).

Şekil 2. Hidrolik kalsiyum silikat materyallerde hidrasyondan biyolojik arayüze uzanan şematik süreç.



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 3. Başlıca materyal aileleri ve sertleşme mekanizmaları.

Materyal ailesi	Bağlayıcı / taşıyıcı	Sertleşme	Güçlü yön	Temel sınırlılık
MTA tipi toz-sıvı HCSC	Portland-türevli kalsiyum silikat + su	Hidrasyon	Uzun klinik geçmiş, iyi seal ve biyolojik yanıt	Uzun sertleşme, zor manipülasyon, renklenme
Hızlı sertleşen trikalsiyum silikat	Saflaştırılmış C ₃ S/C ₂ S + hızlandırıcı sıvı	Hızlandırılmış hidrasyon	Kısa sertleşme, restoratif kullanım kolaylığı	Yüksek maliyet; ürün-spesifik nem/örtü protokolü
Premiks putty / RRM	Kalsiyum silikat tozu + susuz/hidrofilik taşıyıcı	Çevresel suyla hidrasyon	Hazır kıvam, tamir bölgesine kontrollü yerleştirme	Su erişimine bağımlılık, kalın kütlede gecikmiş set
Toz-sıvı kalsiyum silikat sealer	Kalsiyum silikat + su bazlı likit	İç karışım sonrası hidrasyon	Daha öngörülebilir su/çimento oranı	Karıştırma hatası ve değişken kıvam

Materyal ailesi	Bağlayıcı / taşıyıcı	Sertleşme	Güçlü yön	Temel sınırlılık
Premiks kalsiyum silikat sealer	Kalsiyum silikat + susuz taşıyıcı	Dentin nemiyle hidrasyon	Kullanım kolaylığı ve yüksek akış	Nem, ısı ve büyük sealer hacmine duyarlılık
Rezin-modifiye kalsiyum silikat	Kalsiyum silikat dolgu + metakrilat rezin	Işık/dual polimerizasyon $\pm$ sınırlı hidrasyon	Hızlı kür ve kolay restorasyon	Rezidüel monomer, daha sınırlı uzun dönem dentinojenik yanıt
Kalsiyum fosfat / biyoaktif cam hibriti	Fosfat veya silikat cam fazı + çeşitli taşıyıcılar	Çözünme-çökme / polimerizasyon	İyon salımı ve yüzey mineralizasyonu potansiyeli	Klinik kanıt ve standardizasyon heterojen

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Biyolojik etkiler: potansiyel ile kanıt arasındaki sınır

Pulpa hücreleri ve tamir dentini

Set olmuş rezin içermeyen HCSC'ler uygun konsantrasyonlarda dental pulpa hücrelerinin canlılığını, göçünü ve mineralizasyonla ilişkili farklılaşmasını destekleyebilir. Alkali pH ilk dönemde yüzeyel bir koagülasyon tabakası oluştururken, kalsiyum iyonları dentin matriks sinyalleri ve hücresel yollarla birlikte reparatif dentin oluşumuna katkı sağlayabilir (Duncan et al., 2022; Prati & Gandolfi, 2015; Wang et al., 2023). Klinik açıdan materyalin biyolojik potansiyeli; tam çürük kontrolü, aseptik çalışma, hemostaz, pulpa tanısı ve erken koronal restorasyonla birlikte değerlendirilmelidir (American Association of Endodontists, 2021; Duncan et al., 2019; Duncan et al., 2022; Duncan et al., 2023).

Periodontal ve periapikal dokular

Tamir materyalinin periodontal ligament, kemik veya periapikal dokuyla temas ettiği perforasyon, apikal plug ve kök-uç dolgusu gibi durumlarda set durumundaki HCSC'ler genellikle kabul edilebilir inflamatuvar yanıt ve sement-benzeri mineralize doku oluşumuyla ilişkilidir. Buna karşın taze materyal ekstrüzyonu, yüksek hacim, sinir dokusuna yakınlık ve gecikmiş sertleşme postoperatif ağrı veya uzamış inflamasyon riskini artırabilir. “Biyouyumlu” tanımı kontrolsüz taşkınlığı güvenli kılmaz (Camilleri et al., 2022; Torabinejad et al., 2018; Wang et al., 2023).

Antimikrobiyal etki: yüksek pH yeterli midir?

Taze karışımda yüksek pH ve iyon salımı bazı planktonik bakterilere karşı inhibisyon sağlayabilir; ancak olgun endodontik biyofilmler, dentin tamponlama etkisi ve anatomik düzensizlikler bu etkiyi sınırlar. HCSC bir dezenfektan değil, enfeksiyon kontrolü sağlandıktan sonra kullanılan seal/tamir materyalidir. Persistan kanama veya eksüda varlığında materyali yerleştirmek, biyolojik özelliklerinden bağımsız olarak kontamine bir arayüz oluşturur.

Rezin-modifiye ürünler neden ayrı değerlendirilmelidir?

Işıkla veya dual kürlenene resin-modifiye kalsiyum silikat materyalleri hızlı sertleşme ve kolay adeziv restorasyon avantajı sunar. Bununla birlikte metakrilat monomerleri ve resin matriksi; iyon salımı, su alma, polimerizasyon büzülmesi ve hücresel yanıtı hidrolik çimentolardan farklılaştırır. 2026 meta-analizi kısa dönemde benzer klinik başarı bildirirse de 360 günde dentin köprüsü oluşumunun TheraCal LC ile daha düşük olduğunu göstermiştir (Cabrera-Fernández et al., 2026). Bu nedenle uzun dönem pulpa iyileşmesinin temel hedef olduğu direkt örtü ve pulpotomide resin içermeyen HCSC genellikle daha güçlü biyolojik seçimdir.

Tablo 4. Materyal bileşenlerinin biyolojik ve klinik karşılıkları.

Bileşen / özellik	Beklenen katkı	Olası risk	Klinik çıkarım
Trikalsiyum/dikalsiyum silikat	C-S-H oluşumu, Ca^{2+} ve OH^- salımı	Yetersiz su veya aşırı seyreltme ile eksik set	Uygun nem ve üretici oranı korunmalıdır.
Kalsiyum hidroksit oluşumu	Alkali pH, mineralizasyon sinyali	İlk dönemde yüzeysel sitotoksisite; dentin tamponlaması	Taze materyal hacmi ve taşkınlık sınırlandırılmalıdır.
Bismut oksit	Yüksek radyoopasite	Kan/ NaOCl /ışıkla renklenme	Anterior bölgede renk stabil alternatif seçilmelidir.
Zirkonyum/tantal oksit	Radyoopasite ve daha iyi renk stabilitesi	Formülasyona göre hidrasyon/meکانik değişiklik	Renk avantajı klinik kanıtlarla birlikte yorumlanır.
Hidrofilik taşıyıcı	Premiks kullanım ve akış	Su miktarına ve ısıya duyarlılık	Kanal ne çöl kadar kuru ne de sıvı dolu olmalıdır.
Rezin monomerleri	Işık/dual kür, erken dayanıklılık	Monomer salımı, daha düşük dentinojenik yanıt	Pulpa ile doğrudan temas endikasyonu dikkatle seçilir.
Biyoaktif cam / fosfat katkısı	İyon salımı ve apatite-benzer çökelme	Hızlı çözünme, alkali yük veya sınırlı klinik veri	Laboratuvar üstünlüğü klinik üstünlük sayılmaz.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Fizikokimyasal özellikler ve klinik anlamları

Sertleşme ve nem dengesi

Hidrolik çimentoların sertleşmesi için su gerekir; ancak “neme toleranslı” olmak “nemden bağımsız” olmak değildir. Tozsıvı sistemlerde su/çimento oranının artması poroziteyi ve

çözünürlüğü yükseltebilir. Premiks materyallerde ise kanal veya dokudan yeterli su ulaşmaması, özellikle kalın sealer kütlesi ve kuru kanal koşullarında gecikmiş veya tamamlanmamış hidrasyona yol açabilir. Buna karşılık kan veya eksüda ile aşırı kontaminasyon yüzeyi seyreltir, yıkanma riskini ve arayüz düzensizliğini artırır (Camilleri et al., 2022; Cardinali & Camilleri, 2023; Darvell & Wu, 2011).

Yıkanma, çözünürlük ve volumetrik değişim

Tamir çimentolarında erken yıkanma, özellikle perforasyon ve kök-uç dolgusunda kritik bir başarısızlık mekanizmasıdır. Kanal patlarında ise ISO gravimetrik çözünürlük testi, klinik koşullardaki volumetrik stabiliteyi her zaman tam yansıtmaz; numune geometrisi, ön sertleşme süresi ve test sıvısı sonucu önemli ölçüde değiştirir. Sistematik derlemeler bazı kalsiyum silikat patların epoksi rezin patlara göre daha yüksek kütle kaybı gösterebildiğini, ancak mikro-BT volumetrik değişimin her zaman aynı yönde olmadığını bildirmektedir (Donnermeyer et al., 2019; Silva et al., 2021; Zordan-Bronzel et al., 2019).

Akış, film kalınlığı ve radyoopasite

Akış ve düşük film kalınlığı, düzensizliklere penetrasyonu kolaylaştırır; aşırı akış ise apikal ekstrüzyon riskini artırabilir. Radyoopasite materyalin konumunu ve taşkınlığını değerlendirmek için yeterli olmalı, fakat yüksek atom numaralı radyoopaklaştırıcılar CBCT’de beam-hardening ve blooming artefaktlarını artırabilir. ISO 6876:2025, endodontik sealing materyallerini ortograd kullanım ve tamir/apiksifikasyon/retrograd kullanım bağlamında ayırır; test uyumu klinik endikasyonun bütün gereksinimlerini tek başına garanti etmez (International Organization for Standardization, 2025).

Renklenme ve estetik bölge

Renklenme; bismut oksit, kan ürünleri, sodyum hipoklorit, ışık ve materyal artıklarının pulpa odasında kalmasıyla ilişkilidir (Kahler & Rossi-Fedele, 2016; Marciano et al., 2015). Anterior dişte bismut içermeyen, renk stabil radyopaklaştırmalı materyal seçimi; kanama kontrolü; materyalin mine-sement birleşiminin apikalinde tutulması; pulpa odasının mikroskop altında tamamen temizlenmesi ve adeziv restorasyonun geciktirilmemesi temel önlemlerdir.

Isı ve sıcak obturasyon

Kalsiyum silikat patların ısıya yanıtı ürün-spesifiktir. Kısa süreli klinik ısı maruziyeti bazı “HiFlow” veya ısı-uyumlu formülasyonlarda kabul edilebilirken, uzun süreli veya yüksek sıcaklık taşıyıcı ayrışması, akış, sertleşme süresi, kimyasal yapı ve hücresel yanıtı değiştirebilir. Sıcak vertikal kompaksiyon için üreticinin ısı uyumluluğu açıkça belirtilmeyen premiks patlarda doğrudan ve uzun süreli ısı teması önerilemez (Hegde et al., 2025; La Rosa et al., 2025; Wiśniewski et al., 2025).

Şekil 3. Materyal bileşimi, ölçülebilir özellikler ve klinik sonuçlar arasındaki neden-sonuç ilişkisi.



Aynı “biyoseramik” etiketi farklı kimya ve farklı klinik davranışları gizleyebilir.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 5. Fizikokimyasal özelliklerin test ve klinik yorumu.

Özellik	Laboratuvar değerlendirmesi	Klinik risk	Pratik yorum
Sertleşme süresi	Gillmore/Vicat, nem kontrollü modeller	Erken yükte deformasyon veya yıkanma	Set doğrulanmadan restoratif yük bindirilmemelidir.
Akış / film kalınlığı	ISO akış ve film testleri	Taşkınlık veya yetersiz düzensizlik penetrasyonu	Sealer hacmi kontrollü; konuyumu önceliklidir.
Çözünürlük	Gravimetrik kütle kaybı	Uzun dönem boşluk ve yüzey erozyonu	Tek test yerine volumetrik ve klinik veri birlikte okunur.
Volumetrik değişim	Mikro-BT / profilometri	Seal kaybı veya artefaktlı yorum	Numune geometrisi ve test sıvısı belirtilmelidir.
Yıkama direnci	Akışkan altında erken yüzey stabilitesi	Perforasyon/retro-dolgunun yerinden ayrılması	Kanama ve eksüda kontrolü, yeterli kalınlık gerekir.

Özellik	Laboratuvar değerlendirmesi	Klinik risk	Pratik yorum
Radyoopasite	Alüminyum eşdeğeri	Yetersiz görünürlük veya CBCT artefaktı	Tanısal görünürlük ile artefakt dengelenir.
Renk stabilitesi	Spektrofotometri, kan/NaOCl teması	Anterior renklenme	Bismut içermeyen materyal ve oda temizliği seçilir.
Isı davranışı	Termal analiz, ısı sonrası kimya/akış	Taşıyıcı bozulması, değişmiş set	Ürün-spesifik sıcaklık ve süre sınırı uygulanır.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Materyal aileleri ve seçim mantığı

MTA tipi toz-sıvı çimentolar

MTA tipi çimentolar uzun klinik izlem, güçlü biyolojik veri ve çok yönlü kullanım açısından referans materyal konumundadır. Başlıca dezavantajlar kumlu kıvam, uzun sertleşme, erken yıkanma, zor kontrollü taşıma ve bazı formülasyonlarda renklenmedir. Karıştırma oranı göz kararı değiştirilmemeli; kuru karışım, düşük kohezyon ve aşırı sulu karışım, porozite ve yerleştirme hatası oluşturabilir (Darvell & Wu, 2011; Parirokh & Torabinejad, 2010; Torabinejad et al., 2018).

Hızlı sertleşen trikalsiyum silikat dentin ikameleri

Saflaştırılmış trikalsiyum silikat ve hızlandırıcı içeren kapsül sistemleri daha homojen karışım, kısa başlangıç seti ve restoratif işlemin aynı seansta ilerletilebilmesi avantajı sunar. Dentin-benzeri mekanik davranış iddiası materyalin bulk restoratif ikame olarak kullanımına yön vermiştir; ancak pulpa örtüsü ve tamirde gerekli minimum kalınlık, üzerine yerleştirilecek adeziv materyal ve bekleme süresi üreticiye göre farklıdır.

Premiks putty ve tamir materyalleri

Premiks putty materyalleri kıvam ve dozlama açısından özellikle mikroskop altında perforasyon, apikal plug ve kök-uç dolgusunu kolaylaştırır. Kapsül veya şırınga formu karıştırma değişkenliğini azaltır. Bununla birlikte “kullanıma hazır” olması sertleşmenin dış nemden bağımsız olduğu anlamına gelmez. Derin ve kalın materyal kütesinde su difüzyonu, kan kontaminasyonu ve yüzey kuruluğu göz önünde bulundurulmalıdır (Camilleri, 2026; Camilleri et al., 2022; Wang et al., 2023).

Rezin-modifiye kalsiyum silikatlar

Bu ürünler hızlı ışık kürlenmesi sayesinde indirekt örtü ve restoratif liner uygulamalarında pratik olabilir. Buna karşın doğrudan pulpa teması için rezin fazın biyolojik etkileri ve uzun dönem dentin köprüsü verileri daha sınırlıdır. Ürün adında “MTA” veya “kalsiyum silikat” bulunması, materyali rezin içermeyen hidrolik çimentoyla eşdeğer kılmaz (Cabrera-Fernández et al., 2026).

Kalsiyum silikat esashı kanal patları

Kanal patları, tamir çimentolarından çok daha ince film, yüksek akış ve kontrollü kanal içi kullanım için tasarlanır. Toz-sıvı ve premiks formlar; su kaynağı, taşıyıcı kimyası, radyoopaklaştırıcı ve ısı toleransı bakımından farklıdır. Tamir materyalinin kanal patı gibi veya kanal patının perforasyon tamir çimentosu gibi kullanılması, ürün endikasyonu ve fiziksel gereksinimler örtüşmüyorsa öngörülemez sonuç verir (Cardinali & Camilleri, 2023; Donnermeyer et al., 2019; Komabayashi et al., 2020).

Materyal seçiminin beş sorusu

1. Reaktif bağlayıcı faz nedir?
2. Su nereden gelecek ve set nasıl doğrulanacak?

3. Radyopaklaştırıcı ve renk riski nedir?
4. Endikasyon için gerekli kıvam, kalınlık ve yıkanma direnci var mı?
5. Klinik sonuç ve komplikasyon verisi ürünün aynı formülasyonu ile mı elde edilmiştir?

Vital pulpa tedavisinde biyoseramikler

Materyalden önce tanı, asepsi ve hemostaz

VPT başarısı yalnızca pulpa örtü materyaline indirgenemez. Preoperatif ağrı örüntüsü, perküsyon, radyografik bulgular, kök gelişim evresi, restorabilite ve çürük kontrolü birlikte değerlendirilmelidir. Rubber dam izolasyonu, dezenfekte giriş, kontamine dentinin kontrollü uzaklaştırılması ve büyütme altında pulpa değerlendirmesi zorunludur. Kanamanın makul sürede kontrol edilememesi, daha derin inflamasyon veya yetersiz doku çıkarımını düşündürür; materyal bunu maskeleyemez (American Association of Endodontists, 2021; Duncan et al., 2019; Duncan et al., 2022; Duncan et al., 2023).

Direkt pulpa örtüsü

Küçük, kontrol edilebilir ekspozlarda rezin içermeyen HCSC'ler güncel kanıtın en güçlü olduğu materyal grubudur. 2025 sistematik derleme ve meta-analizi, HCSC ile klinik-radyografik başarımın kalsiyum hidroksite göre anlamlı derecede daha yüksek olduğunu ve kanıt kesinliğinin orta düzeyde olduğunu bildirmiştir (Herbst et al., 2025). Diğer meta-analizler MTA ve Biodentine arasında belirgin bir uzun dönem üstünlük göstermemiş; her ikisinin de kalsiyum hidroksite göre daha tutarlı başarı sağladığını belirtmiştir (Komora et al., 2024; Pinto et al., 2024; Silva et al., 2025).

Parsiyel ve tam pulpotomi

Karyöz ekspozlu matür dişlerde inflamasyonun koronal pulpayla sınırlı olduğu seçilmiş vakalarda parsiyel veya tam pulpotomi, geleneksel kök kanal tedavisine biyolojik bir alternatif olabilir. Materyalin 2-3 mm homojen kalınlıkta yerleştirilmesi, yüzeyin bozulmadan sertleşmesi ve aynı seansta sızdırmaz kalıcı restorasyon kritik basamaklardır. Klinik başarıda materyal ailesi kadar preoperatif ağrı, hemostaz, operatör tekniği ve restorasyon bütünlüğü etkilidir (American Association of Endodontists, 2021; Asgary et al., 2024; Ballal et al., 2024; Duncan et al., 2023; Elmsmari et al., 2026).

Rezin-modifiye materyallerin yeri

İndirekt örtüde pulpa ile doğrudan temas olmadığı ve rezin bariyeri restoratif avantaj sağladığı için rezin-modifiye ürünler düşünülebilir. Direkt ekspozda ise 2026 verileri, kısa dönem başarı benzer olsa bile 360 günlük dentin köprüsü oluşumunun geleneksel rezin içermeyen kalsiyum silikatlara göre daha düşük olabileceğini göstermektedir (Cabrera-Fernández et al., 2026). Dolayısıyla estetik veya hız gerekçesi, uzun dönem biyolojik hedefin önüne geçmemelidir.

Şekil 4. Vital pulpa tedavisinde tanı, hemostaz ve materyal seçimini birleştiren klinik karar algoritması.



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 6. Vital pulpa tedavisinde materyal ve protokol seçimi.

Klinik durum	Tercih edilen materyal	Teknik anahtar	Kaçınılacak hata	Kanıt yorumu
Küçük mekanik/çürüksüz ekspoz	Rezin içermeyen HCSC	Dezenfeksiyon, nazik hemostaz, 2-3 mm tabaka	Kontamine pulpayı doğrudan örtmek	Yüksek başarı; vaka seçimi belirleyici
Karyöz ekspoz + reversibl bulgular	MTA tipi veya hızlı set HCSC	Tam çürük kontrolü, hemostaz, kalıcı restorasyon	Ca(OH) ₂ ile uzun dönem seal beklemek	HCSC, Ca(OH) ₂ 'den üstün; MTA-Biodentine farkı küçük
Parsiyel pulpotomi	Rezin içermeyen HCSC	İnflame dokuyu kaldır, sağlıklı kanama düzeyine ulaş	Kanama süresini tek tanı testi yapmak	Seçilmiş matür dişlerde destekleyici klinik kanıt

Klinik durum	Tercih edilen materyal	Teknik anahtar	Kaçınılacak hata	Kanıt yorumu
Tam pulpotomi	Yeterli kalınlıkta HCSC	Orifisleri homojen kapat, koronal seal	Materyali ince smear tabakası gibi bırakmak	Klinik başarı yüksek olabilir; takip zorunlu
İndirekt örtü / liner	HCSC, GİS/RMGİS veya seçilmiş rezin-modifiye ürün	Kalan dentini koru, iyi restorasyon	Her derin kavitede kalın liner kullanmak	Materyalden çok selektif çürük uzaklaştırma ve seal önemlidir
Estetik anterior bölge	Bismut içermeyen renk stabil HCSC	Oda temizliği ve materyal seviyesini kontrol et	Kanla kontamine bismut içeren materyal	Renk riski ürün ve protokole bağlı

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Tamir, apikal bariyer ve cerrahi uygulamalar

Perforasyon tamiri

Perforasyon prognozu; lokalizasyon, boyut, kontaminasyon süresi, periodontal iletişim, kanama kontrolü ve koronal seal ile belirlenir. HCSC’ler nemli ortamda sertleşme ve periodontal dokularla kabul edilebilir biyolojik etkileşim nedeniyle furkal ve lateral perforasyonlarda birinci seçenekler arasındadır. Erken tamir, mikroskopik görüş, sodyum hipoklorit taşırmadan dezenfeksiyon, internal matris gereksiniminin değerlendirilmesi ve 3-4 mm materyal kalınlığı başarıyı artırır (Lee et al., 1993; Siew et al., 2015).

İnternal ve eksternal rezorpsiyon

Perfore internal rezorpsiyonda düzensiz boşluk ve periodontal iletişim, akışkan fakat yıkanmaya dirençli bir tamir

materyali gerektirir. Aktif eksternal servikal rezorpsiyonda cerrahi erişim, granülasyon dokusunun uzaklaştırılması ve restoratif materyal seçimi lezyonun konumuna göre planlanır; HCSC subgingival ve pulpal iletişimli alanlarda biyolojik avantaj sağlayabilir. Ancak estetik servikal bölgede renk ve yüzey bitirme gereksinimi dikkate alınmalıdır.

Apikal plug ve apeksifikasyon

Nekrotik, kök gelişimi tamamlanmamış daimi dişte rejeneratif tedavi uygun değilse veya biyolojik kök matürasyonu beklenmiyorsa 3-5 mm HCSC apikal plug kısa ve kontrollü bir bariyer sağlar. Materyal apikalden taşırılmamalı; uygun matriks, plugger ve mikroskop kullanımıyla kalınlık radyografik olarak doğrulanmalıdır. Uzun dönem kök kırığı riskinin esas belirleyicisi ince kök duvarları olduğundan, koronal adeziv güçlendirme ve travmadan korunma planın parçasıdır (Asgary et al., 2024; Torabinejad et al., 2018).

Rejeneratif endodontide koronal bariyer

Kan pıhtısı veya otolog scaffold üzerine yerleştirilen 3-4 mm kalsiyum silikat bariyer, yeni oluşan dokuyu oral mikrofloradan izole eder. Pıhtının mine-sement birleşiminin 2-3 mm altında stabilize edilmesi, kollajen matriksle desteklenmesi, aşırı kondensasyondan kaçınılması ve anterior bölgede renk stabil materyal seçimi önemlidir (American Association of Endodontists, 2022; Galler et al., 2016).

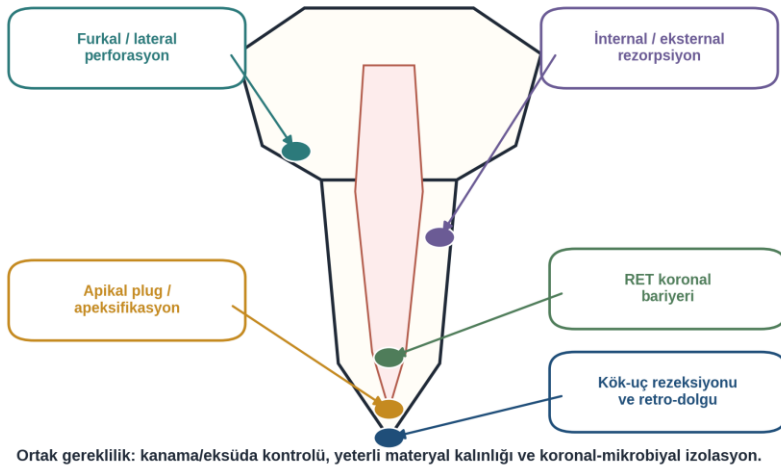
Kök-uç dolgusu ve endodontik mikrocerrahi

Kök-uç kavitesinde materyalin adaptasyonu, kanama kontrolü ve yüzey nemi başarı için kritiktir. MTA uzun dönem referans materyaldir; premiks putty materyalleri daha kolay taşıma ve kısa operasyon süresi sağlayabilir. 2025 sistematik derlemeleri yeni biyoseramiklerin MTA'ya göre anlamlı klinik üstünlüğünü

göstermemiş, ancak benzer başarı ve daha iyi manipülasyon olasılığı bildirmiştir (Barnaba et al., 2025; Ibáñez-Aravena et al., 2025; Koutroulis et al., 2024; Torabinejad et al., 1993).

Şekil 5. Hidrolik kalsiyum silikat tamir materyallerinin başlıca anatomik kullanım alanları.

Endodontik tamir materyallerinin anatomik kullanım alanları



Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 7. Tamir ve cerrahi endikasyonlarda materyal seçimi.

Endikasyon	Öncelikli materyal özelliği	Önerilen yaklaşım	Başlıca risk
Furkal perforasyon	Yıkanma direnci, kıvam, kısa set	Erken dezenfeksiyon + matriks gerekirse + 3-4 mm HCSC	Periodontal kontaminasyon ve epitel migrasyonu
Lateral perforasyon	Kontrollü taşıma ve radyoopasite	Mikroskop, ultrasonik temizleme, aşırı kondensasyondan kaçınma	Taşkınlık ve kök yüzeyi hasarı

Endikasyon	Öncelikli materyal özelliği	Önerilen yaklaşım	Başlıca risk
Perfore internal rezorpsiyon	Akış-adaptasyon ile stabilite dengesi	Apikal/koronal GP + defekte HCSC veya hibrit dolgu	Düzensiz boşlukta void ve aşırı materyal
Apikal plug	Kalın kütlede set ve yerleştirme kontrolü	3-5 mm plug, matriks ve radyografik doğrulama	Ekstrüzyon veya yetersiz kalınlık
RET bariyeri	Biyouyumluluk ve renk stabilitesi	Pıhtı üstünde 3-4 mm bariyer + adeziv koronal seal	Pıhtı çökmesi, renklenme, sızıntı
Kök-uç dolgusu	Kanlı ortamda stabilite ve manipülasyon	3 mm retro-kavite, hemostaz, MTA/putty yerleştirme	Yüzey kontaminasyonu ve void

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Kalsiyum silikat esaslı kanal patları ve ortograd obturasyon

Sealer kimyasını okumak

Kalsiyum silikat esaslı patlar toz-sıvı veya premiks formda olabilir; bazı ürünler gerçek hidrolik bağlayıcı içerirken bazıları rezin veya silikon matriks içinde biyoaktif dolgu taşır. Bu ayrım sertleşme, çözünürlük, ısı davranışı ve yeniden tedavi stratejisini belirler. Güncel sealer seçimi yalnız “biyoseramik” etiketine değil, kimyasal bileşim ve endikasyon-özümlü klinik veriye dayanmalıdır (Cardinali & Camilleri, 2023; Donnermeyer et al., 2019; Komabayashi et al., 2020).

Hidrolik tek kon tekniği ve “monoblok” yanılığı

Tek kon tekniğinde kanal preparasyonu ile uyumlu gutta-perka kon, sealer için bir taşıyıcı ve hacim azaltıcı görevi görür. Başarı, apikal kon uyumu, tam çalışma boyu, irrigasyon kalitesi ve koronal seal ile ilişkilidir. Sealer-dentin ve sealer-gutta-perka arayüzlerinde kusursuz kimyasal bütünlük kanıtlanmadığı için gerçek “monoblok” ifadesi kullanılmamalıdır. Kalın sealer kütlesi, hidrolik tek kon tekniğinin hedefi değil, preparasyon veya kon

uyumsuzluğunun göstergesi olabilir (Cardinali & Camilleri, 2023; Chybowski et al., 2018; Kim et al., 2022; Sabeti et al., 2024).

Kanal nemi ve final irrigasyon

Premiks patın seti için dentin nemi gerekir; fakat kanal içinde sıvı göllenmesi patın seyreltmesine, akış ve ekstrüzyon artışına yol açabilir. Final irrigasyon sonrası kağıt konlarla kanalın görünür sıvıdan arındırılması, duvarlarda mikroskopik nem bırakılması pratik bir dengedir. Alkolle aşırı kurutma veya uzun süreli sıcak hava kullanımı su erişimini azaltabilir. Üretici talimatı ve ürünün toz-sıvı/premiks yapısı göz önünde bulundurulmalıdır.

Taşkınlık ve postoperatif ağrı

Kalsiyum silikat patlar set sonrası genellikle iyi biyolojik profil gösterse de taşkınlık; inferior alveoler kanal, mental foramen veya maksiller sinüse yakın bölgelerde klinik olarak önemlidir. Yüksek akış, aşırı sealer hacmi, apikal genişletme ve pompalama hareketleri ekstrüzyon riskini artırır. Güncel meta-analizler postoperatif ağrı açısından kalsiyum silikat ve epoksi rezin patlar arasında tutarlı büyük fark göstermemektedir (Hegde et al., 2025; Sabeti et al., 2024).

Sıcak obturasyon

Sıcak vertikal kompaksiyon veya taşıyıcılı teknik kullanılacaksa patın ısı uyumluluğu ürün-spesifik olarak doğrulanmalıdır. Klinik uygulamada kısa süreli ısı teması, laboratuvar cihazında dakikalarca sabit yüksek sıcaklık maruziyetinden farklıdır. Yine de akış, sertleşme ve biyolojik özellikleri değişebileceğinden ısı kaynağı pat kütlesi üzerinde uzun süre tutulmamalı; üreticinin önerdiği sıcaklık sınırları aşılmamalıdır (Hegde et al., 2025; La Rosa et al., 2025; Wiśniewski et al., 2025).

Yeniden tedavi edilebilirlik

Kalsiyum silikat patlarla doldurulmuş kanallar yeniden tedavi edilebilir; ancak apikal çalışma boyuna yeniden ulaşmak ve isthmus/tübüllerdeki rezidüel materyali uzaklaştırmak zor olabilir. Döner/reciproc sistemler, ultrasonik aktivasyon, çözücülerin sınırlı yardımı ve tamamlayıcı finisher sistemler materyal uzaklaştırmayı artırabilir; hiçbir yöntem kanal duvarlarını tamamen temizlemeyi garanti etmez (Bukhary, 2024). Post gereksinimi veya retreatment olasılığı yüksek vakada sealer miktarı ve obturasyon tekniği baştan planlanmalıdır.

Şekil 6. Kalsiyum silikat esaslı sealer ile hidrolik tek kon obturasyonunun güvenli klinik akışı.

Kalsiyum silikat sealer ile hidrolik tek kon tekniği

Amaç kalın sealer kütleli değil; uyumlu ana kon, kontrollü sealer hacmi ve tam çalışma boyudur.



Klinik uyarı: "monoblok" iddiası kanıtlanmış bir biyomekanik sonuç değildir.
Isı kullanımı ürün-spesifik olmalıdır.
Retreatment ve post boşluğu gereksinimi baştan planlanmalıdır.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 8. Kalsiyum silikat esaslı kanal patlarında klinik karar noktaları.

Karar noktası	Uygun yaklaşım	Riskli yaklaşım	Kanıt/yorum
---------------	----------------	-----------------	-------------

Karar noktası	Uygun yaklaşım	Riskli yaklaşım	Kanıt/yorum
Kanal kuruluğu	Görünür sıvıyı kağıt konla uzaklaştır, dentin nemini koru	Alkolle aşırı kurutma veya sıvı dolu kanal	Premiks seti nem bağımlıdır; optimum nem ürün-spesifikdir.
Ana kon	Preparasyon taperiyle uyumlu, apikal stop ve çalışma boyu	Sealer boşluğu doldursun diye gevşek kon	Sealer hacmi arttıkça çözünme/void riski artabilir.
Sealer miktarı	İnce, kontrollü ve homojen tabaka	Kanalı şırıngayla basınç altında doldurmak	Ekstrüzyon ve kalın kütlede eksik set riski.
Isı	Isı-uyumlu ürün ve kısa kontrollü temas	Ürün verisi olmadan uzun yüksek ısı	Kimya, akış ve sitotoksosite değişebilir.
Ekstrüzyon	Apikal kontrol, yavaş yerleştirme, anatomik risk değerlendirmesi	Açık apeks veya sinire yakın vakada yüksek basınç	Biyouyumluluk nörovasküler taşkınlığı güvenli kılmaz.
Retreatment	Mekanik + ultrasonik/finisher kombinasyonu	“Sökülemez” veya “tamamen çözünür” varsayımı	Çalışma boyuna ulaşılabilir; rezidüel materyal sık kalır.
Post boşluğu	Gereksinimi tedavi öncesi planla, koronal bölgeyi erken düzenle	Tam sertleşmiş patı agresif kazımak	Kök zayıflaması ve adeziv kontaminasyon önlenir.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Adeziv ve restoratif etkileşimler

Pulpa odası ve dentin yüzeyinin temizliği

HCSC artıkları fosforik asit, primer ve rezin infiltrasyonunu etkileyebilir. Pulpa odasında kalan pat veya tamir çimentosu restoratif marjini, renk stabilitesini ve bağlanmayı olumsuz etkiler. Materyal endikasyon kalınlığında yerleştirildikten sonra çevre dentin nemli pamuk pelet, mikrobrush ve gerektiğinde kontrollü

ultrasonik temizleme ile arındırılmalıdır. Materyal yüzeyinin kazınması veya henüz set olmadan agresif asitleme arayüzü bozabilir.

Restorasyon zamanı

Aynı seans restorasyonun mümkün olup olmadığı kullanılan çimentonun başlangıç seti ve yüzey stabilitesine bağlıdır. Hızlı set materyaller genellikle kısa bekleme sonrası adeziv restorasyona izin verirken, klasik MTA'da nemli geçici restorasyon ve ikinci seans gerekebilir. “Üretici tarafından bildirilen set süresi” klinik olarak tüm kütlenin olgunlaştığı anlamına gelmez; yüzey basıncına dayanıklılık ve izolasyon ayrıca kontrol edilmelidir.

Post ve koronal güçlendirme planı

Kalsiyum silikat sealer veya apikal plug kullanılan dişte ileride post boşluğu açılacaksa koronal materyal dağılımı önceden planlanmalıdır. Dentin tübüllerinde sealer kalıntısı, rezin siman bağlanmasını etkileyebilir; post boşluğu hazırlama ve yüzey temizleme protokolü kullanılan sealer ve adeziv sisteme göre uyarlanmalıdır. İmmatür dişlerde radiküler posttan kaçınmak ve servikal dentini adeziv restorasyonla korumak çoğu zaman daha güvenlidir.

Komplikasyonlar ve başarısızlık yönetimi

Gecikmiş sertleşme veya yıkanma

Materyal yüzeyi kontrolde yumuşaksa nem yetersizliği, aşırı sıvı, kan kontaminasyonu, hatalı karışım oranı veya ürünün son kullanma/saklama sorunu düşünülmelidir. Stabil olmayan materyal üzerine kalıcı restorasyon yapılmamalı; kontamine kütle kontrollü biçimde uzaklaştırılıp bölge yeniden hazırlanmalıdır.

Renklenme

Renklenme enfeksiyon belirtisi değilse iç beyazlatma veya restoratif kamuflej düşünülebilir; ancak önce koronal seal, materyal seviyesi ve periapikal durum değerlendirilmelidir. Önleme, tedaviden daha öngörülebilirdir: bismut içermeyen materyal, iyi hemostaz ve oda temizliği seçilmelidir (Kahler & Rossi-Fedele, 2016; Marciano et al., 2015).

Ekstrüzyon ve nörosensöryel risk

Küçük, asemptomatik apikal sealer taşkınlıkları klinik takip edilebilir. Şiddetli ağrı, parestezi, anestezi veya motor bulgu varsa acil nörosensöryel değerlendirme, CBCT ve gerekirse cerrahi konsültasyon gerekir. Biyoseramik materyalin “doku dostu” olması inferior alveoler sinir kanalındaki basınç ve kimyasal irritasyon riskini ortadan kaldırmaz.

Persistan hastalık ve yeniden girişim

Persistan apikal periodontitis materyal başarısızlığından çok rezidüel/enfekte kanal anatomisi, koronal sızıntı, kırık veya ekstraradiküler enfeksiyonla ilişkili olabilir. Tanı, obturasyon tekniği ve sealer tipinden bağımsız olarak yeniden yapılmalı; ortograd retreatment, cerrahi endodonti veya çekim hasta ve diş prognozuyla birlikte planlanmalıdır.

Tablo 9. Başlıca komplikasyonlar, nedenler ve yönetim.

Komplikasyon	Olası neden	Önleme	Yönetim
Gecikmiş/eksik set	Yetersiz su, aşırı sıvı, hatalı oran, kalın kütle	Üretici oranı, kontrollü nem, set kontrolü	Stabil olmayan materyali uzaklaştır ve yeniden yerleştir.
Yıkanma / yüzey erozyonu	Kanama, eksüda, erken restoratif yük	Hemostaz, yeterli kalınlık, koruma	Kontamine yüzeyi temizle; gerekirse tamiri yenile.

Komplikasyon	Olası neden	Önleme	Yönetim
Renklenme	Bismut oksit, kan, NaOCl, oda artığı	Renk stabil materyal, düşük materyal seviyesi, temizlik	Enfeksiyonu dışla; beyazlatma/restoratif tedavi.
Sealer ekstrüzyonu	Aşırı hacim, geniş apeks, pompalama	Ana kon uyumu, düşük basınç, apikal risk analizi	Semptomsuzsa takip; nörolojik bulguda acil değerlendirme.
Postoperatif ağrı	Debris/sealer ekstrüzyonu, oklüzyon, inflamasyon	Çalışma boyu ve irrigasyon kontrolü	Analjezi, oklüzal kontrol; persistan bulguda yeniden tanı.
Retreatment güçlüğü	Set sealer, isthmus/tübül kalıntısı	Sealer hacmini azalt, post planını önceden yap	Mekanik + ultrasonik/finisher; çalışma boyunu doğrula.
Adeziv başarısızlık	Pulpa odasında çimento/sealer kontaminasyonu	Mikroskopik temizlik ve uygun restorasyon zamanı	Yüzeyi yeniden hazırla, kontamine restorasyonu yenile.
Persistan apikal hastalık	Rezidüel enfeksiyon, sızıntı, kırık	Aseptik tedavi ve koronal seal	Retreatment, cerrahi veya çekim seçeneklerini değerlendir.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Güncel kanıtların eleştirel sentezi

2026 itibarıyla en güçlü klinik kanıt vital pulpa tedavisinde rezin içermeyen HCSC'lerin kalsiyum hidroksite göre daha yüksek ve daha tutarlı başarı sağlamasıdır. MTA ve Biodentine gibi başlıca HCSC'ler arasında klinik farklar çoğu analizde küçük ve belirsizdir; seçim daha çok sertleşme, renk, manipülasyon ve restoratif akışa göre yapılır (Elmsmari et al., 2026; Herbst et al., 2025; Komora et al., 2024; Pinto et al., 2024; Silva et al., 2025). Resin-modifiye materyaller kısa dönemde kabul edilebilir sonuç

gösterebilse de uzun dönem dentin köprüsü verisi geleneksel HCSC lehinedir (Cabrera-Fernández et al., 2026).

Perforasyon, apikal plug, RET bariyeri ve kök-uç dolgusunda MTA ve yeni putty materyalleri yüksek klinik başarı sağlayabilir. Bununla birlikte karşılaştırmalı çalışmalar ürün, vaka ve takip açısından heterojendir. Endodontik mikrocerrahide 2025 meta-analizi, yeni biyoseramiklerin MTA'ya anlamlı üstünlüğünü göstermemiştir; manipülasyon kolaylığı klinik tercihi etkileyebilir (Barnaba et al., 2025; Ibáñez-Aravena et al., 2025; Koutroulis et al., 2024).

Kalsiyum silikat esaslı sealer ile tek kon obturasyonu için mevcut klinik çalışmalar kabul edilebilir iyileşme ve sağkalım bildirmektedir. 2024 sistematik derlemesi başarısızlık oranlarının geleneksel tekniklerle karşılaştırılabilir olduğunu, ancak çalışma sayısı ve takip süresinin sınırlı olduğunu göstermiştir (Chybowski et al., 2018; Kim et al., 2022; Sabeti et al., 2024). Postoperatif ağrı açısından belirgin ve tutarlı üstünlük yoktur (Hegde et al., 2025). Laboratuvar çalışmalarında daha iyi hücre uyumu, kalsiyum salımı veya apatite-benzer çökelti gösterilmesi, epoksi rezin patlara uzun dönem klinik üstünlük kanıtı değildir (Malta et al., 2024; Piscopo et al., 2026; Silva et al., 2021).

Yeniden tedavi edilebilirlik konusunda “imkânsız” ve “sorunsuz” uçlarının ikisi de yanlıştır. Çalışma boyuna yeniden ulaşmak çoğu vakada mümkündür; ancak mikro-BT çalışmalarında rezidüel materyal bütün sistemlerde kalmaktadır (Bukhary, 2024). Bu nedenle materyal seçimi gelecekteki retreatment, post ve cerrahi gereksinimini de içeren yaşam döngüsü yaklaşımıyla yapılmalıdır.

Şekil 7. 2026 itibarıyla biyoseramik ve biyoaktif endodontik materyaller için kanıt haritası.

GÜÇLÜ / TUTARLI MESAJ	OLASI / BAĞLAMA BAĞLI	KANITLANMAMIŞ GENELLEME
Rezin içermeyen HCSC, DPC'de Ca(OH)_2'den daha başarılıdır. Tamir ve kök-uç materyali olarak güvenilir klinik sonuçlar sağlayabilir. Premiks pat + tek kon, uygun protokolde uygulanabilir.	MTA, Biodentine ve yeni putty materyalleri arasında üstünlük bağlama bağlıdır. Sıcak obtürasyon yalnızca ısı-uyumlu ürünlerde kabul edilebilir. Ekstrüzyon ve rezidüel materyalin önemi vakaya göre değişir.	Tüm "biyoseramikler" birbirine eşdeğerdir. Bioaktivite otomatik olarak daha yüksek klinik başarı sağlar. Tek kon gerçek monobloktur. Retreatment imkânsızdır.

Karar ilkesi: ürün etiketi değil, kimya + endikasyon + operasyonel protokol + takip kanıtı.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için özgün olarak hazırlanmıştır.

Tablo 10. 2026 itibarıyla klinik sorulara kanıta dayalı yanıtlar.

Klinik soru	En güvenilir güncel sonuç	Belirsizlik / araştırma gereksinimi
DPC'de HCSC, Ca(OH)_2 'den üstün mü?	Evet. Klinik-radyografik başarı HCSC ile daha yüksektir; orta kesinlikte kanıt.	Hasta bildirimi sonuçları ve tanı alt grupları.
MTA mı Biodentine mi?	Her ikisi de yüksek başarı sağlar; belirgin evrensel üstünlük yoktur.	Uzun dönem, standart tanı ve restorasyon protokolleri.
Rezin-modifiye materyal pulpa temasında eşdeğer mi?	Kısa dönem benzer olabilir; 360 günde dentin köprüsü geleneksel HCSC lehine.	Ürün-spesifik uzun dönem RCT ve histoloji.
Yeni putty materyalleri MTA'dan üstün mü?	Tamir ve mikrocerrahide benzer başarı; üstünlük gösterilmemiştir.	Formülasyon-özgü uzun dönem ve advers olay verisi.

Klinik soru	En güvenilir güncel sonuç	Belirsizlik / araştırma gereksinimi
CS sealer, epoksi sealerden daha başarılı mı?	Klinik sonuçlar çoğunlukla karşılaştırılabilir; evrensel üstünlük kanıtlanmamıştır.	5+ yıllık RCT, standardize retreatment ve diş sağkalımı.
Tek kon monoblok oluşturur mu?	Hayır; kusursuz tek fazlı arayüz kanıtlanmamıştır.	İn vivo arayüz ve kırılma/sağkalım ilişkisi.
Sıcak obtürasyon güvenli mi?	Bazı ısı-uyumlu ürünlerde klinik aralıkta uygulanabilir.	Sıcaklık-süre standardı ve formülasyon değişiklikleri.
Retreatment mümkün mü?	Evet; ancak rezidüel materyal ve apikal erişim güçlüğü olabilir.	Klinik zaman, başarı ve sinir/diş riski sonuçları.

Kaynak: Yazar tarafından bu bölüm için oluşturulmuştur.

Gelecek yönelimler

Daha kontrollü iyon salımı ve antimikrobiyal fonksiyon

Yeni nesil çimentoların hedefi, ilk saatlerde yüksek antimikrobiyal etkiyi uzun dönem hücre uyumu ve mekanik stabiliteyle birleştirmektir. Gümüş, bizmut, çinko, stronsiyum ve bioaktif cam katkıları antibakteriyel veya osteojenik potansiyel sunabilir; ancak iyon dozu arttıkça renklenme, sitotoksisite ve hidrasyon bozukluğu riski doğar. “Daha fazla iyon salımı” her zaman daha iyi klinik materyal anlamına gelmez (Drukteinis et al., 2024; Prasad Kumara et al., 2025).

Akıllı ve enjekte edilebilir tamir sistemleri

Şırınga ile kontrollü dozlanan, kesme incilmesi gösteren, kanlı ortamda kohezyonunu koruyan ve erken yıkanmaya dirençli putty sistemleri düzensiz perforasyon ve rezorpsiyon defektlerinde avantaj sağlayabilir. Fotodinamik veya enzim-duyarlı antibakteriyel bileşenler, büyüme faktörü bağlayan yüzeyler ve hücre-dostu immünomodülatör katkılar prelinik araştırmanın başlıca yönleridir.

Klinik gerçeklięi taklit eden standardizasyon

Gelecek materyal testleri yalnız ISO diskleri ve PBS daldırma deneyleriyle sınırlı kalmamalıdır. Dentin basıncı, kan/protein kontaminasyonu, farklı nem düzeyleri, klinik materyal kalınlığı, termal döngü, irrigant artıkları ve restoratif yük birlikte modellenmelidir. Formülasyon değişiklikleri açıkça raporlanmalı; aynı ticari adın farklı lot ve jenerasyonları ayrı değerlendirilmelidir (Camilleri, 2026; Camilleri et al., 2022; International Organization for Standardization, 2025).

Uzun dönem hasta merkezli sonuçlar

Laboratuvar bioaktivitesi yerine ağrı, fonksiyon, diş sağkalımı, renk, retreatment gereksinimi, restorasyon başarısı ve maliyet-etkililik gibi sonuçlar öncelenmelidir. Özellikle sealer çalışmalarında beş yıl ve üzeri takip, kör radyografik değerlendirme, standardize apikal iyileşme ölçütleri ve ekstrüzyon/advers olayların zorunlu raporlanması gereklidir.

Klinik uygulama özeti

Aşağıdaki kontrol listesi, ticari ürün isminden bağımsız olarak biyoseramik veya biyoaktif materyal kullanmadan önce klinik gereksinimlerin doğrulanmasını amaçlar.

- Endikasyonu tanımla: pulpa teması, tamir, apikal bariyer, cerrahi kök-uç veya kanal sealer uygulaması aynı materyal gereksinimlerine sahip değildir.
- Kimyayı doğrula: bağlayıcı faz, taşıyıcı, radyopaklaştırıcı, rezin varlığı, su kaynağı ve ısı uyumluluğu okunmalıdır.
- Alanı hazırla: rubber dam, asepsi, hemostaz/eksüda kontrolü, büyütme ve materyal taşıma yolu sağlanmalıdır.

- Kalınlık ve kıvamı kontrol et: tamir çimentosu yeterli bulкта; kanal sealerı ise mümkün olan en ince kontrollü tabakada kullanılmalıdır.
- Sertleşmeyi koru: aşırı kuruluk, sıvı göllenmesi, erken yıkama ve restoratif yükten kaçınılmalıdır.
- Koronal sealı tamamla: pulpa odası temizlenmeli, uygun bekleme sonrası adeziv/restoratif kapatma yapılmalıdır.
- Komplikasyon planı yap: renklenme, taşkınlık, retreatment ve post gereksinimi tedavi öncesi düşünölmelidir.
- Takibi standardize et: klinik semptom, restorasyon bütönlüğü ve periapikal iyileşme başlangıç kayıtlarıyla karşılaştırılmalıdır.

Tedaviyi durdurup yeniden değeriendirmeyi gerektiren kırmızı bayraklar

- Kontrol edilemeyen kanama veya eksüda.
- güvenli izolasyonun sağlanamaması.
- materyalin periradiköler veya nörovasköler alana kontrolsüz taşma riski.
- çalışma boyu ve apikal stop belirsizliğı.
- set olmamış/yıkanmış materyal.
- pulpa odasında geniş materyal kontaminasyonu.
- restore edilemez diş veya şüpheli vertikal kök kırığı.

Sonuç

Biyoseramik ve biyoaktif materyaller, endodontide yalnızca yeni ürünler değil, tedavinin biyolojik hedeflerini değıştiren bir

materyal platformudur. Hidrolik kalsiyum silikat çimentoların nemli ortamda sertleşmesi, kalsiyum salımı, alkali pH ve mineralizasyonla ilişkili arayüz oluşturma potansiyeli; vital pulpa tedavisi, perforasyon ve rezorpsiyon tamiri, apikal plug, rejeneratif bariyer ve kök-uç dolgusunda güçlü klinik avantajlar sağlamıştır. Bununla birlikte bu aile içinde bağlayıcı faz, radyoopaklaştırıcı, taşıyıcı, katkılar ve rezin içeriği belirgin farklılık gösterir. Bu nedenle tüm ürünleri “biyoseramik” başlığı altında eşdeğer kabul etmek bilimsel ve klinik olarak doğru değildir.

2026 kanıtı, vital pulpa tedavisinde rezin içermeyen HCSC’lerin kalsiyum hidroksite üstünlüğünü desteklemekte; MTA ve hızlı sertleşen trikalsiyum silikat materyalleri arasında evrensel bir kazanan göstermemektedir. Tamir ve mikrocerrahide yeni putty materyalleri MTA’ya benzer başarı sağlayabilir, fakat üstünlük kanıtı sınırlıdır. Kalsiyum silikat kanal patları ve hidrolik tek kon tekniği klinik olarak geçerli seçeneklerdir; ancak “monoblok”, otomatik rejenerasyon, düşük ağrı ve epoksi patlara kesin üstünlük gibi genellemelerden kaçınılmalıdır.

En öngörülebilir yaklaşım; doğru tanı, asepsi, hemostaz, ürün kimyasının okunması, kontrollü nem, yeterli veya minimal materyal hacminin endikasyona göre ayarlanması, sertleşmenin korunması, koronal sızdırmazlık ve uzun dönem takibi tek bir klinik sistem olarak uygulamaktır. Biyoseramik materyalin değeri, yalnızca “bioaktif” etiketiyle değil, doğru yerde ve doğru protokolle oluşturduğu ölçülebilir hasta yararıyla belirlenmelidir.

Klinik olarak akılda tutulması gerekenler

“Biyoseramik” bir kimyasal sınıf değil, geniş bir üst terimdir. Vital pulpa ile doğrudan temasta rezin içermeyen hidrolik kalsiyum silikatlar önceliklidir. Tamir çimentolarında hemostaz, yıkanma direnci ve yeterli kalınlık; kanal patlarında ise uyumlu ana kon, düşük sealer hacmi, kontrollü nem ve ürün-spesifik ısı

protokolü esastır. Bioaktivite enfeksiyon kontrolünün, koronal sealın veya uzun dönem takibin yerini tutmaz.

Kaynakça/References

- American Association of Endodontists (2021). AAE position statement on vital pulp therapy. *Journal of Endodontics*, 47(9), 1340-1344.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.07.015>
- American Association of Endodontists (2022). *AAE clinical considerations for a regenerative procedure*. (Revised November 2022).
- Asgary, S., Roghanizadeh, L., Eghbal, M. J., Akbarzadeh Baghban, A., Aminoshariae, A., & Nosrat, A. (2024). Outcomes and predictive factors of vital pulp therapy in a large-scale retrospective cohort study over 10 years. *Scientific Reports*, 14, 2063. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52654-8>
- Asgary, S., Shamszadeh, S., Nosrat, A., Aminoshariae, A., & Sabeti, M. (2024). Management strategies for immature teeth with pulp necrosis: an umbrella review of systematic reviews. *Iranian Endodontic Journal*, 19(4), 242-253.
<https://doi.org/10.22037/iej.v19i4.46292>
- Ballal, N. V., Duncan, H. F., Wiedemeier, D. B., Rai, N., Jalan, P., Bhat, V., et al. (2024). 4-year pulp survival in a randomized trial on direct pulp capping. *Journal of Endodontics*, 50(1), 4-9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.10.008>
- Barnaba, P., Rosa, A., Gargari, M., & Martelli, M. (2025). The use of bioceramics in retrograde apicectomy: a systematic review of clinical applications and outcomes. *Australian Endodontic Journal*, 51(2), 431-437.
<https://doi.org/10.1111/aej.12960>
- Bukhary, S. M. (2024). Retreatability of calcium silicate-based sealers based on micro-computed tomographic evaluation: a systematic review. *The Saudi Dental Journal*, 36(10), 1278-1294. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2024.09.011>

- Cabrera-Fernández, A., Dominguez-Dominguez, L., Pérez-Pérez, A., Santos, J. M. M., Díaz-Cuenca, A., Torres-Lagares, D., et al. (2026). Clinical and radiographic outcomes of vital pulp therapy using resin-modified versus conventional calcium silicate-based materials: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Functional Biomaterials*, 17(1), 32. <https://doi.org/10.3390/jfb17010032>
- Camilleri, J. (2020). Classification of hydraulic cements used in dentistry. *Frontiers in Dental Medicine*, 1, 9. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2020.00009>
- Camilleri, J. (2026). An updated classification of hydraulic cements used in dentistry. *International Endodontic Journal*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/iej.70180>
- Camilleri, J., Atmeh, A., Li, X., & Meschi, N. (2022). Present status and future directions: hydraulic materials for endodontic use. *International Endodontic Journal*, 55(Suppl 3), 710-777. <https://doi.org/10.1111/iej.13709>
- Camilleri, J., Montesin, F. E., Brady, K., Sweeney, R., Curtis, R. V., & Ford, T. R. P. (2005). The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dental Materials*, 21(4), 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.05.010>
- Cardinali, F., & Camilleri, J. (2023). A critical review of the material properties guiding the clinician's choice of root canal sealers. *Clinical Oral Investigations*, 27(8), 4147-4155. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05140-w>
- Chybowski, E. A., Glickman, G. N., Patel, Y., Fleury, A., Solomon, E., & He, J. (2018). Clinical outcome of non-surgical root canal treatment using a single-cone technique with Endosequence bioceramic sealer: a retrospective analysis. *Journal of Endodontics*, 44(6), 941-945. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.02.019>

- Darvell, B. W., & Wu, R. C. T. (2011). "MTA" - an hydraulic silicate cement: review update and setting reaction. *Dental Materials*, 27(5), 407-422.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.02.001>
- Dawood, A. E., Parashos, P., Wong, R. H. K., Reynolds, E. C., & Manton, D. J. (2017). Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 8(2), e12195.
<https://doi.org/10.1111/jicd.12195>
- Dong, X., & Xu, X. (2023). Bioceramics in endodontics: updates and future perspectives. *Bioengineering*, 10(3), 354.
<https://doi.org/10.3390/bioengineering10030354>
- Donnermeyer, D., Bürklein, S., Dammaschke, T., & Schäfer, E. (2019). Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology*, 107(4), 421-436.
<https://doi.org/10.1007/s10266-018-0400-3>
- Drukteinis, S., Rajasekharan, S., & Widbiller, M. (2024). Advanced materials for clinical endodontic applications: current status and future directions. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(2), 31. <https://doi.org/10.3390/jfb15020031>
- Duncan, H. F., El-Karim, I., Dummer, P. M. H., Whitworth, J., & Nagendrababu, V. (2022). Present status and future directions - vital pulp treatment and pulp preservation strategies. *International Endodontic Journal*, 55(Suppl 3), 497-511. <https://doi.org/10.1111/iej.13688>
- Duncan, H. F., Galler, K. M., Tomson, P. L., Simon, S., El-Karim, I., Kundzina, R., et al. (2019). European Society of Endodontology position statement: management of deep caries and the exposed pulp. *International Endodontic Journal*, 52(7), 923-934. <https://doi.org/10.1111/iej.13080>
- Duncan, H. F., Kirkevang, L. L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., et al. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: the European Society of Endodontology

- (ESE) S3-level clinical practice guideline. *International Endodontic Journal*, 56(Suppl 3), 238-295.
<https://doi.org/10.1111/iej.13974>
- Elmsmari, F., Abdelsayed, R. B., Albasoumi, Q., Aljafarawi, T., Patro, S., & Pawar, A. M. (2026). Decision-ready evidence for vital pulp therapy: a network meta-analysis of bioactive materials in mature permanent teeth. *Frontiers in Dental Medicine*, 7, 1780755.
<https://doi.org/10.3389/fdmed.2026.1780755>
- Galler, K. M., Krastl, G., Simon, S., Van Gorp, G., Meschi, N., Vahedi, B., & Lambrechts, P. (2016). European Society of Endodontology position statement: revitalization procedures. *International Endodontic Journal*, 49(8), 717-723. <https://doi.org/10.1111/iej.12629>
- Hegde, V. R., Hegde, S. R., Fanibunda, U. E., & Vartak, M. A. (2025). Comparative evaluation of postoperative pain and healing following root canal obturation with calcium silicate and bioactive glass-based sealers to epoxy resin-based sealers: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(3), 211-221.
https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_8_25
- Herbst, S. R., Pitchika, V., Herbst, C. S., Kosan, E., & Schwendicke, F. (2025). Effectiveness of calcium hydroxide compared to hydraulic calcium silicate cements for direct pulp capping in managing deep caries in vital permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 58(8), 1110-1125.
<https://doi.org/10.1111/iej.14256>
- Ibáñez-Aravena, P. C., Sánchez-Sanhueza, G. A., & Fernández, C. E. (2025). New bioceramics vs. mineral trioxide aggregate (MTA) in the success of endodontic microsurgery: a systematic review and meta-analysis. *Australian*

- Endodontic Journal*, 51(3), 609-618.
<https://doi.org/10.1111/aej.12974>
- International Organization for Standardization (2025). *ISO 6876:2025 Dentistry - Endodontic sealing materials*.
- Kahler, B., & Rossi-Fedele, G. (2016). A review of tooth discoloration after regenerative endodontic therapy. *Journal of Endodontics*, 42(4), 563-569.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.022>
- Kim, J. H., Cho, S. Y., Choi, Y., Kim, D. H., Shin, S. J., & Jung, I. Y. (2022). Clinical efficacy of sealer-based obturation using calcium silicate sealers: a randomized clinical trial. *Journal of Endodontics*, 48(2), 144-151.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.11.011>
- Komabayashi, T., Colmenar, D., Cvach, N., Bhat, A., Primus, C., & Imai, Y. (2020). Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental Materials Journal*, 39(5), 703-720. <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-288>
- Komora, P., Vámos, O., Gede, N., Hegyi, P., Kelemen, K., Galvács, A., et al. (2024). Comparison of bioactive material failure rates in vital pulp treatment of permanent matured teeth: a systematic review and network meta-analysis. *Scientific Reports*, 14, 18421. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69367-7>
- Koutroulis, A., Kapralos, V., Ørstavik, D., & Titterud Sunde, P. (2024). Root-filling materials for endodontic surgery: biological and clinical aspects. *Biomaterial Investigations in Dentistry*, 11(1), 115-127.
<https://doi.org/10.2340/biid.v11.42172>
- La Rosa, G. R. M., Canova, F. S., Leotta, M. L., & Pedullà, E. (2025). Effects of heating on bioceramic sealers: a scoping review of chemo-physical properties and clinical implications. *Odontology*, 113(1), 1-14.
<https://doi.org/10.1007/s10266-024-00969-3>

- Lee, S. J., Monsef, M., & Torabinejad, M. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *Journal of Endodontics*, 19(11), 541-544. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81282-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81282-3)
- Malta, C. P., Santi, S. S., Barcelos, R. C. S., Zanatta, F. B., Bier, C. A. S., & Morgental, R. D. (2024). Premixed calcium silicate-based root canal sealers have better biological properties than AH Plus: a systematic review and meta-analysis of in vivo animal studies and in vitro laboratory studies. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(4), 345-359. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_24_24
- Marciano, M. A., Duarte, M. A. H., & Camilleri, J. (2015). Dental discoloration caused by bismuth oxide in MTA in the presence of sodium hypochlorite. *Clinical Oral Investigations*, 19(9), 2201-2209. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1466-8>
- Niu, L. N., Jiao, K., Wang, T. D., Zhang, W., Camilleri, J., Bergeron, B. E., et al. (2014). A review of the bioactivity of hydraulic calcium silicate cements. *Journal of Dentistry*, 42(5), 517-533. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.12.015>
- Parirokh, M., & Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review - Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of Endodontics*, 36(1), 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.006>
- Pinto, K. P., Silva, G. R., Ferreira, C. M. A., Sassone, L. M., & Silva, E. J. N. L. (2024). Success rate of direct pulp capping on permanent teeth using bioactive materials: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 49(4), e34. <https://doi.org/10.5395/rde.2024.49.e34>
- Piscopo, M., Aliberti, A., Gasparro, R., Sammartino, G., Coppola, N., & Ausiello, P. (2026). Cytotoxicity of root canal sealers

- and potential clinical implications: a comprehensive systematic review of in vitro studies. *Journal of Clinical Medicine*, 15(3), 973. <https://doi.org/10.3390/jcm15030973>
- Prasad Kumara, P. A. A. S., Cooper, P. R., Cathro, P., Gould, M., Dias, G., & Ratnayake, J. (2025). Bioceramics in endodontics: limitations and future innovations - a review. *Dentistry Journal*, 13(4), 157. <https://doi.org/10.3390/dj13040157>
- Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2015). Calcium silicate bioactive cements: biological perspectives and clinical applications. *Dental Materials*, 31(4), 351-370. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.004>
- Sabeti, M. A., Karimpourtalebi, N., Shahrvan, A., & Dianat, O. (2024). Clinical and radiographic failure of nonsurgical endodontic treatment and retreatment using single-cone technique with calcium silicate-based sealers: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 50(6), 735-746.e1. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.03.007>
- Siew, K., Lee, A. H. C., & Cheung, G. S. P. (2015). Treatment outcome of repaired root perforation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 41(11), 1795-1804. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.07.007>
- Silva, E. J. N. L., Cardoso, M. L., Rodrigues, J. P., De-Deus, G., & Fidalgo, T. K. D. S. (2021). Solubility of bioceramic- and epoxy resin-based root canal sealers: a systematic review and meta-analysis. *Australian Endodontic Journal*, 47(3), 690-702. <https://doi.org/10.1111/aej.12487>
- Silva, E. J. N. L., Pinto, K. P., Riche, F. N. S. J., Carestiatto, M. G. H., Martins, J. N. R., Duncan, H. F., et al. (2025). A meta-analysis of calcium silicate-based cements and calcium hydroxide as promoters of hard tissue bridge formation. *International Endodontic Journal*, 58(5), 685-714. <https://doi.org/10.1111/iej.14210>

- Torabinejad, M., Parirokh, M., & Dummer, P. M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - Part II: other clinical applications and complications. *International Endodontic Journal*, 51(3), 284-317. <https://doi.org/10.1111/iej.12843>
- Torabinejad, M., Watson, T. F., & Pitt Ford, T. R. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *Journal of Endodontics*, 19(12), 591-595. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80271-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80271-2)
- Wang, X., Xiao, Y., Song, W., Ye, L., Yang, C., Xing, Y., et al. (2023). Clinical application of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. *Journal of Translational Medicine*, 21, 853. <https://doi.org/10.1186/s12967-023-04550-4>
- Wiśniewski, P., Krokosz, S., Pietruska, M., & Zalewska, A. (2025). Functional and bioactive performance of premixed bioceramic sealers with warm obturation: a scoping review. *Gels*, 11(11), 932. <https://doi.org/10.3390/gels11110932>
- Zordan-Bronzel, C. L., Esteves Torres, F. F., Tanomaru-Filho, M., Chávez-Andrade, G. M., Bosso-Martelo, R., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2019). Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate-based sealer, Bio-C Sealer. *Journal of Endodontics*, 45(10), 1248-1252. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.07.006>

