DİŞ HEKİMLİĞİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER

EDİTÖR:
Dr. Öğr. Üyesi ELİF ALKAN

BİDGE

BİDGE Yayınları

Diş Hekimliğinde Güncel Yaklaşımlar ve Yenilikçi Teknolojiler

Editör: ELİF ALKAN

ISBN: 978-625-8821-61-1

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-06-25
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

ÖNSÖZ

Diş Hekimliğinde Güncel Yaklaşımlar ve Yenilikçi Teknolojiler ile ilgili bölümlerin yer aldığı kitabımızın, meslektaşlarımıza, mesleğe yeni başlayan genç akademisyenlerimize, öğrencilerimize klinik açıdan katkıda bulunmasını diler, kitabın hazırlanmasında makaleleriyle büyük katkıda bulunan değerli yazarlarımıza ve emeği geçen yayın ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla.

Dr. Öğr. Üyesi ELİF ALKAN

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

DENTAL REZİN KOMPOZİTLERDE GÜNCEL GELİŞMELER VE MODERN SINIFLANDIRMA YAKLAŞIMLARI 1

İLAYDA KUTLU, MUHAMMET FİDAN

TÜKÜRÜK VE ORAL HOMEOSTAZ: BİYOLOJİK TEMELLER 26

MEHMET ALPEREN ŞAHİN

YAPAY ZEKÂNIN DİŞ HEKİMLİĞİ EĞİTİMİNE ENTEGRASYONU: KLİNİK UYGULAMALAR VE ÖĞRENME STRATEJİLERİ 52

İKBAL ESRA PEHLİVAN

BÖLÜM 0

DENTAL REZİN KOMPOZİTLERDE GÜNCEL GELİŞMELER VE MODERN SINIFLANDIRMA YAKLAŞIMLARI

İLAYDA KUTLU[1]
MUHAMMET FİDAN[2]

Giriş

Rezin kompozitler, mine ve dentin gibi sert diş dokularının restorasyonunda kullanılan, organik rezin matriks ile inorganik doldurucu partiküllerden oluşan restoratif materyallerdir. Bowen tarafından 1950'li yıllarda geliştirilen bu materyaller, içerik ve üretim teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde günümüzde gelişmiş mekanik ve optik özelliklere sahip sistemler hâline gelmiştir (Makvandi et al., 2018; Zhou et al., 2019). Klinik uygulamalardaki yaygın kullanımlarına rağmen, polimerizasyon büzülmesi, aşınma ve termal değişimlere bağlı boyutsal değişiklikler gibi bazı

[1] Arş. Gör., Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0002-2369-1516
[2] Doçent Dr., Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0001-7869-4872

sınırlılıklar halen önemini korumaktadır. Bu nedenle güncel araştırmalar, biyolojik ve mekanik performansı geliştirmeyi amaçlayan yeni nesil rezin kompozit sistemlerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır (Sakaguchi Ronald L., 2012; Zhou et al., 2019).

Son yıllarda dental materyal araştırmaları, klinik uygulamaların kolaylaştırılması ve restoratif materyallerin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesine odaklanmıştır (Ferracane, 2011). Yeni nesil kompozit sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte, geleneksel sınıflandırmaların çoğunlukla doldurucu partikül boyutu ve kompozisyonuna dayanması günümüzdeki materyal çeşitliliğini ve klinik özellikleri yansıtmada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle rezin kompozitlerin yalnızca yapısal özelliklerine değil, aynı zamanda klinik performans ve kullanım amaçlarına göre de değerlendirilmesini sağlayan güncel sınıflandırma yaklaşımları önerilmiştir (Francois et al., 2025; Korkut et al., 2023). Bu bölümün amacı, rezin kompozitlerin geleneksel sınıflandırma sistemlerini ve güncel materyal teknolojileriyle ortaya çıkan yeni sınıflandırma yaklaşımlarını değerlendirmektir.

Rezin Kompozitlerin Sınıflandırılması

Rezin kompozitler geleneksel olarak polimerizasyon şekli, doldurucu partikül özellikleri ve kullanım alanları gibi kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Son yıllarda geliştirilen yeni nesil materyaller ise mevcut sınıflandırmaların kapsamını genişletmiş ve daha güncel yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Francois et al., 2025; Korkut et al., 2023). Bu bölümde önce geleneksel, ardından güncel sınıflandırma sistemleri ele alınacaktır.

Polimerizasyon Reaksiyonu Başlangıcına Göre Sınıflandırma

Dental rezin kompozitler, polimerizasyonu başlatan sisteme göre kimyasal, ışıkla aktive olan, ısıyla sertleşen ve çift kürlenmeli sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Kullanılan başlatma sistemi,

polimerizasyon kinetiğini ve materyalin nihai özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür (Riva & Rahman, 2019; Zhou et al., 2019).

Kimyasal Polimerizasyon (Self-cure)

İlk geliştirilen rezin kompozitlerde polimerizasyon kimyasal olarak başlatılmıştır (Ferracane, 2024). Bu sistemlerde benzoil peroksit başlatıcı ve tersiyer amin aktivatör içeren iki bileşenli yapılar kullanılmakta, bileşenlerin karıştırılmasıyla oluşan serbest radikaller polimerizasyonu başlatmaktadır (Riva & Rahman, 2019; Zhou et al., 2019). Günümüzde bu materyaller, sınırlı çalışma süresi ve düşük renk stabilitesi nedeniyle restoratif uygulamalarda yaygın olarak kullanılmamakta; daha çok rezin esaslı simanlar ve kor materyalleri olarak tercih edilmektedir (Korkut et al., 2023; Ritter et al., 2018; Zhou et al., 2019).

Işıkla Polimerizasyon (Light-cure)

Işıkla polimerize olan rezin kompozitler, uygun dalga boyundaki ışık enerjisi ile aktive edilen sistemlerdir. Çalışma süresinin kontrol edilebilmesi, kullanım kolaylığı ve estetik avantajları nedeniyle günümüzde restoratif diş hekimliğinde en yaygın kullanılan kompozit sistemlerini oluşturmaktadırlar (Korkut et al., 2023; Ritter et al., 2018). Polimerizasyon, fotobaşlatıcı sistemlerin ışığı absorbe etmesiyle başlayan serbest radikal reaksiyonları sonucunda gerçekleşmektedir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Kimyasal ve Işıkla Polimerizasyon (Dual-cure)

Dual-cure rezin kompozitler, kimyasal ve ışıkla polimerizasyon mekanizmalarını birlikte içeren materyallerdir. Bu sistemlerde kimyasal polimerizasyon ışık uygulanmasa dahi devam ederken, ışık aktivasyonu dönüşüm derecesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle ışığın sınırlı ulaştığı post simantasyonu ve kor yapımı gibi klinik uygulamalarda tercih edilmektedir (Korkut et al., 2023).

Isıyla Polimerizasyon (Heat-cure)

Isıyla polimerize olan rezin kompozitler, dönüşüm derecesini artırmak amacıyla ağız dışında uygulanan ısı ile sertleştirilmektedir. Bu yöntem, polimerizasyonun daha ileri düzeyde gerçekleşmesini sağlayarak materyalin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Doldurucu Partikül Boyutuna Göre Sınıflandırma

Rezin kompozitler, doldurucu partikül boyutu ve dağılımına göre sınıflandırılmakta olup bu yaklaşım materyallerin tarihsel gelişimini de yansıtmaktadır (Francois et al., 2025). Lutz ve Phillips (1983) rezin kompozitleri makrofil, mikrofil, hibrit ve modern hibrit olarak sınıflandırmış daha sonra Bayne ve ark. (1994) tarafından nanodoldurucu rezin kompozitler bu sınıflamaya dahil edilmiştir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Makrofil Dolduruculu Rezin Kompozitler

Makrofil dolduruculu rezin kompozitler, geliştirilen ilk rezin kompozitler olup yaklaşık 10–50 μm boyutunda doldurucu partiküller içermektedir (Francois et al., 2025; Zhou et al., 2019). Yüksek doldurucu oranları nedeniyle iyi mekanik özellikler göstermelerine rağmen, büyük partikül boyutları polisajlanabilirlik ve estetik özellikleri sınırlandırmaktadır. Dolduruculların yüzeyden ayrılması sonucunda yüzey pürüzlülüğü artabilmekte ve karşıt dişlerde aşınma meydana gelebilmektedir (Ferracane, 2024; Korkut et al., 2023; Riva & Rahman, 2019).

Mikrofil Dolduruculu Rezin Kompozitler

Mikrofil dolduruculu rezin kompozitler, estetik özellikleri geliştirmek amacıyla 1970'li yılların sonlarında geliştirilmiştir (Riva & Rahman, 2019). Yaklaşık 40–50 nm boyutunda amorf silika partikülleri içeren bu materyaller, yüksek polisajlanabilirlikleri ve

estetik özellikleri ile öne çıkmaktadır (Ferracane, 2011). Ancak düşük doldurucu içerikleri nedeniyle mekanik özellikleri sınırlı olup kırılma eğilimi gösterebilmektedirler. Bu nedenle önceden polimerize edilmiş rezin partikülleri içeren sistemler geliştirilmiştir (Ferracane, 2024; Riva & Rahman, 2019; Zhou et al., 2019).

Midifil Rezin Kompozitler

Midifil rezin kompozitler, ortalama partikül boyutu 1 μm'nin üzerinde olan ve yaklaşık 40 nm boyutunda füme silika içeren materyallerdir (Ferracane, 2011).

Minifil Rezin Kompozitler

Minifil rezin kompozitler, ortalama 0,4–1,0 μm boyutunda submikron doldurucu partiküller içeren materyallerdir (Ferracane, 2011).

Hibrit Rezin Kompozitler

Hibrit rezin kompozitler, farklı boyutlardaki doldurucu partiküllerin birlikte kullanılmasıyla geliştirilmiş materyallerdir. Bu sistemlerde mikrometre boyutundaki doldurucular ile kolloidal silika partikülleri bir arada bulunmakta ve doldurucu oranı genellikle ağırlıkça %75–80 arasında değişmektedir (Ferracane, 2024; Ritter et al., 2018). Bu doldurucu kombinasyonu, makrofil kompozitlerin mekanik dayanımı ile mikrofil kompozitlerin polisajlanabilirliğini bir araya getirmeyi amaçlamaktadır (Ferracane, 2011; Riva & Rahman, 2019). Yüksek doldurucu oranları sayesinde geliştirilmiş mekanik özellikler ve aşınma direnci gösteren hibrit kompozitler, anterior ve posterior restorasyonlarda yaygın olarak kullanılan üniversal materyaller hâline gelmiştir (Ferracane, 2024; Riva & Rahman, 2019; Zhou et al., 2019). Hibrit rezin kompozitler, doldurucu boyutlarına göre mikrohibrit ve nanohibrit kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Sakaguchi Ronald L., 2012).

Mikrohibrit Rezin Kompozitler

Mikrohibrit rezin kompozitlerde ince partiküller mikroince silika ile kombine edilmektedir. Bu doldurucular genellikle cam, kuvars veya seramik esaslı materyallerden oluşmaktadır. Mikrohibrit kompozitler hacimce %60–70, ağırlıkça ise %77–84 oranında doldurucu içermektedir. Yüksek doldurucu içerikleri sayesinde iyi mekanik özellikler ve aşınma direnci gösterdiklerinden, gerilim taşıyan bölgelerde kullanıma uygundurlar. Bununla birlikte, zamanla yüzey parlaklıklarında azalma görülebilmektedir (Ritter et al., 2018; Sakaguchi Ronald L., 2012).

Nanohibrit Rezin Kompozitler

Nanohibrit kompozitler, mikrohibrit kompozitlere nano boyutlu partiküllerin eklenmesiyle geliştirilmiş materyallerdir (Ferracane, 2011). Bu sistemlerde nanopartiküller daha büyük doldurucularla birlikte kullanılarak doldurucu oranı artırılmakta, rezin matriks miktarı ve buna bağlı polimerizasyon büzülmesi azaltılmaktadır (Francois et al., 2025; Korkut et al., 2023). Estetik özellikleri ve mekanik dayanımı bir arada sunmaları nedeniyle nanohibrit kompozitler günümüzde hem anterior hem de posterior restorasyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ferracane, 2011). Nanohibrit kompozitlerin bir alt grubu olarak yaklaşık 200–260 nm boyutunda doldurucular içeren supra-nanohibrit kompozitler de tanımlanmıştır (Korkut et al., 2023).

Nanofil Rezin Kompozitler

Nanoteknolojideki gelişmelerle birlikte, 1–100 nm boyutunda doldurucu partiküller içeren nanofil rezin kompozitler geliştirilmiştir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019). Bu materyallerde nanosilika ve zirkonya/silika esaslı nanopartiküller kullanılmakta olup, nanopartiküllerin görünür ışığın dalga boyundan daha küçük olması yüksek translusensi ve estetik özellikler sağlamaktadır (Ferracane, 2011; Sakaguchi Ronald L., 2012). Nanofil kompozitler, mikrofil

kompozitlerin polisajlanabilirliği ile hibrit kompozitlerin mekanik dayanımını bir araya getirmeyi amaçlamakta; yüksek doldurucu oranları sayesinde polimerizasyon büzülmesini azaltırken mekanik özellikleri geliştirebilmektedirler (Makvandi et al., 2018; Zhou et al., 2019). Bu amaçla geliştirilen nanoküme teknolojisi, doldurucu yüklenmesinin artırılmasına olanak sağlamaktadır (Riva & Rahman, 2019; Sakaguchi Ronald L., 2012). Ayrıca, 100–300 nm boyutunda küresel partiküller içeren supra-nanofil kompozitler geliştirilmiş olup, bu materyaller yüksek polisajlanabilirlikleri ve estetik özellikleri ile öne çıkmaktadır (Chen, 2010; Ferracane, 2024).

Nanofil ve nanohibrit kompozitler, estetik ve mekanik özellikleri bir arada sunmaları nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan rezin kompozit grupları arasında yer almakta ve rezin kompozit teknolojisinin güncel gelişim basamaklarını temsil etmektedir (Ferracane, 2011).

Doldurucu Partikül Morfolojisine Göre Sınıflandırma

Rezin kompozitler, doldurucu partiküllerin morfolojisine göre de sınıflandırılabilmektedir. Doldurucu morfolojisi materyalin fiziksel, mekanik ve optik özelliklerini etkilediğinden, nanoseramik, nanozirkonya, nanoküme, küresel doldurucu ve önceden polimerize edilmiş partikül içeren farklı kompozit sistemleri geliştirilmiştir (Korkut et al., 2023).

Viskozitelerine Göre Sınıflandırma

Rezin kompozitlerin viskozitesi, materyalin kaviteye adaptasyonunu, şekillendirilebilirliğini ve klinik kullanım alanlarını etkileyen önemli bir özelliktir. Bu doğrultuda rezin kompozitler; kondanse edilebilen (packable), viskoz (krem kıvamlı) ve akışkan (flowable) kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Kondanse Edilebilen (Packable) Rezin Kompozitler

Kondanse edilebilen rezin kompozitler, posterior restorasyonlarda amalgama alternatif olarak geliştirilmiş materyallerdir. Daha az yapışkan yapıları sayesinde şekillendirilmeleri ve proksimal kontakt oluşturulması kolaylaşmaktadır (Francois et al., 2025; Ritter et al., 2018; Zhou et al., 2019). Yüksek viskoziteleri, doldurucu boyut dağılımının değiştirilmesi veya farklı doldurucu türlerinin kullanılmasıyla sağlanmaktadır (Ferracane, 2011). Ancak konvansiyonel rezin kompozitlere belirgin bir mekanik üstünlük göstermemeleri nedeniyle günümüzde daha sınırlı kullanım alanına sahiptir (Francois et al., 2025; Zhou et al., 2019).

Viskoz Rezin Kompozitler

Viskoz veya krem kıvamlı rezin kompozitler, akışkan kompozitlere göre daha yüksek, kondanse edilebilen kompozitlere göre ise daha düşük viskoziteye sahip materyallerdir. Uygun şekillendirilebilirlik, adaptasyon ve mekanik özellikleri sayesinde hem anterior hem de posterior restorasyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Akışkan Rezin Kompozitler

Akışkan rezin kompozitler, düşük viskoziteleri sayesinde kavite duvarlarına ve düzensizliklerine kolay uyum sağlayabilen materyallerdir (Ferracane, 2024). Geleneksel rezin kompozitlere göre daha düşük doldurucu içeriğine sahip olmaları nedeniyle polimerizasyon büzülmeleri daha yüksek, aşınma dirençleri ve mekanik özellikleri ise daha düşüktür (Korkut et al., 2023; Ritter et al., 2018; Zhou et al., 2019). İlk geliştirilen akışkan kompozitler çoğunlukla kavite astarı ve pit-fissür örtücü olarak kullanılırken, günümüzde doldurucu oranı artırılmış yeni nesil sistemler minimal invaziv restorasyonlar, Sınıf V lezyonlar, adeziv simantasyon ve immediat dentin örtüleme gibi çeşitli klinik uygulamalarda kullanılabilmektedir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Restoratif Uygulama Prosedürlerine Göre Sınıflandırma

Dental rezin kompozitler uygulama yöntemlerine göre direkt ve indirekt olarak sınıflandırılmaktadır. Direkt kompozitler klinik ortamda doğrudan uygulanırken, indirekt kompozitler laboratuvar ortamında hazırlanmakta ve ek polimerizasyon işlemleri sayesinde daha yüksek dönüşüm derecesine ulaşabilmektedir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Kullanım Yerine Göre Sınıflandırma

Kullanım yerine göre sınıflandırmada rezin kompozitler anterior, posterior ve üniversal kompozitler olarak gruplandırılmaktadır. Anterior kompozitler ön bölge, posterior kompozitler arka bölge restorasyonları için geliştirilirken, üniversal kompozitler her iki bölgede de kullanılabilmektedir (Francois et al., 2025).

Güncel Rezin Kompozitler ve Klinik Özelliklere Dayalı Modüler Sınıflandırma

Dental rezin kompozit teknolojisindeki gelişmeler, kullanım kolaylığı, optik özellikler ve klinik performans açısından yeni nesil materyallerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu materyaller, geleneksel rezin kompozitlerden farklı fonksiyonel ve klinik özellikler gösterebilmektedir (Ferracane, 2011; Francois et al., 2025). Mevcut sınıflandırmalar çoğunlukla doldurucu partikül boyutu ve kompozisyonuna dayandığından, yeni geliştirilen materyallerin tüm özelliklerini yansıtmada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, rezin kompozitlerin birden fazla özelliğinin birlikte değerlendirilebildiği klinik özelliklere dayalı modüler sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir. Bu yaklaşım; materyallerin yapısal özellikleri, kullanım amaçları ve klinik davranışlarının birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayarak güncel rezin kompozitlerin daha kapsamlı şekilde tanımlanmasını mümkün kılmaktadır (Francois et al., 2025).

Düşük Büzülmeli Rezin Kompozitler ve Yeni Geliştirilen Monomer Sistemleri

Monomerlerin polimer zincirlerine dönüşümü sırasında materyalin yoğunluğu artmakta ve buna bağlı olarak polimerizasyon büzülmesi meydana gelmektedir (Riva & Rahman, 2019). Polimerizasyon büzülmesi, ara yüzeyde gerilim oluşmasına neden olarak marjinal boşluk, mikrosızıntı, renklenme, postoperatif hassasiyet ve sekonder çürük gibi klinik problemlere yol açabilmektedir (Ferracane, 2011; Riva & Rahman, 2019; Zhou et al., 2019). Bu sorunu azaltmak amacıyla molekül ağırlığı artırılmış monomer sistemleri ve yüksek doldurucu içerikli rezin kompozitler geliştirilmiştir. Ayrıca uygun materyal seçimi, ışıklama koşullarının optimize edilmesi ve tabakalı yerleştirme teknikleri gibi klinik yaklaşımlar da büzülme geriliminin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Ferracane, 2011; Ritter et al., 2018; Zhou et al., 2019). Polimerizasyon büzülmesini azaltmaya yönelik çalışmalar sonucunda, geleneksel metakrilat esaslı sistemlere alternatif olarak farklı monomer teknolojileri geliştirilmiştir. Bu kapsamda siloranlar, ormocerler, dimer asit bazlı monomerler ve TCD-üretan monomerleri öne çıkan sistemler arasında yer almaktadır (Francois et al., 2025; Korkut et al., 2023).

Siloranlar

Polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla geliştirilen siloran esaslı monomerler, siloksan ve oksiran yapılarının birleşiminden oluşmaktadır (Ilie & Hickel, 2011). Bu sistemlerde polimerizasyon, katyonik halka açılma reaksiyonu ile gerçekleşmekte ve oksiran halkalarının açılması sırasında meydana gelen hacim artışı polimerizasyon büzülmesinin azalmasına katkı sağlamaktadır. Siloran esaslı kompozitler düşük polimerizasyon büzülmesi ve iyi mekanik özellikler gösterebilmekle birlikte, özel adeziv sistem gereksinimleri ve konvansiyonel rezin kompozitlere belirgin bir klinik üstünlük sağlayamamaları nedeniyle sınırlı kullanım alanı

bulmuştur (Ferracane, 2024; Korkut et al., 2023; Riva & Rahman, 2019).

Ormocerler

Ormocerler (organically modified ceramics), organik ve inorganik bileşenlerin birleşiminden oluşan hibrit materyallerdir (Korkut et al., 2023). Bu sistemler, inorganik silika omurgasına bağlı polimerize olabilen organik yan zincirler içermektedir. Konvansiyonel rezin kompozitlere benzer şekilde ışıkla polimerize olan ormocerler, yüksek molekül ağırlıklı yapıları sayesinde daha düşük polimerizasyon büzülmesi ve büzülme stresi göstermektedir. Bu materyallerin geliştirilmesindeki temel amaçlar arasında biyouyumluluğun artırılması ve artık monomer salınımının azaltılması yer almaktadır (Ferracane, 2024; Ilie & Hickel, 2011).

Dimer Asit Bazlı Monomerler

Dimer asit bazlı monomerler, yüksek molekül ağırlıkları sayesinde polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistemler daha yüksek dönüşüm derecesi, daha düşük büzülme ve daha düşük hidrofiliklik gösterebilmektedir. Ancak düşük çapraz bağ yoğunluğu nedeniyle elastik modülde azalma görülebilmektedir (Ilie & Hickel, 2011).

TCD-Üretan Monomerleri

TCD-üretan monomerleri, polimerizasyon büzülmesini azaltmak ve mekanik özellikleri geliştirmek amacıyla geliştirilen yeni nesil metakrilat türevleridir. Bu sistemler, temel olarak TCD-DI-HEA (bis-(acryloyloxymethyl) tricycle-[5.2.1.$0^{2,6}$] decane) monomerine dayanmaktadır (Ferracane, 2024). Düşük viskoziteleri sayesinde seyreltici monomer gereksinimini azaltabilmekte, yüksek dönüşüm derecesi ve iyi biyouyumluluk gösterebilmektedirler. Bununla birlikte, trisiklik yapıları polimerizasyon hızını yavaşlatabilmektedir (Korkut et al., 2023).

Hibrit Rezin Materyaller

Rezin kompozitler ile cam iyonomer simanların avantajlarını bir araya getirmek amacıyla çeşitli hibrit restoratif materyaller geliştirilmiştir. Bu grupta en yaygın kullanılan materyaller giomerler ve kompomerlerdir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Giomerler

Giomerler, cam iyonomer simanlar ile rezin kompozitlerin özelliklerini birleştirmek amacıyla geliştirilmiş hibrit restoratif materyallerdir (Tsujimoto et al., 2017). Bu sistemlerde önceden reaksiyona sokulmuş cam iyonomer (PRG) doldurucular kullanılmaktadır. Doldurucu teknolojisine göre tam reaksiyonlu (F-PRG) ve yüzey reaksiyonlu (S-PRG) sistemler olarak sınıflandırılabilmektedirler (Korkut et al., 2023).

Kompomerler (Poliasit Modifiye Rezin Kompozitler)

Kompomerler, rezin kompozitler ile cam iyonomer simanların özelliklerini bir araya getiren poliasit modifiye rezin kompozitlerdir. Bu materyallerde temel sertleşme mekanizması rezin esaslı fotopolimerizasyon olup, su absorbsiyonunu takiben sınırlı düzeyde asit-baz reaksiyonu da gerçekleşmektedir (Zhou et al., 2019). Florür salabilmeleri önemli avantajlarından biri olmakla birlikte, mekanik özelliklerinin geleneksel rezin kompozitlerden daha düşük olması nedeniyle kullanım alanları sınırlıdır (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Yardımcı ve Özel Amaçlı Rezin Kompozitler

Bazı rezin kompozitler, doğrudan restoratif materyal olarak kullanılmak yerine restorasyonların fonksiyonel ve estetik özelliklerini desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Bu materyaller; kavite adaptasyonunun iyileştirilmesi, polimerizasyon geriliminin azaltılması, renklenmiş yapıların maskelenmesi ve diş

karakterizasyonunun sağlanması gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Francois et al., 2025).

Liner (Astar) Rezin Kompozitler

Astar rezin kompozitler, düşük viskozite ve elastik modülleri sayesinde kavite duvarlarına uyumu artırmak ve polimerizasyon gerilimini azaltmak amacıyla kullanılan akışkan materyallerdir. Özellikle Sınıf I, II ve V kavitelerde tercih edilmekte olup, mekanik dayanımlarının sınırlı olması nedeniyle yüksek stres taşıyan bölgelerde doğrudan kullanım için uygun değildirler (Francois et al., 2025). Bu nedenle genellikle üzerleri viskoz rezin kompozitlerle örtülerek kullanılmaktadır (Miletic et al., 2024).

Opak Rezin Kompozitler

Opak rezin kompozitler, renklenmiş diş dokularını veya metal altyapıları maskelemek amacıyla kullanılan akışkan ya da viskoz materyallerdir. Yüksek opasiteleri sayesinde özellikle direkt ve indirekt restorasyonlar öncesinde renk maskeleme amacıyla kullanılmaktadırlar (Francois et al., 2025).

Rezin Kompozit Boyaları ve Efekt Materyalleri

Rezin kompozit boyaları ve efekt materyalleri, doğal dişlerin optik özelliklerini taklit etmek amacıyla kullanılan, genellikle akışkan formdaki materyallerdir. Tabakalama tekniğinde mine ve dentin katmanları arasında uygulanarak translusensi, opalesans ve karakterizasyon efektleri oluştururlar. Farklı renk tonları sayesinde çatlaklar, lekelenmeler, hipomineralizasyon alanları ve mineye özgü optik özelliklerin taklit edilmesine olanak sağlarlar. Dişeti karakterizasyonunda kullanılanlar dışında, genellikle restorasyon içerisinde yer almakta ve doğrudan ağız ortamına maruz kalmamaktadırlar (Francois et al., 2025).

Renk Uyumu ve Optik Özelliklerine Göre Rezin Kompozitler

Günümüzde rezin kompozitlerin optik özellikleri geliştirilerek çevre diş dokularıyla daha iyi renk uyumu sağlamaları hedeflenmektedir. Bu özellik; restoratif materyalin çevre diş dokularının rengini taklit ederek uyum sağlamasını ifade eden 'bukalemun etkisi (chameleon effect)', restorasyon ile komşu diş dokuları arasında doğal bir renk geçişi oluşmasını tanımlayan 'blending effect' ve materyalin bulunduğu ortamın rengine uyum sağlayabilme yeteneğini ifade eden 'color adjustment' kavramları ile açıklanmaktadır. Renk uyumu ayrıca materyalin translüsensi, opasitesi ve uygulanan tabaka kalınlığından da etkilenmektedir. Bu doğrultuda rezin kompozitler, renk uyumu yaklaşımlarına göre polikromatik (poly-shade) ve monokromatik (single-shade) sistemler olarak değerlendirilmektedir (Korkut et al., 2023).

Poly-shade Rezin Kompozitler

Poly-shade rezin kompozitler, farklı translüsensi ve opasite düzeylerinde çok sayıda renk seçeneği sunan, mine ve dentin tonlarını içeren rezin kompozit sistemleridir (Korkut et al., 2023). Bu materyaller, doğal diş dokularının renk ve optik özelliklerini taklit etmek amacıyla geliştirilmiş olup, yüksek opasiteli dentin kompozitleri ile translüsent mine kompozitlerinin birlikte kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Francois et al., 2025; Hani & Dds, 2021). Geniş renk skalası sayesinde restorasyonların çevre diş dokularıyla uyumlu görünmesini destekleyen bu sistemler, mine ve dentin tabakalarının farklı özelliklerinden yararlanılan polikromatik tabakalama tekniklerinde kullanılmaktadır. Bu sayede özellikle yüksek estetik gereksinimi bulunan anterior restorasyonlarda doğal renk geçişleri ve başarılı estetik sonuçlar elde edilmektedir (Hani & Dds, 2021; Korkut et al., 2023).

Basitleştirilmiş Renk Uyumu Sağlayan Rezin Kompozitler

Son yıllarda, renk seçimini ve restoratif uygulamaları kolaylaştırmak amacıyla sınırlı sayıda renk seçeneğiyle geniş bir diş rengi aralığında uyum sağlayabilen estetik rezin kompozit sistemleri geliştirilmiştir. Bu materyaller, renk seçimi sürecini ve karmaşık tabakalama tekniklerine olan gereksinimi azaltmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda geliştirilen sistemler, simply-shade ve single-shade rezin kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Francois et al., 2025; Korkut et al., 2023).

Simply-shade Rezin Kompozitler

Simply-shade rezin kompozitler, genellikle 3–5 adet body rengi ile geniş bir diş rengi aralığında uyum sağlayabilen estetik rezin kompozit sistemleridir. Geliştirilmiş optik özellikleri sayesinde VITA Klasik Renk Skalası'ndaki farklı diş renkleriyle uyum gösterebilmekte ve daha az sayıda renk tonuyla hem monokromatik hem de polikromatik restorasyonların uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır (Korkut et al., 2023). Mine ve dentin tabakaları arasında yer alan orta düzey opasiteleri sayesinde, kolay kullanım ve öngörülebilir estetik sonuçlar sunarak anterior ve posterior restorasyonlarda yaygın olarak tercih edilmektedirler (Francois et al., 2025).

Single-shade Rezin Kompozitler

Single-shade rezin kompozitler, tek renk seçeneği ile geniş bir diş rengi aralığında uyum sağlayabilen estetik rezin kompozitlerdir. Bu materyaller, renk seçimi gerektirmeden anterior ve posterior restorasyonlarda kullanılabilmekte ve VITA Klasik Renk Skalası'ndaki çok sayıda diş rengiyle uyum sağlayabilmektedir (Korkut et al., 2023). Bu kompozitlerde renk oluşumu, geleneksel pigmentlerden ziyade doldurucu partiküllerin rezin matriks içerisindeki düzenlenmesine bağlı gelişen yapısal renk (structural color) mekanizmasına dayanmaktadır. Yüksek translüsensileri

sayesinde çevre diş dokularıyla uyum sağlayabilmekte ve farklı diş renklerine uyumlu restorasyonların tek bir renk tonu kullanılarak gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, yüksek translüsensileri nedeniyle renklenmiş veya opak alt yapıların maskelenmesinde yetersiz kalabildiklerinden bazı klinik durumlarda opak kompozitlerle birlikte kullanılmaları gerekebilmektedir (Francois et al., 2025; Korkut et al., 2023).

Bleach-Shade (Beyazlatıcı Tonlu) Rezin Kompozitler

Diş beyazlatma tedavilerine yönelik estetik talebin artmasıyla birlikte, beyazlatılmış dişlerde elde edilen ve VITA Klasik Renk Skalası'ndaki geleneksel tonlardan daha açık olabilen renklerle uyum sağlamak amacıyla bleach-shade rezin kompozitler geliştirilmiştir. Bu materyaller, özellikle beyazlatma tedavisi uygulanmış dişlerde renk uyumunu sağlamak üzere tasarlanmış olup, geleneksel renk tonlarına kıyasla daha yüksek parlaklık ve translüsensi gösterebilmektedir (Dalmolin et al., 2021; Hashemikamangar et al., 2023; Paravina et al., n.d.).

Fiber ile Güçlendirilmiş Rezin Kompozitler

Fiber ile güçlendirilmiş rezin kompozitler, rezin matrikse fiber ilavesiyle elde edilen ve gerilimlerin daha geniş bir alana dağıtılmasını sağlayarak çatlak ilerlemesini sınırlandıran materyallerdir (Alshabib et al., 2022). Rezin kompozitlerin mekanik performansını artırmak amacıyla geliştirilen bu sistemler, kırılma tokluğu ve dayanıklılığı artırabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde özellikle geniş madde kaybı bulunan posterior dişlerde ve endodontik tedavili dişlerde biyomimetik restoratif yaklaşımlarda kullanılabilmektedirler (Garoushi et al., 2018).

Fiber takviyeli kompozitler, lif uzunluğuna göre uzun (sürekli) ve kısa (süreksiz) fiber takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Maiti et al., 2022). Fiberlerin güçlendirici etkisi; lif uzunluğu, yönelimi, miktarı ve fiber-matriks bağlanmasına

bağlıdır. Özellikle kısa fiber takviyeli rezin kompozitler, çiğneme kuvvetlerinin daha homojen dağıtılması ve kırılma direncinin artırılması amacıyla geliştirilmiş olup, polimerizasyon büzülmesini azaltırken eğilme dayanımı ve kırılma direncini artırabilmektedir (Alshabib et al., 2022; Garoushi et al., 2018; Riva & Rahman, 2019). Cam fiberler en yaygın kullanılan fiber tipi olmakla birlikte, polietilen, aramid ve karbon fiberler de kullanılabilmektedir. Karbon fiberler estetik sınırlılıkları nedeniyle daha az tercih edilirken, cam fiberler biyouyumlulukları, estetik özellikleri ve mekanik dayanımları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Alshabib et al., 2022; Francois et al., 2025; Riva & Rahman, 2019).

Bulk-Fill Rezin Kompozitler

Bulk-fill rezin kompozitler, klinik uygulama süresini kısaltmak ve geleneksel tabakalı yerleştirme tekniğinin dezavantajlarını azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Konvansiyonel rezin kompozitler genellikle 2 mm veya daha ince tabakalar halinde uygulanırken, bulk-fill kompozitler 4–5 mm kalınlığa kadar tek seferde yerleştirilebilmekte ve yeterli polimerizasyon sağlayabilmektedir (Ferracane, 2024; Zhou et al., 2019). Bulk-fill rezin kompozitlerde polimerizasyon derinliğini artırmak ve büzülme stresini azaltmak amacıyla translüsensi artırılmış, doldurucu boyutu optimize edilmiş ve gelişmiş fotobaşlatıcı ile monomer sistemleri kullanılmıştır (Chesterman et al., 2017; Francois et al., 2025). Bu materyaller, viskozitelerine göre akışkan ve yüksek viskoziteli (full-body) bulk-fill kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Chesterman et al., 2017; Korkut et al., 2023).

Akışkan Bulk-Fill Rezin Kompozitler

İlk geliştirilen bulk-fill materyaller, kaviteye iyi adaptasyon ve kolay uygulama sağlamak amacıyla akışkan formda tasarlanmıştır. Düşük doldurucu içerikleri sayesinde kavite adaptasyonu açısından avantajlı olmakla birlikte, mekanik özelliklerinin daha sınırlı olması

nedeniyle genellikle dentin replasmanı amacıyla kullanılmakta ve üzerlerinin konvansiyonel posterior rezin kompozitlerle örtülmesi önerilmektedir (Ferracane, 2024; Zhou et al., 2019).

Yüksek Viskoziteli (Full-Body) Bulk-Fill Rezin Kompozitler

Yüksek viskoziteli bulk-fill kompozitler, dentin ve mineyi tek materyal ile restore edebilecek şekilde geliştirilmiş olup kavitenin tamamında kullanılabilmektedir. Bu materyallerde artırılmış polimerizasyon derinliği, geliştirilmiş doldurucu ve fotobaşlatıcı sistemleri ile sağlanmaktadır (Chesterman et al., 2017; Ferracane, 2024). Artırılmış translüsensileri sayesinde ışık penetrasyonunu destekleyen bu materyaller, aynı zamanda polimerizasyon kaynaklı büzülme stresini azaltabilmektedir (Ilie et al., 2013). Derin restorasyonlarda kullanım kolaylığı sağlamalarının yanı sıra, marjinal uyum ve klinik performans açısından konvansiyonel tabakalama teknikleriyle benzer sonuçlar gösterebilmektedirler (Zhou et al., 2019).

Biyoaktif Rezin Kompozitler

Biyoaktif rezin kompozitler, florür, kalsiyum ve fosfat gibi iyonları salarak remineralizasyonu desteklemeyi ve diş-restorasyon ara yüzeyinin korunmasına katkıda bulunmayı amaçlayan materyallerdir. Bu yaklaşım kompomer ve giomer sistemlerinin temelini oluşturmakta olup günümüzde yeniden önem kazanmıştır (Ferracane, 2024; Francois et al., 2025; Korkut et al., 2023). Bu amaçla amorf kalsiyum fosfat (NACP) ve dikalsiyum fosfat anhidrat (DCPA) nanopartikülleri içeren sistemler geliştirilmiştir. Ayrıca, iyon salınımı ile mekanik dayanımın birlikte sağlanabilmesi amacıyla nano-DCPA whisker takviyeli kompozitler de geliştirilmiştir (Zhou et al., 2019).

Antibakteriyel Rezin Kompozitler

Dental plak birikimi, restorasyon çevresinde sekonder çürük gelişimine katkıda bulunabilmektedir. Bu nedenle bakteriyel adezyon ve biyofilm oluşumunu azaltmak amacıyla antibakteriyel özelliklere sahip rezin kompozitler geliştirilmiştir (Makvandi et al., 2018). Bu materyaller, restorasyon çevresindeki mikrobiyal yükü azaltarak sekonder çürük riskinin düşürülmesini hedeflemektedir (Ferracane, 2011).

Antibakteriyel rezin kompozitler, etki mekanizmalarına göre iyon salınım yapan (releasing) ve iyon salınım yapmayan (non-releasing) sistemler olarak sınıflandırılmaktadır (Zhou et al., 2019).

İyon Salınım Yapan (Releasing) Antibakteriyel Rezin Kompozitler

İyon salınım yapan antibakteriyel rezin kompozitler, aktif antibakteriyel ajanların kontrollü salınımı yoluyla bakteriyel adezyonu ve biyofilm oluşumunu azaltmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla kalsiyum florür (CaF_2), klorheksidin, gümüş nanopartikülleri ve çinko oksit nanopartikülleri gibi ajanlar kullanılmaktadır (Makvandi et al., 2018; Zhou et al., 2019). Ancak aktif bileşenlerin zamanla tükenmesi, antibakteriyel etkinliğin azalmasına ve bazı durumlarda mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir (Francois et al., 2025; Zhou et al., 2019).

İyon Salınım Yapmayan (Non-Releasing) Antibakteriyel Rezin Kompozitler

İyon salınım yapmayan antibakteriyel rezin kompozitlerde, kuaterner amonyum bileşikleri (QAC) ve kuaterner amonyum monomerleri (QAM) rezin matrikse kovalent olarak bağlanarak uzun süreli antibakteriyel etki sağlamaktadır (Zhou et al., 2019). Bu materyaller, antibakteriyel ajan salınımına ihtiyaç duymadan temasla öldürme (contact killing) mekanizması ile etki göstermekte ve

mekanik özelliklerde belirgin bozulmaya neden olmamaktadır. Bu gruba 12-metakriloiloksidodesil piridinyum bromid (MDPB), metakriloksietil setil amonyum klorür (DMAE-CB), dimetilaminododesil metakrilat (DMADDM) ve dimetilaminohekzadesil metakrilat (DMAHDM) örnek olarak verilebilir (Ferracane, 2024; Zhou et al., 2019).

Adeziv Monomer İçeren Akışkan Rezin Kompozitler

Adeziv monomer içeren akışkan rezin kompozitler, geleneksel metakrilat esaslı rezin sistemlerine ek olarak diş dokularıyla kimyasal ve mikromekanik etkileşim kurabilen fonksiyonel asidik monomerler içermektedir. Bu materyaller, adeziv uygulama basamaklarını azaltmayı amaçlamakta olup özellikle astar (liner) uygulamalarında ve küçük restorasyonlarda kullanılmaktadır. Ayrıca self-adeziv rezin kompozitlerin geliştirilmesine temel oluşturan materyaller arasında yer almaktadır (Ferracane, 2011).

Self-Adeziv Rezin Kompozitler

Self-adeziv rezin kompozitler, adeziv ve restoratif materyal özelliklerini tek sistemde birleştirerek diş sert dokularına ayrı bir adeziv uygulaması olmaksızın bağlanabilen materyallerdir. (Ferracane, 2024; Korkut et al., 2023). Bu materyaller, mine ve dentin ile kimyasal etkileşim kurabilen fonksiyonel asidik monomerler içermekte olup, self-adeziv özellikleri 4-META, gliserofosfat dimetakrilat (GPDM) ve 10-metakriloiloksidesil dihidrojen fosfat (10-MDP) gibi monomerler aracılığıyla sağlanmaktadır (Francois et al., 2025; Zhou et al., 2019). İlk geliştirilen sistemler geleneksel adeziv-kompozit kombinasyonlarına belirgin üstünlük gösterememiştir. Daha sonra geliştirilen yüksek doldurucu içerikli materyallerde cam iyonomer ve kompomer benzeri adezyon mekanizmalarından yararlanılmıştır (Ferracane, 2024; Francois et al., 2025). Bununla birlikte, bu materyallerin bağlanma ve mekanik özelliklerinin geleneksel

sistemlere göre genellikle daha düşük olduğu, ancak kısa dönem klinik sonuçlarının kabul edilebilir düzeyde bulunduğu bildirilmektedir (Francois et al., 2025; Zhou et al., 2019).

BPA Türevi Monomer İçermeyen Rezin Kompozitler

Son yıllarda rezin bazlı dental materyallerin yaygın kullanımı, rezin matriks bileşenlerinin biyouyumluluğu ve güvenliği ile ilgili endişeleri artırmıştır (Francois et al., 2025). Özellikle Bisfenol A (BPA) türevi monomerlerden kaynaklanabilecek olası BPA salınımı ve buna bağlı biyolojik etkiler tartışılmaktadır (Ferracane, 2024). Rezin kompozitlerde yaygın olarak kullanılan Bis-GMA, Bis-DMA, Bis-EMA, polikarbonat modifiye Bis-GMA (PC Bis-GMA) ve Bis-MPEPP gibi monomerler BPA türevleri arasında yer almaktadır. BPA maruziyetine ilişkin endişeler nedeniyle, BPA türevi monomerler içermeyen ve çoğunlukla UDMA esaslı monomer sistemlerine dayanan rezin kompozitler geliştirilmiştir. Bu materyallerin klinik ve laboratuvar performanslarının geleneksel rezin kompozitlerle benzer olduğu bildirilmektedir (Francois et al., 2025; Zhou et al., 2019).

İnfiltrasyon Rezinleri

İnfiltrasyon rezinleri, düşük viskoziteli ve ışıkla polimerize olabilen materyaller olup, kapiler etki sayesinde yüzey altı çürük lezyonlarına nüfuz edebilmektedir. Kavitasyon oluşmamış çürükler, beyaz nokta lezyonları ve mine demineralizasyonlarının tedavisinde minimal invaziv bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde düşük viskoziteli rezin, hidroklorik asitle hazırlanan demineralize mine yapısındaki mikroporozitelere infiltre olmaktadır. İnfiltrasyon, lezyon progresyonunu sınırlandırırken mine dokusunun optik özelliklerinin iyileştirilmesine de katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, düşük doldurucu içerikleri nedeniyle aşınma dirençleri sınırlıdır. Bu gruptaki en yaygın materyal örneği ICON sistemidir (Korkut et al., 2023; Zhou et al., 2019).

Kendini Onarabilen (Self-Healing) Rezin Kompozitler

Kendini onarabilen rezin kompozitler, oluşan mikroçatlakları onararak çatlak ilerlemesini ve restorasyon kırıklarını önlemeyi amaçlayan yeni nesil materyallerdir. Kendini onarma mekanizması, çatlak oluşumu sırasında serbest kalan iyileştirici ajanlara dayanan intrinsik sistemler veya ısı ve ışık gibi dış uyaranlarla aktive edilen ekstrinsik sistemler aracılığıyla gerçekleşebilmektedir. Bu materyallerin klinik kullanımı henüz sınırlı olup, çalışmalar büyük ölçüde araştırma aşamasında devam etmektedir (Ferracane, 2024).

Sonuç

Rezin kompozit teknolojilerindeki gelişmeler, farklı klinik özelliklere sahip yeni materyallerin ortaya çıkmasına ve mevcut sınıflandırma yaklaşımlarının genişlemesine neden olmuştur. Bu nedenle rezin kompozitlerin geleneksel ve güncel sınıflandırmalarının birlikte değerlendirilmesi, materyal özelliklerinin anlaşılması ve klinik uygulamalarda uygun materyal seçiminin yapılması açısından önem taşımaktadır.

Kaynakça

Alshabib, A., Jurado, C. A., & Tsujimoto, A. (2022). Short fiber-reinforced resin-based composites (SFRCs): Current status and future perspectives. *Dental Materials Journal, 41*(5), 647–654. https://doi.org/10.4012/dmj.2022-080

Chen, M. H. (2010). Update on dental nanocomposites. *Journal of Dental Research, 89*(6), 549–560. https://doi.org/10.1177/0022034510363765

Chesterman, J., Jowett, A., Gallacher, A., & Nixon, P. (2017). Bulk-fill resin-based composite restorative materials: A review. *British Dental Journal, 222*(5), 337–344. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2017.214

Dalmolin, A., Perez, B. G., Gaidarji, B., Ruiz-López, J., Lehr, R. M., Pérez, M. M., & Durand, L. B. (2021). Masking ability of bleach-shade resin composites using the multilayering technique. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 33*(5), 807–814. https://doi.org/10.1111/jerd.12740

Ferracane, J. L. (2011). Resin composite—State of the art. *Dental Materials, 27*(1), 29–38. https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020

Ferracane, J. L. (2024). A historical perspective on dental composite restorative materials. *Journal of Functional Biomaterials, 15*(7), 173. https://doi.org/10.3390/jfb15070173

Francois, P., Izart, M., Fasham, T., Smail, Y., Jannot, M., Le Goff, S., Beres, F., Troizier-Cheyne, M., Bergman, S., Moussally, C., Abdel-Gawad, S., Dursun, E., Ceinos, R., Caussin, E., & Attal, J.-P. (2025). Proposal of a modular classification system for direct dental resin composites based on clinical applications. *Polymers, 17*(5), 564. https://doi.org/10.3390/polym17050564

Garoushi, S., Gargoum, A., Vallittu, P. K., & Lassila, L. (2018). Short fiber-reinforced composite restorations: A review of the current literature. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry, 9*(3), e12330. https://doi.org/10.1111/jicd.12330

Ismail, E. H. (2021). Color interaction between resin composite layers: An overview. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 33*(8), 1105–1117. https://doi.org/10.1111/jerd.12806

Hashemikamangar, S. S., Farahani, S., Khoshgoo, S., & Doroudgar, P. (2023). Comparative efficacy of four stain removal methods for bleach-shade composite resins after immersion in staining solutions: An in vitro study. *International Journal of Dentistry, 2023*, 8909288. https://doi.org/10.1155/2023/8909288

Ilie, N., Bucuta, S., & Draenert, M. (2013). Bulk-fill resin-based composites: An in vitro assessment of their mechanical performance. *Operative Dentistry, 38*(6), 618–625. https://doi.org/10.2341/12-395-L

Ilie, N., & Hickel, R. (2011). Resin composite restorative materials. *Australian Dental Journal, 56*(Suppl. 1), 59–66. https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01296.x

Korkut, B., Tarçın, B., Atalı, P. Y., & Özcan, M. (2023). Introduction of a new classification for resin composites with enhanced color adjustment potential. *Current Oral Health Reports, 10*(4), 223–232. https://doi.org/10.1007/s40496-023-00351-2

Maiti, S., Islam, M. R., Uddin, M. A., Afroj, S., Eichhorn, S. J., & Karim, N. (2022). Sustainable fiber-reinforced composites: A review. *Advanced Sustainable Systems, 6*(11), 2200258. https://doi.org/10.1002/adsu.202200258

Makvandi, P., Jamaledin, R., Jabbari, M., Nikfarjam, N., & Borzacchiello, A. (2018). Antibacterial quaternary ammonium compounds in dental materials: A systematic review. *Dental Materials, 34*(6), 851–867. https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.03.014

Miletic, V., Komlenic, V., Bajuk-Bogdanović, D., Stasic, J., Petrovic, V., & Savic-Stankovic, T. (2024). Preheating and “snow-plow” composite application technique affect double bond conversion but not bond strength to dentine. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 36*(6), 951–961. https://doi.org/10.1111/jerd.13218

Paravina, R. D., Ontiveros, J. C., & Powers, J. M. (2002). Curing-dependent changes in color and translucency parameter of composite bleach shades. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 14*(3), 158–166. https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2002.tb00516.x

Ritter, A. V., Boushell, L. W., & Walter, R. (Eds.). (2018). *Sturdevant's art and science of operative dentistry* (7th ed.). Elsevier.

Riva, Y. R., & Rahman, S. F. (2019). Dental composite resin: A review. *AIP Conference Proceedings, 2193*(1), Article 020011. https://doi.org/10.1063/1.5139331

Sakaguchi, R. L., & Powers, J. M. (2012). Restorative materials—Composites and polymers. In R. L. Sakaguchi & J. M. Powers (Eds.), *Craig's restorative dental materials* (13th ed., pp. 161–198). Elsevier.

Tsujimoto, A., Barkmeier, W. W., Takamizawa, T., Latta, M. A., & Miyazaki, M. (2017). Depth of cure, flexural properties and volumetric shrinkage of low and high viscosity bulk-fill giomers and resin composites. *Dental Materials Journal, 36*(2), 205–213. https://doi.org/10.4012/dmj.2016-131

Zhou, X., Huang, X., Li, M., Peng, X., Wang, S., Zhou, X., & Cheng, L. (2019). Development and status of resin composite as dental restorative materials. *Journal of Applied Polymer Science, 136*(44), 48180. https://doi.org/10.1002/app.48180

BÖLÜM 0

TÜKÜRÜK VE ORAL HOMEOSTAZ: BİYOLOJİK TEMELLER

MEHMET ALPEREN ŞAHİN[1]

Giriş

Oral kavite, dış çevre ile sürekli temas halinde bulunan, bu nedenle çok sayıda biyolojik, mekanik ve kimyasal etkiye maruz kalan dinamik bir ekosistemdir. Beslenme, konuşma, çiğneme, yutma ve savunma gibi yaşamsal fonksiyonların gerçekleştirildiği bu kompleks yapı içerisinde oral dokuların sağlığının korunabilmesi çok sayıda biyolojik mekanizmanın eş zamanlı ve uyum içerisinde çalışabilmesine bağlıdır. Bu mekanizmalar arasında tükürük, sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik nitelikler sayesinde merkezi bir role sahiptir (Baker & ark., 2024; Nagakubo & Kaibori, 2023). Uzun yıllar boyunca tükürük sadece ağız dokularını nemlendiren ve sindirimin başlangıcına katkıda bulunan bir sıvı olarak değerlendirilmiştir. Fakat son dönemde moleküler biyoloji, immünoloji ve oral mikrobiyoloji alanlarında elde edilen veriler, tükürüğün sanılandan çok daha kapsamlı fonksiyonlara sahip olduğunu ortaya koymuştur. Günümüzde tükürük; oral homeostazın sürdürülmesinde görev alan, diş sert dokularının bütünlüğünü koruyan, mikrobiyal dengeyi düzenleyen, konak savunmasına katkı sağlayan ve hatta sistemik hastalıkların tanısında kullanılabilen karmaşık bir biyolojik sıvı olarak kabul edilmektedir (Benni & ark., 2024; Nagakubo & Kaibori, 2023).

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi A.D. Kütahya/ Türkiye Orcid: 0000-0003-0462-4067

Oral sağlık açısından değerlendirildiğinde, tükürük yalnızca mevcut dokuların korunmasında değil, aynı zamanda çevresel değişikliklere karşı adaptasyonun sağlanmasında da kritik bir öneme sahiptir. Besinlerle alınan asitlere, bakteriyel metabolizma sonucu oluşan asidik ürünlere, mekanik aşınmalara ve enfeksiyöz etkenlere karşı ilk savunma hattını oluşturan tükürük, ağız ortamının biyolojik dengesinin korunmasında vazgeçilmez bir role sahiptir. Bu nedenle tükürük miktarında veya bileşiminde meydana gelen değişiklikler sadece ağız kuruluğu hissine neden olmakla kalmayıp, çürük gelişiminden periodontal hastalıklara, oral enfeksiyonlardan mukozal bozukluklara kadar çok sayıda patolojik durumun ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilmektedir (Dawes & ark., 2015; Pedersen & ark., 2018; Villa & ark., 2015). Modern diş hekimliğinde tükürük artık sadece destekleyici bir faktör olarak değil, oral sağlığın temel belirleyicilerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Koruyucu diş hekimliği uygulamalarının gelişmesi, minimal invaziv tedavi anlayışının yaygınlaşması ve bireyselleştirilmiş sağlık yaklaşımlarının önem kazanmasıyla birlikte tükürüğün biyolojik işlevlerinin daha ayrıntılı şekilde anlaşılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Günümüzde çürük risk değerlendirmesinden biyobelirteç analizlerine kadar geniş bir alanda kullanılan tükürük, geleceğin tanısal ve koruyucu uygulamalarında da önemli bir yere sahip olmaya aday görünmektedir (Benni & ark., 2024; Taba Jr & Grant, 2024).

Oral Homeostazın Sürdürülmesinde Tükürüğün Rolü

Oral homeostaz, ağız ortamında bulunan sert ve yumuşak dokular ile mikrobiyal topluluklar arasındaki dinamik dengenin korunması olarak tanımlanabilmektedir. Sağlıklı bir ağız ortamının devamlılığı, yalnızca patojen mikroorganizmaların uzaklaştırılmasıyla değil, aynı zamanda yararlı mikrobiyal toplulukların korunabilmesi, dokuların biyolojik bütünlüğünün sürdürülebilmesi ve çevresel değişikliklere karşı adaptasyonun sağlanabilmesi ile mümkündür. Tükürük, bu süreçlerin tamamında aktif rol oynayan temel biyolojik düzenleyicilerden biridir (Baker & ark., 2024; Nagakubo & Kaibori, 2023). Tükürüğün oral homeostaz üzerindeki bu kapsamlı etkileri,

sahip olduğu karmaşık biyolojik yapı ile yakından ilişkilidir. Her ne kadar büyük oranda sudan oluşan bir salgı olarak kabul edilse de tükürük, biyolojik aktivitesi son derece yüksek çok sayıda organik ve inorganik bileşen içermektedir. Sağlıklı bireylerde günlük yaklaşık 0,5–1,5 litre arasında salgılanan tükürük; başta parotis, submandibular ve sublingual bezler olmak üzere majör tükürük bezleri ile oral mukozaya yayılmış çok sayıdaki minör bez tarafından üretilmektedir. Gün içerisinde salgı miktarı ve kompozisyonu değişkenlik gösterebilmekte, böylece ağız ortamında meydana gelen fizyolojik ve çevresel değişikliklere uyum sağlanabilmektedir (Dawes & ark., 2015; Humphrey & Williamson, 2001).

Tükürüğün yaklaşık %99'unu su oluştururken, geri kalan kısmını elektrolitler, proteinler, glikoproteinler, enzimler, immünolojik moleküller ve çeşitli biyolojik mediyatörler oluşturmaktadır.

Özellikle bikarbonat, fosfat, kalsiyum ve florür iyonları oral çevrenin kimyasal dengesinin korunmasında kritik rol oynayabilirken, müsinler, statherin, histatinler ve prolinden zengin proteinler gibi biyolojik bileşenler oral dokuların korunmasına katkı sağlayabilmektedir. Bunun yanında lizozim, laktoferrin, defensinler ve sekretuar immünoglobulin A gibi moleküller konak savunmasının önemli elemanlarını oluşturmaktadır (Amerongen & Veerman, 2002; Humphrey & Williamson, 2001; Kaczor-Urbanowicz & ark., 2017).

Son yıllarda gerçekleştirilen proteomik çalışmalar, tükürük içerisinde binlerce farklı protein ve peptidin bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, tükürüğün yalnızca ağız dokularını nemlendiren pasif bir salgı olmadığını; çevresel değişikliklere yanıt verebilen, mikrobiyal dengeyi düzenleyebilen ve doku bütünlüğünün korunmasına katkı sağlayabilen son derece dinamik bir biyolojik sistem olduğunu göstermektedir. Özellikle statherin ve prolinden zengin proteinlerin pelikıl oluşumundaki rolleri, histatinlerin antimikrobiyal ve yara iyileşmesini destekleyici nitelikleri ile müsinlerin oral yüzeyleri korumadaki etkileri değerlendirildiğinde, tükürüğün oral homeostazın moleküler

düzeydeki temel düzenleyicilerinden biri olduğu çok daha iyi anlaşılmaktadır (Amerongen & Veerman, 2002; Helmerhorst & Oppenheim, 2007; Kaczor-Urbanowicz & ark., 2017).

Tükürüğün oral homeostaza katkısı öncelikle sürekli yıkama etkisi ile başlamaktadır. Gün boyunca devam eden tükürük akışı, besin artıklarının, dökülen epitel hücrelerinin ve serbest halde bulunan mikroorganizmaların ağız ortamından uzaklaştırılmasına yardımcı olmakta, bu mekanik temizleme etkisi, özellikle çiğneme ve yutkunma fonksiyonları sırasında daha da belirginleşmektedir. Böylelikle potansiyel patojenlerin oral yüzeylerde birikmesi ve biyofilm oluşumunun kontrolsüz şekilde ilerlemesi engellenmiş olur (Dawes & ark., 2015; Pedersen & ark., 2018).

Bununla birlikte tükürüğün görevi yalnızca mekanik temizleme ile sınırlı değildir. Günümüzde oral mikrobiyomun korunmasının, ağız sağlığının devamlılığı açısından en az patojenlerin baskılanması kadar önemli olduğu bilinmektedir. Sağlıklı bir oral kavitede yüzlerce farklı mikroorganizma türü bir arada yaşamaktadır. Bu mikroorganizmalar arasındaki dengenin bozulması, disbiyozis olarak adlandırılan ve çürük ile periodontal hastalıkların gelişiminde temel rol oynayan bir sürece yol açabilmektedir (Baker & ark., 2024; Nagakubo & Kaibori, 2023).

Tükürük; içerdiği proteinler, glikoproteinler ve antimikrobiyal moleküller aracılığıyla mikrobiyal kompozisyonun düzenlenmesine katkı sağlayarak bu dengenin korunmasını sağlayabilmektedir (Amerongen & Veerman, 2002; Nagakubo & Kaibori, 2023).

Oral homeostazın sürdürülmesinde tükürüğün bir diğer önemli görevi ise çevresel pH değişikliklerinin kontrol edilmesidir. Beslenme sonrasında veya bakteriyel metabolizma sonucunda ağız ortamında meydana gelen asidik değişimler, mine yüzeyinde demineralizasyonun başlamasına sebep olabilmektedir. Tükürük; içerisinde bulunan bikarbonat, fosfat ve protein tampon sistemleri ile bu asit yükünü nötralize ederek pH'ın fizyolojik sınırlar içerisinde tutulabilmesini sağlayarak diş sert dokularının asidik saldırılara karşı

korunmasına katkıda bulunmaktadır (Dawes & ark., 2015; Humphrey & Williamson, 2001).

Tükürük aynı zamanda oral dokuların fonksiyonel bütünlüğünün sürdürülmesinde de önemli rol oynayabilmektedir. Ağız mukozasının sürekli olarak nemli tutulması, epitel bütünlüğünün korunabilmesi ve mekanik travmalara karşı direnç kazanılabilmesi açısından elzemdir. Yetersiz tükürük salgısı bulunan bireylerde mukozal hassasiyet, yanma hissi, ülserasyonlar ve enfeksiyonlara yatkınlık gibi klinik bulguların daha sık görülmesi, tükürüğün bu koruyucu etkisini açıkça ortaya koymaktadır (Dawes & ark., 2015; Villa & ark., 2015).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, tükürüğün yalnızca mevcut biyolojik dengeyi korumakla kalmadığını, aynı zamanda oral ekosistemde meydana gelen değişikliklere karşı adaptif yanıtların gelişmesinde de görev aldığını göstermektedir (Nagakubo & Kaibori, 2023). İçeriğinde bulunan çok sayıda protein, peptit ve sinyal molekülü sayesinde tükürük, oral çevrede meydana gelen biyolojik değişimlere hızlı yanıt verebilmekte ve homeostatik dengenin yeniden kurulmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle günümüzde tükürük, oral homeostazın pasif bir bileşeni olarak değil, aktif ve dinamik bir düzenleyicisi olarak değerlendirilmektedir (Helmerhorst & Oppenheim, 2007; Nagakubo & Kaibori, 2023).

Diş Sert Dokularının Korunmasında Tükürüğün Rolü

Ağız ortamında bulunan diş sert dokuları, yaşam boyunca sürekli olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlere maruz kalmaktadır. Besinlerle alınan asitler, bakteriyel metabolizma ürünleri, mekanik aşınmalar ve sıcaklık değişimleri mine ve dentin dokularında yapısal değişikliklere neden olabilmektedir. Sağlıklı bireylerde bu etkilerin önemli bir kısmı tükürüğün koruyucu mekanizmaları sayesinde dengelenmekte ve diş sert dokularının bütünlüğü korunmaktadır. Bu nedenle tükürük, sadece ağız ortamının nemlendirilmesinden sorumlu bir salgı değil, aynı zamanda diş sert dokularının devamlılığını sağlayan biyolojik bir koruma sistemi olarak

değerlendirilebilmektedir (Dawes & ark., 2015; Lussi & Carvalho, 2015).

Diş sert dokularının korunmasında tükürüğün en önemli fonksiyonlarından biri pelikıl tabakasının oluşumuna katkıda bulunabilmesidir. Pelikıl, diş yüzeyinin temizlenmesinden sonraki ilk dakikalar içerisinde tükürük kaynaklı proteinler ve glikoproteinlerin mine yüzeyine adsorbe olması ile meydana gelen ince, hücresiz bir biyolojik tabakadır (Hannig & Hannig, 2009; Hannig & Hannig, 2014). Bu yapı başlangıçta birkaç yüz nanometre kalınlığında olmasına rağmen kısa sürede organize bir biyofilm öncüsü haline gelebilmektedir. Pelikıl tabakası mine yüzeyini doğrudan çevresel etkilere maruz kalmaktan koruyarak asit difüzyonunu azaltabilmekte, sürtünmeye bağlı aşınmaları sınırlandırabilmekte ve diş sert dokuları ile ağız ortamı arasında seçici bir bariyer görevi görebilmektedir (Hannig & Hannig, 2014). Pelikılın koruyucu etkisi özellikle eroziv aşınmalar açısından önem taşımaktadır. Günümüzde asitli içeceklerin ve düşük pH'lı gıdaların tüketimindeki artış sebebiyle dental erozyon önemli bir klinik problem haline gelmiştir. Tükürük kaynaklı proteinlerden oluşan pelikıl tabakası, asidik ajanların mine yüzeyine doğrudan ulaşmasını kısmen engelleyerek mineral kaybının hızını azaltabilmektedir. Her ne kadar güçlü veya uzun süreli asit maruziyetlerinde bu koruma yetersiz kalabilse de, sağlıklı bireylerde pelikılın erozyona karşı ilk savunma hattını oluşturduğu kabul edilmektedir (Carvalho & ark., 2016).

Tükürüğün diş sert dokularını koruyabilmesindeki en kritik etkisi ise demineralizasyon ve remineralizasyon arasındaki dengeyi düzenleyebilmesidir. Oral kavitede pH'ın kritik seviyelerin altına düşmesiyle birlikte mine kristallerinden kalsiyum ve fosfat iyonları çözünmeye başlamaktadır. Bu olay demineralizasyon olarak tanımlanmakta ve çürük oluşumunun ilk basamağını oluşturmaktadır (Featherstone, 2004; Pitts & ark., 2017). Ancak ağız ortamı tekrar nötral pH değerlerine ulaştığında, tükürük içerisinde bulunan kalsiyum, fosfat ve florür iyonları sayesinde kaybedilen minerallerin yeniden mine yapısına kazandırılması mümkün

olabilmektedir. Remineralizasyon olarak adlandırılan bu süreç, erken dönem çürük lezyonlarının ilerlemesini durdurabilmekte ve hatta bazı durumlarda başlangıç lezyonlarının tamamen iyileşmesini sağlayabilmektedir (Amaechi, 2015; Pitts & ark., 2017).

Tükürük, mine yüzeyinin çevresinde sürekli olarak kalsiyum ve fosfat iyonları bakımından doygun bir mikro çevre oluşturabilmektedir. Bu durum, mineral kaybına uğramış bölgelerde yeniden kristal oluşumunu destekleyen uygun koşulların meydana gelmesini sağlamaktadır. Özellikle florür varlığında remineralizasyon süreci daha etkin hale gelmekte, oluşan yeni kristaller asit çözünürlüğüne karşı daha dirençli bir yapı kazanmaktadır. Bu sebeple modern koruyucu diş hekimliği uygulamalarında florürün etkinliği değerlendirilirken tükürüğün iyon rezervuarı görevi de göz önünde bulundurulmaktadır (Amaechi, 2015; Ten Cate & Buzalaf, 2019).

Tükürüğün çürüğe karşı koruyucu etkisi yalnızca remineralizasyon ile açıklanamaz. Sürekli tükürük akışı, fermente olabilen karbonhidratların ve asit üretici mikroorganizmaların metabolik ürünlerinin ağız ortamından doğrudan uzaklaştırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanında tükürük tampon sistemleri bakteriyel asitlerin nötralizasyonunu sağlayarak demineralizasyon için gerekli olan düşük pH ortamının uzun süre devam etmesini engellemektedir. Böylece tükürük, çürük gelişimine karşı hem fiziksel hem de kimyasal düzeyde çok yönlü bir koruma mekanizması oluşturabilmektedir (Dawes & ark., 2015; Featherstone, 2004).

Günümüzde çürük hastalığının yalnızca bakteriyel bir enfeksiyon olmadığı, konak faktörleri ile çevresel faktörlerin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan biyofilm ilişkili bir hastalık olduğu kabul edilmektedir (Pitts & ark., 2017). Bu yaklaşım içerisinde tükürük, hastalık sürecini belirleyen en önemli konak faktörlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Tükürük akış hızındaki azalma, tampon kapasitesindeki düşüş veya iyon içeriğindeki değişiklikler çürük riskini önemli ölçüde arttırabilmektedir (Dawes & ark., 2015; Pitts & ark., 2017). Özellikle kserostomi görülen bireylerde kök

çürükleri, servikal lezyonlar ve yaygın mine kayıplarının sıkça görülmesi bu ilişkinin klinik açıdan en belirgin örneklerinden biridir (Villa & ark., 2015).

Tükürüğün koruyucu etkileri yalnızca mine ile sınırlı değildir. Dentin dokusu, mineral içeriğinin daha düşük olması nedeniyle asidik saldırılara karşı mineye kıyasla daha duyarlıdır. Tükürük tarafından sağlanan tamponlama ve remineralizasyon mekanizmaları dentin yüzeylerinde de koruyucu rol oynamaktadır. Özellikle kök yüzeylerinin açığa çıktığı yaşlı bireylerde, tükürüğün koruyucu özellikleri kök çürüğü gelişiminin önlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Amaechi, 2015; Ten Cate & Buzalaf, 2019).

Sonuç olarak tükürük, diş sert dokularının korunmasında çok yönlü ve vazgeçilmez fonksiyonlara sahiptir. Pelikıl oluşumunun sağlanması, demineralizasyon-remineralizasyon dengesinin düzenlenmesi, asitlerin nötralizasyonu ve çürük gelişiminin sınırlandırılması gibi mekanizmalar birlikte değerlendirildiğinde, tükürüğün diş sert dokularının biyolojik koruyucusu olarak görev yaptığı söylenebilir (Dawes & ark., 2015; Pitts & ark., 2017b). Günümüzde koruyucu ve minimal invaziv diş hekimliği yaklaşımlarının temelinde yer alan birçok mekanizmanın merkezinde tükürüğün bulunması, bu biyolojik sıvının oral sağlık açısından ne denli önemli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Amaechi, 2015; Pitts & ark., 2017).

Tükürüğün Antimikrobiyal ve İmmünolojik Fonksiyonları

Ağız boşluğu, insan vücudundaki en yoğun mikrobiyal kolonizasyon bölgelerindendir. Sağlıklı bireylerin ağız ortamında, yüzlerce farklı bakteri türünün yanı sıra mantarlar, virüsler ve diğer mikroorganizmalar yaşamlarını sürdürmektedir. Bu mikroorganizmaların büyük bölümü oral ekosistemin doğal üyeleri olmakla birlikte, çevresel koşulların değişmesi durumunda patojenik özellik gösterebilmekte ve çeşitli oral hastalıkların gelişimine katkıda bulunabilmektedir (Baker & ark., 2024; Nagakubo & Kaibori, 2023). Oral mikrobiyotanın dengeli bir şekilde

devamlılığının sağlanmasında tükürük temel düzenleyici unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir (Nagakubo & Kaibori, 2023; Wade, 2013).

Tükürüğün antimikrobiyal etkileri ilk olarak mekanik temizleme fonksiyonu ile ortaya çıkmaktadır. Sürekli tükürük akışı sayesinde, oral kavitede serbest halde bulunan mikroorganizmalar, besin artıkları ve dökülen epitel hücreleri uzaklaştırılmaktadır. Bu durum mikroorganizmaların yüzeylerde tutunmasını ve aşırı çoğalmasını sınırlandırmaktadır (Dawes & ark., 2015; Pedersen & ark., 2018). Ancak tükürüğün mikrobiyal kontrol üzerindeki etkileri yalnızca mekanik yıkama ile açıklanamayacak kadar karmaşıktır. Tükürük, çok sayıda antimikrobiyal protein ve peptit içermektedir. Bu moleküller mikroorganizmaların çoğalmasını doğrudan inhibe edebilmekte veya onların virülans özelliklerini azaltabilmektedir (Amerongen & Veerman, 2002; Gorr, 2009; Wade, 2013).

Lizozim, laktoferrin, histatinler ve defensinler bu savunma sisteminin en önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu moleküller bakteriyel hücre duvarının parçalanması, mikrobiyal metabolizmanın baskılanması ve biyofilm oluşumunun engellenmesi gibi farklı mekanizmalarla görev yapabilmektedir (Oppenheim & ark., 1988; Wade, 2013).

Laktoferrin özellikle demir bağlayıcı özelliği sayesinde mikroorganizmaların büyümesi için gerekli olan temel besin elementlerinden birinin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Benzer şekilde lizozim bakterilerin hücre duvarında bulunan peptidoglikan yapıyı parçalayarak bakterisidal etki göstermektedir. Histatinler ve defensinler ise özellikle mantarlara ve çeşitli bakterilere karşı güçlü antimikrobiyal özelliklere sahip doğal peptitler olarak tanımlanmaktadır (Amerongen & Veerman, 2002; Gorr, 2009; Oppenheim & ark., 1988).

Tükürüğün immünolojik fonksiyonları içerisinde en dikkat çekici bileşenlerden biri sekretuar immünoglobulin A'dır (sIgA). Oral mukozanın başlıca immünoglobulini olan sIgA,

mikroorganizmaların epitel yüzeylerine tutunmasını engelleyerek enfeksiyon gelişimine karşı koruma sağlayabilmektedir. Ek olarak bakterilerin aglütinasyonunu sağlayarak onların tükürük akışı ile ağız ortamından uzaklaştırılmasını kolaylaştırabilmektedir. Bu sebeple sIgA, oral mukozal bağışıklığın temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir (Brandtzaeg, 2013; Mestecky & ark., 1999).

Günümüzde tükürüğün yalnızca antimikrobiyal moleküller içeren pasif bir savunma sıvısı olmadığı anlaşılmıştır. Çok sayıda sitokin, kemokin ve immün düzenleyici molekülün tükürük içerisinde bulunabildiği tespit edilmiştir. Bu biyolojik mediyatörler, oral dokularda meydana gelen inflamatuvar olayların düzenlenmesinde ve konak yanıtının şekillendirilmesinde görev almaktadır. Böylece tükürük, doğuştan gelen ve kazanılmış bağışıklık mekanizmaları arasında önemli bir köprü görevi üstlenmektedir (Lee & Wong, 2009; Mestecky & ark., 1999).

Oral mikrobiyota ile konak arasındaki ilişkinin sürdürülebilmesinde tükürüğün seçici düzenleyici etkileri de bulunmaktadır. Güncel çalışmalar, tükürüğün yalnızca patojenleri baskılamakla kalmadığını, aynı zamanda oral ekosistemin sağlıklı üyelerinin kolonizasyonunu desteklediğini göstermektedir. Bu durum, oral sağlığın korunmasında mikroorganizmaların tamamen ortadan kaldırılmasının değil, mikrobiyal dengenin korunmasının esas olduğunu ortaya koymaktadır (Baker & ark., 2024; Nagakubo & Kaibori, 2023; Wade, 2013).

Bu nedenle günümüzde tükürük, oral bağışıklık sisteminin ayrılmaz bir bileşeni ve oral mikrobiyal homeostazın temel düzenleyicilerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Mestecky & ark., 1999; Nagakubo & Kaibori, 2023).

Tükürüğün Oral Doku Bütünlüğü ve Yara İyileşmesindeki Rolü

Oral mukoza, yaşam boyunca sürekli olarak mekanik travmalara, termal değişimlere, mikrobiyal etkenlere ve çeşitli kimyasal irritanlara maruz kalan dinamik bir dokudur. Beslenme, konuşma ve çiğneme gibi günlük fonksiyonlar sırasında oluşan mikrotravmaların büyük bölümü klinik olarak fark edilmeyecek düzeyde olsa da oral dokularda sürekli bir yenilenme ve onarım sürecinin gerçekleşmesini gerektirmektedir. Bu süreçlerin etkin şekilde sürdürülebilmesinde tükürük temel biyolojik düzenleyicilerden biri olarak görev yapmaktadır (Brand & ark., 2014; Dawes & ark., 2015).

Ağız mukozasının sağlıklı bireylerde oldukça hızlı iyileşme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Oral yaraların çoğu zaman deri yaralarına kıyasla daha kısa sürede iyileşebilmesi, uzun yıllardır araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bu farklılığın oluşmasında epitel yapısının özellikleri, yoğun vaskülarizasyon ve inflamatuvar yanıtın farklılığı gibi faktörlerin yanı sıra tükürüğün biyolojik etkilerinin de önemli rol oynadığı düşünülmektedir (Brand & ark., 2014).

Tükürük, oral dokuların nemli kalmasını sağlayarak epitel bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunabilmektedir. Sürekli hidrasyon sayesinde epitel yüzeyinde çatlak oluşumu ve mekanik hasar riski azalmakta, mukozal bariyer fonksiyonu desteklenmektedir. Özellikle tükürük akışının azaldığı durumlarda mukozal kuruluk, yanma hissi, irritasyon ve travmatik ülserasyonların daha sık görülmesi, bu koruyucu etkinin klinik önemini açıkça ortaya koymaktadır (Brand & ark., 2014; Villa & ark., 2015).

Bunun yanında tükürük, yara iyileşmesini destekleyen çok sayıda biyolojik molekül içermektedir. Epidermal büyüme faktörü (EGF), transforme edici büyüme faktörü (TGF), vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) ve sinir büyüme faktörü (NGF) gibi çeşitli büyüme faktörleri oral dokuların yenilenmesinde görev almaktadır. Bu moleküller hücre proliferasyonunu, farklılaşmasını ve

migrasyonunu destekleyerek hasarlı dokuların onarım sürecine katkıda bulunmaktadır (Brand & ark., 2014; Groeger & Meyle, 2019).

Yara iyileşmesinin erken dönemlerinde inflamasyonun kontrol altına alınması kritik öneme sahiptir. Kontrolsüz inflamatuvar yanıt doku hasarını artırabilirken yetersiz inflamasyon da enfeksiyon riskini yükseltebilmektedir. Tükürük içerisinde bulunan çeşitli immünomodülatör moleküller, inflamatuvar yanıtın dengelenmesine katkı sağlayarak optimal iyileşme koşullarının oluşmasına yardımcı olmaktadır. Bu özellik, ağız ortamında sürekli mikrobiyal maruziyet bulunmasına karşın yaraların çoğu zaman komplikasyonsuz şekilde iyileşebilmesinin sebeplerinden biri olarak kabul edilmektedir (Brand & ark., 2014; Groeger & Meyle, 2019).

Tükürüğün yara iyileşmesindeki katkıları yalnızca büyüme faktörleri ile sınırlı değildir. Tükürük içerdiği antimikrobiyal proteinler ve peptitler sayesinde yara yüzeyinde mikrobiyal yükün kontrol edilmesine de yardımcı olmaktadır. Böylece enfeksiyon riskinin azaltılması ve iyileşme sürecinin kesintiye uğramadan devam etmesi sağlanabilmektedir (Gorr, 2009; Groeger & Meyle, 2019). Özellikle histatinlerin yalnızca antimikrobiyal etki göstermediği, aynı zamanda epitel hücre migrasyonunu destekleyerek yara iyileşmesini hızlandırabildiği bilinmektedir (Oudhoff & ark., 2008). Günümüzde oral cerrahi işlemler sonrasında iyileşme sürecini etkileyen faktörler incelenirken tükürüğün biyolojik özellikleri de önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Çekim soketlerinin iyileşmesi, periodontal cerrahi sonrası doku rejenerasyonu, implant çevresi yumuşak doku adaptasyonu ve mukozal greftlerin başarısında tükürüğün doğrudan veya dolaylı katkılarının bulunduğu düşünülmektedir (Brand & ark., 2014). Bu nedenle tükürük yalnızca mevcut dokuların korunmasını sağlayan bir salgı olarak değil, aynı zamanda oral dokuların yenilenmesini destekleyen aktif bir biyolojik sistem olarak değerlendirilmelidir (Brand & ark., 2014; Oudhoff & ark., 2008).

Tükürüğün Oral Fonksiyonların Devamlılığı

Tükürüğün oral sağlık üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde çoğu zaman çürük kontrolü, antimikrobiyal savunma veya remineralizasyon gibi biyolojik mekanizmalar ön plana çıkmaktadır. Ancak tükürük aynı zamanda günlük yaşam kalitesini doğrudan etkileyen temel oral fonksiyonların sürdürülebilmesi açısından da vazgeçilmez öneme sahiptir. Konuşma, çiğneme, yutma ve tat alma gibi fonksiyonların sağlıklı şekilde gerçekleşebilmesi büyük ölçüde yeterli miktar ve uygun özellikte tükürük varlığına bağlıdır (Dawes & ark., 2015; Humphrey & Williamson, 2001; Pedersen & ark., 2018).

Oral mukozanın sürekli olarak ince bir tükürük filmi ile kaplanması, ağız içerisindeki dokular arasında kaygan bir yüzey oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum çiğneme ve konuşma sırasında oluşabilecek sürtünmeyi azaltarak dokuların travmatize olmasını önlemektedir. Tükürük eksikliği bulunan bireylerde dil hareketlerinin kısıtlanması, konuşma sırasında zorlanma ve uzun süreli konuşmalarda ağız kuruluğuna bağlı rahatsızlık hissi sık karşılaşılan klinik bulgular arasındadır (Dawes & ark., 2015; Villa & ark., 2015).

Besinlerin çiğnenmesi ve yutulması sırasında da tükürük önemli rol üstlenmektedir. Tükürük, besin partiküllerinin nemlendirilmesini ve bir araya gelerek yutulabilir bir besin kitlesi oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu fonksiyon özellikle kuru ve lifli gıdaların tüketiminde belirgin hale gelmektedir. Yetersiz tükürük salgısı bulunan bireylerde disfaji, boğazda takılma hissi ve beslenme güçlüğü gelişebilmekte, buna bağlı olarak yaşam kalitesi olumsuz etkilenebilmektedir (Nederfors, 2000; Pedersen & ark., 2018).

Tat duyusunun sağlıklı şekilde algılanabilmesi de tükürüğün varlığına bağlıdır. Tat maddelerinin tat tomurcuklarına ulaşabilmesi için öncelikle tükürük içerisinde çözünmeleri gerekmektedir. Bu sebeple tükürük miktarında veya bileşiminde meydana gelen değişiklikler tat alma fonksiyonunda bozulmalara neden

olabilmektedir. Kserostomi hastalarında sıklıkla bildirilen tat alma bozuklukları ve iştah azalması bu durumun klinik sonuçları arasında yer almaktadır (Pedersen & ark., 2018; Villa & ark., 2015). Tükürük aynı zamanda sindirim sürecinin başlangıcında da görev almaktadır. İçerdiği amilaz enzimi sayesinde karbonhidratların parçalanması ağız ortamında başlamaktadır. Her ne kadar sindirimin büyük bölümü gastrointestinal sistemde gerçekleşse de oral fazın etkin şekilde sürdürülmesi besinlerin sonraki sindirim aşamalarına hazırlanması açısından önem taşımaktadır (Humphrey & Williamson, 2001; Pedersen & ark., 2018).

Protez kullanan bireylerde tükürüğün fonksiyonel önemi daha da belirgin hale gelmektedir. Total veya parsiyel protezlerin retansiyonu ile stabilitesinde protez yüzeyi ile oral mukoza arasında bulunan ince tükürük tabakası önemli rol oynamaktadır. Tükürük miktarının azalması protez kullanım konforunu azaltmakta, protez hareketliliğini artırmakta ve mukozal irritasyon riskini yükseltmektedir. Bu sebeple protez başarısının değerlendirilmesinde yalnızca protezin mekanik özellikleri değil, hastanın tükürük fonksiyonları da dikkate alınmalıdır (Fenlon & Sherriff, 2008; Fure, 2004).

Bu bilgiler ışığında değerlendirildiğinde tükürük, yalnızca biyolojik koruma mekanizmalarının bir parçası değil, aynı zamanda günlük yaşamın sürdürülmesini sağlayan temel oral fonksiyonların vazgeçilmez bileşenlerinden biridir. Tükürük miktarındaki veya kalitesindeki değişikliklerin bireyin yaşam kalitesini doğrudan etkileyebilmesi, bu biyolojik sıvının önemini daha da artırmaktadır (Dawes & ark., 2015; Pedersen & ark., 2018; Villa & ark., 2015).

Kserostomi ve Tükürük Fonksiyon Kaybının Oral Sağlık Üzerindeki Etkileri

Tükürük, oral homeostazın sürdürülmesinde merkezi role sahip olduğundan, miktarında veya fonksiyonel özelliklerinde meydana gelen bozulmalar çok sayıda oral ve sistemik soruna yol açabilmektedir. Kserostomi, bireyin ağız kuruluğu hissini ifade eden

subjektif bir semptom olup, çoğu zaman tükürük akış hızındaki azalma ile ilişkilidir. Bununla birlikte bazı bireylerde normal tükürük miktarına rağmen tükürük kompozisyonundaki değişikliklere bağlı olarak da ağız kuruluğu hissi gelişebilmektedir (Nederfors, 2000; Villa & ark., 2015).

Kserostomi günümüzde özellikle yaşlı bireylerde yaygın olarak görülen önemli bir sağlık problemidir. Bunun başlıca nedenleri arasında çoklu ilaç kullanımı, baş-boyun bölgesine uygulanan radyoterapi, otoimmün hastalıklar ve sistemik sağlık sorunları yer almaktadır. Özellikle Sjögren sendromu gibi tükürük bezlerini etkileyen hastalıklarda ciddi düzeyde tükürük fonksiyon kaybı ortaya çıkabilmektedir (Ri, 2005; Villa & ark., 2015).

Tükürük akışındaki azalma ilk olarak ağız mukozasında kuruluk hissi ile kendini göstermektedir. Ancak zamanla bu durum mukozal hassasiyet, yanma hissi, çatlaklar ve ülserasyonlarla birlikte daha belirgin hale gelebilmektedir. Oral dokuların doğal koruma mekanizmalarının zayıflaması, enfeksiyonlara yatkınlığı artırmakta ve özellikle fırsatçı fungal enfeksiyonların görülme sıklığını yükseltmektedir (Nederfors, 2000; Villa & ark., 2015).

Diş sert dokuları açısından değerlendirildiğinde kserostominin en önemli sonuçlarından biri çürük riskindeki belirgin artıştır. Tükürüğün tamponlama kapasitesinin azalması, mekanik temizleme etkisinin ortadan kalkması ve remineralizasyon potansiyelinin düşmesi sonucunda çürük gelişimi hızlanmaktadır. Özellikle servikal bölgelerde ve kök yüzeylerinde görülen yaygın çürükler, tükürük fonksiyon kaybının karakteristik klinik bulguları arasında kabul edilmektedir (Nederfors, 2000; Pitts & ark., 2017).

Periodontal dokular da tükürük eksikliğinden olumsuz etkilenmektedir. Oral mikrobiyal dengenin bozulması ve biyofilm birikiminin artması periodontal inflamasyonun gelişimini kolaylaştırabilmektedir (Nederfors, 2000; Wade, 2013). Ayrıca ağız kokusu, konuşma güçlüğü, yutma problemleri ve protez kullanımında rahatsızlık gibi sorunlar da yaşam kalitesini önemli

ölçüde azaltmaktadır (Fenlon & Sherriff, 2008; Nederfors, 2000; Villa & ark., 2015).

Bu nedenle günümüzde kserostomi yalnızca bir semptom olarak değil, oral sağlığı çok yönlü etkileyen önemli bir klinik durum olarak değerlendirilmektedir. Tükürük fonksiyonlarının korunması ve gerektiğinde desteklenmesi, modern koruyucu diş hekimliği uygulamalarının önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir (Dawes & ark., 2015; Villa & ark., 2015).

Tükürükte Biyobelirteçler ve Geleceğin Tanısal Aracı Olarak Tükürük

Son yıllarda biyoteknoloji, moleküler biyoloji ve tanısal tıp alanlarındaki gelişmeler, tükürüğün yalnızca oral sağlığın korunmasında görev alan bir biyolojik sıvı olmadığını, aynı zamanda önemli bir tanısal materyal olarak da değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Geleneksel olarak kan, idrar ve doku örnekleri üzerinden gerçekleştirilen birçok biyobelirteç analizinin günümüzde tükürük kullanılarak da yapılabilmesi mümkün hale gelmiştir (Benni & ark., 2024; Kaczor-Urbanowicz & ark., 2017).

Bu gelişmeler, tükürüğün modern tıp ve diş hekimliğinde giderek artan bir ilgi odağı haline gelmesini sağlamıştır. Tükürüğün tanısal açıdan önem kazanmasının temel nedenlerinden biri, örnekleme işleminin kolay, hızlı, ekonomik ve non invaziv olmasıdır. Kan örneklerinin aksine ağrıya neden olmaması, özel ekipman gerektirmemesi ve enfeksiyon riski oluşturmaması, özellikle çocuklar, yaşlı bireyler ve sistemik hastalıklara sahip hastalarda önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca tekrarlayan örneklemelerin kolaylıkla yapılabilmesi, hastalıkların izlenmesinde ve tedaviye verilen yanıtın değerlendirilmesinde tükürüğü değerli bir biyolojik materyal haline getirmektedir (Benni & ark., 2024; Lee & Wong, 2009).

Günümüzde tükürük içerisinde binlerce farklı biyolojik molekülün bulunduğu bilinmektedir. Proteinler, peptitler, hormonlar, enzimler,

sitokinler, metabolitler, nükleik asitler ve mikrobiyal ürünler bu bileşenler arasında yer almaktadır. Bu moleküllerin bir kısmı lokal olarak oral dokulardan kaynaklanırken, önemli bir bölümü sistemik dolaşımdan tükürüğe geçebilmektedir. Bu durum, tükürüğün yalnızca oral hastalıkların değil, aynı zamanda birçok sistemik hastalığın değerlendirilmesinde de kullanılabilmesine olanak tanımaktadır (Kaczor-Urbanowicz & ark., 2017; Lee & Wong, 2009).

Son yıllarda "salivaomics" kavramı ortaya çıkmıştır. Salivaomics; tükürük içerisinde bulunan biyolojik bileşenlerin kapsamlı şekilde analiz edilmesini ifade eden ve proteomik, genomik, transkriptomik, metabolomik ve mikrobiyomik yaklaşımları içeren geniş bir araştırma alanıdır. Bu yaklaşım sayesinde tükürüğün moleküler içeriği çok daha ayrıntılı şekilde incelenebilmekte ve hastalıklarla ilişkili yeni biyobelirteçlerin tanımlanması mümkün olmaktadır (Spielmann & Wong, 2011; Wong, 2012).

Oral Hastalıkların Tanısında Tükürüğün Kullanımı

Diş hekimliği açısından değerlendirildiğinde tükürük analizleri özellikle çürük, periodontal hastalıklar ve oral kanserlerin erken tanısında umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır. Çürük hastalığı ile ilişkili bakterilerin miktarı, tükürük akış hızı, tampon kapasitesi ve çeşitli biyokimyasal parametreler bireysel çürük riskinin belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Böylece koruyucu uygulamaların bireye özgü şekilde planlanması mümkün hale gelmektedir (Benni & ark., 2024; Pitts & ark., 2017; Spielmann & Wong, 2011).

Periodontal hastalıklarda ise inflamatuvar sitokinler, matriks metalloproteinazlar ve çeşitli doku yıkım ürünlerinin tükürükte ölçülebilmesi sayesinde hastalığın aktivitesi hakkında bilgi edinilebilmektedir. Geleneksel klinik ve radyografik yöntemler çoğu zaman geçmiş doku kaybını gösterirken, biyobelirteç analizleri devam eden biyolojik süreçler hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Bu durum periodontal hastalıkların erken dönemde tespit edilmesine

katkıda bulunabilecek önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir (Giannobile & ark., 2009; Miller & ark., 2006).

Oral skuamöz hücreli karsinom başta olmak üzere çeşitli oral malignitelerde de tükürük biyobelirteçlerinin kullanımı üzerine yoğun araştırmalar yürütülmektedir. Erken tanının prognoz üzerinde belirleyici olduğu oral kanserlerde, tükürük temelli biyobelirteçlerin gelecekte tarama programlarında kullanılabileceği düşünülmektedir (Wong, 2006; Yakob & ark., 2014).

Sistemik Hastalıkların Değerlendirilmesinde Tükürük

Tükürüğün tanısal değeri yalnızca ağız hastalıkları ile sınırlı değildir. Günümüzde diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, otoimmün hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar ve çeşitli enfeksiyonların tanı ve takibinde kullanılabilecek tükürük biyobelirteçleri üzerinde çalışmalar yürütülmektedir (Benni & ark., 2024; Kaczor-Urbanowicz & ark., 2017; Spielmann & Wong, 2011).

Örneğin glukoz düzeyleri ile tükürük biyokimyasal parametreleri arasındaki ilişkinin gösterilmesi, diyabetin izlenmesinde non invaziv yöntemlerin geliştirilmesine yönelik önemli adımların atılmasını sağlamıştır. Benzer şekilde kortizol ölçümleri, stres yanıtının değerlendirilmesinde ve bazı endokrinolojik hastalıkların araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Javaid & ark., 2016; Kirschbaum & Hellhammer, 1989).

COVID-19 pandemisi sırasında tükürüğün tanısal potansiyeli daha da belirgin hale gelmiştir. Nazofaringeal sürüntü örneklerine alternatif olarak kullanılan tükürük örnekleri, enfeksiyon hastalıklarında non invaziv tanı yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır (Butler-Laporte & ark., 2021; To & ark., 2020). Bu süreç, tükürüğün yalnızca diş hekimliği açısından değil, genel tıp uygulamaları açısından da değerli bir biyolojik örnek olduğunu ortaya koymuştur (Benni & ark., 2024; To & ark., 2020).

Geleceğe Yönelik Perspektifler

Yapay zekâ destekli analiz sistemleri, mikro akışkan teknolojiler ve taşınabilir biyosensörlerin geliştirilmesiyle birlikte tükürük temelli tanısal yöntemlerin klinik kullanıma daha fazla entegre olması beklenmektedir (Lee & Wong, 2009; Spielmann & Wong, 2011; Wong, 2012). Gelecekte diş hekimi koltuğunda birkaç dakika içerisinde gerçekleştirilebilecek tükürük analizleri ile bireyin çürük riski, periodontal hastalık aktivitesi veya çeşitli sistemik hastalıklara ilişkin biyolojik göstergeler değerlendirilebilecektir (Giannobile & ark., 2009; Wong, 2006).

Kişiselleştirilmiş tıp ve koruyucu sağlık yaklaşımlarının önem kazandığı günümüzde, tükürüğün sunduğu non invaziv ve çok yönlü tanısal olanaklar daha da değerli hale gelmektedir (Benni & ark., 2024; Kaczor-Urbanowicz & ark., 2017). Bu sebeple tükürük, yalnızca oral sağlığın korunmasında görev alan biyolojik bir sıvı olarak değil, aynı zamanda geleceğin tanısal araçlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Spielmann & Wong, 2011; Wong, 2012).

Sonuç

Tükürük, uzun yıllar boyunca ağız dokularını nemlendiren ve sindirimin başlangıcına katkıda bulunan bir salgı olarak değerlendirilmiş olsa da günümüzde sahip olduğu biyolojik fonksiyonların çok daha kapsamlı olduğu bilinmektedir. Oral homeostazın sürdürülebilmesi, diş sert dokularının korunabilmesi, demineralizasyon ve remineralizasyon dengesinin düzenlenebilmesi, oral mikrobiyal ekosistemin kontrol edilebilmesi ve immünolojik savunmanın desteklenebilmesi gibi çok sayıda yaşamsal süreç doğrudan veya dolaylı olarak tükürüğün varlığına bağlıdır. Ek olarak tükürük oral mukozanın bütünlüğünün korunmasında ve yara iyileşmesinin desteklenmesinde önemli rol oynamaktadır. İçeriğinde bulunan büyüme faktörleri, antimikrobiyal proteinler ve immün düzenleyici moleküller sayesinde oral dokuların yenilenmesine katkı sağlamakta ve enfeksiyonlara karşı koruyucu etki gösterebilmektedir. Bunun yanında konuşma,

çiğneme, yutma ve tat alma gibi temel oral fonksiyonların sağlıklı şekilde sürdürülebilmesi de yeterli tükürük varlığına bağlıdır.

Tükürük miktarında veya bileşiminde meydana gelen değişiklikler yalnızca ağız kuruluğu hissine neden olmakla kalmamakta; çürük gelişimi, periodontal hastalıklar, oral enfeksiyonlar, mukozal lezyonlar ve yaşam kalitesinde azalma gibi çok sayıda olumsuz sonuca yol açabilmektedir. Bu nedenle tükürük fonksiyonlarının korunması, günümüz koruyucu ve minimal invaziv diş hekimliği yaklaşımlarının temel hedeflerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Son yıllarda moleküler biyoloji ve biyoteknoloji alanlarında yaşanan gelişmeler, tükürüğün tanısal potansiyelini de ortaya koymuştur. Tükürük içerisinde bulunan çok sayıdaki biyobelirteç sayesinde hem oral hem de sistemik hastalıkların erken tanısı, risk değerlendirmesi ve tedavi takibi mümkün hale gelmektedir. Özellikle salivaomics alanında elde edilen bulgular, tükürüğün gelecekte kişiselleştirilmiş sağlık uygulamalarında ve non invaziv tanı yöntemlerinde önemli bir yer edineceğini göstermektedir.

Sonuç olarak tükürük, ağız ortamının biyolojik dengesini sağlayan pasif bir salgı değil; oral sağlık, genel sağlık ve yaşam kalitesinin sürdürülmesinde merkezi rol oynayan dinamik bir biyolojik sistemdir. Güncel bilimsel veriler ışığında değerlendirildiğinde, tükürüğün fonksiyonlarının daha iyi anlaşılması ve klinik uygulamalara daha etkin şekilde entegre edilmesi, hem diş hekimliği hem de tıp alanında yeni tanısal ve terapötik yaklaşımların geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

Amaechi BT. Remineralization therapies for initial caries lesions. Curr Oral Health Rep. 2015;2(2):95–101.

Amerongen AVN, Veerman ECI. Saliva—the defender of the oral cavity. Oral Dis. 2002;8(1):12–22.

Baker JL, Mark Welch JL, Kauffman KM, McLean JS, He X. The oral microbiome: diversity, biogeography and human health. Nat Rev Microbiol. 2024;22(2):89–104.

Benni D, Pallavi K, Maddukuri T, Singh R, Gahlot JK, Basu P, Kumari A. Salivary diagnostics: bridging dentistry and medicine: a systematic review. Bioinformation. 2024;20(12):1754–1763.

Brand HS, Ligtenberg AJM, Veerman ECI. Saliva and wound healing. Monogr Oral Sci. 2014;24:52–60.

Brandtzaeg P. Secretory IgA: designed for anti-microbial defense. Front Immunol. 2013;4:222.

Butler-Laporte G, Lawandi A, Schiller I, Yao M, Dendukuri N, McDonald EG, Lee TC. Comparison of saliva and nasopharyngeal swab nucleic acid amplification testing for detection of SARS-CoV-2: a systematic review and meta-analysis. JAMA Intern Med. 2021;181(3):353–360.

Carvalho TS, Baumann T, Lussi A. Does erosion progress differently on teeth already presenting clinical signs of erosive tooth wear than on sound teeth? An in vitro pilot trial. BMC Oral Health. 2017;17(1):14.

Dawes C, Pedersen AML, Villa A, Ekström J, Proctor GB, Vissink A, Aframian D, McGowan R, Aliko A, Narayana N, Sia YW, Joshi RK, Jensen SB, Kerr AR, Wolff A. The functions of human saliva: a review sponsored by the World Workshop on Oral Medicine VI. Arch Oral Biol. 2015;60(6):863–874.

Featherstone JDB. The continuum of dental caries—evidence for a dynamic disease process. J Dent Res. 2004;83(Spec Iss C):C39–C42.

Fenlon MR, Sherriff M. An investigation of factors influencing patients' satisfaction with new complete dentures using structural equation modelling. J Dent. 2008;36(6):427–434.

Fox RI. Sjögren's syndrome. Lancet. 2005;366(9482):321–331.

Fure S. Ten-year cross-sectional and incidence study of coronal and root caries and some related factors in elderly Swedish individuals. Gerodontology. 2004;21(3):130–140.

Giannobile WV, Beikler T, Kinney JS, Ramseier CA, Morelli T, Wong DT. Saliva as a diagnostic tool for periodontal disease: current state and future directions. Periodontol 2000. 2009;50(1):52–64.

Gorr SU. Antimicrobial peptides of the oral cavity. Periodontol 2000. 2009;51(1):152–180.

Groeger S, Meyle J. Oral mucosal epithelial cells. Front Immunol. 2019;10:208.

Hannig C, Hannig M. The oral cavity—a key system to understand substratum-dependent bioadhesion on solid surfaces in man. Clin Oral Investig. 2009;13(2):123–139.

Hannig M, Hannig C. The pellicle and erosion. In: Lussi A, Ganss C, editors. Erosive Tooth Wear: From Diagnosis to Therapy. Monogr Oral Sci. Vol. 25. Basel: Karger; 2014. p. 206–214.

Helmerhorst EJ, Oppenheim FG. Saliva: a dynamic proteome. J Dent Res. 2007;86(8):680–693.

Humphrey SP, Williamson RT. A review of saliva: normal composition, flow, and function. J Prosthet Dent. 2001;85(2):162–169.

Javaid MA, Ahmed AS, Durand R, Tran SD. Saliva as a diagnostic tool for oral and systemic diseases. J Oral Biol Craniofac Res. 2016;6(1):67–76.

Kaczor-Urbanowicz KE, Martin Carreras-Presas C, Aro K, Tu M, Garcia-Godoy F, Wong DT. Saliva diagnostics—current views and directions. Exp Biol Med (Maywood). 2017;242(5):459–472.

Kirschbaum C, Hellhammer DH. Salivary cortisol in psychobiological research: an overview. Neuropsychobiology. 1989;22(3):150–169.

Lee YH, Wong DT. Saliva: an emerging biofluid for early detection of diseases. Am J Dent. 2009;22(4):241–248.

Lussi A, Carvalho TS. The future of fluorides and other protective agents in erosion prevention. Caries Res. 2015;49(Suppl 1):18–29.

Mestecky J, Russell MW, Elson CO. Intestinal IgA: novel views on its function in the defence of the largest mucosal surface. Gut. 1999;44(1):2–5.

Miller CS, King CP Jr, Langub MC, Kryscio RJ, Thomas MV. Salivary biomarkers of existing periodontal disease: a cross-sectional study. J Am Dent Assoc. 2006;137(3):322–329.

Nagakubo D, Kaibori Y. Oral microbiota: the influences and interactions of saliva, IgA, and dietary factors in health and disease. Microorganisms. 2023;11(9):2307.

Nederfors T. Xerostomia and hyposalivation. Adv Dent Res. 2000;14(1):48–56.

Oppenheim FG, Xu T, McMillian FM, Levitz SM, Diamond RD, Offner GD, Troxler RF. Histatins, a novel family of histidine-rich proteins in human parotid secretion: isolation, characterization, primary structure, and fungistatic effects on Candida albicans. J Biol Chem. 1988;263(16):7472–7477.

Oudhoff MJ, Bolscher JGM, Nazmi K, Kalay H, van't Hof W, Amerongen AVN, Veerman ECI. Histatins are the major wound-closure stimulating factors in human saliva as identified in a cell culture assay. FASEB J. 2008;22(11):3805–3812.

Pedersen AML, Sørensen CE, Proctor GB, Carpenter GH. Salivary functions in mastication, taste and textural perception, swallowing and initial digestion. Oral Dis. 2018;24(8):1399–1416.

Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, Ekstrand K, Weintraub JA, Ramos-Gomez F, Tagami J, Twetman S, Tsakos G, Ismail AI. Dental caries. Nat Rev Dis Primers. 2017;3:17030.

Spielmann N, Wong DT. Saliva: diagnostics and therapeutic perspectives. Oral Dis. 2011;17(4):345–354.

Taba M Jr, Grant MM. Salivary biomarkers for oral and systemic diseases. Front Dent Med. 2024;5:1429305.

Ten Cate JM, Buzalaf MAR. Fluoride mode of action: once there was an observant dentist. J Dent Res. 2019;98(7):725–730.

To KKW, Tsang OTY, Yip CCY, Chan KH, Wu TC, Chan JMC, Leung WS, Chik TSH, Choi CYC, Kandamby DH, et al. Consistent detection of 2019 novel coronavirus in saliva. Clin Infect Dis. 2020;71(15):841–843.

Villa A, Connell CL, Abati S. Diagnosis and management of xerostomia and hyposalivation. Ther Clin Risk Manag. 2015;11:45–51.

Wade WG. The oral microbiome in health and disease. Pharmacol Res. 2013;69(1):137–143.

Wong DT. Salivary diagnostics powered by nanotechnologies, proteomics and genomics. J Am Dent Assoc. 2006;137(3):313–321.

Wong DT. Salivaomics. J Am Dent Assoc. 2012;143(10 Suppl):19S–24S.

Yakob M, Fuentes L, Wang MB, Abemayor E, Wong DT. Salivary biomarkers for detection of oral squamous cell carcinoma: current state and recent advances. Curr Oral Health Rep. 2014;1(2):133–141.

BÖLÜM 0

YAPAY ZEKÂNIN DİŞ HEKİMLİĞİ EĞİTİMİNE ENTEGRASYONU: KLİNİK UYGULAMALAR VE ÖĞRENME STRATEJİLERİ

İKBAL ESRA PEHLİVAN[1]

Giriş

Yapay zekâ (YZ), son yıllarda diş hekimliğinde tanı, tedavi planlaması, klinik karar verme ve hasta yönetimi süreçlerini etkileyen önemli teknolojik gelişmelerden biri hâline gelmiştir. Makine öğrenimi, derin öğrenme ve doğal dil işleme temelli sistemler; dental görüntülerin değerlendirilmesi, risk analizi, tedavi seçeneklerinin karşılaştırılması ve eğitim süreçlerinin desteklenmesi gibi farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler, yalnızca klinik uygulamaları değil, diş hekimliği eğitiminin içeriğini ve öğretim yöntemlerini de dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Bu bölümde, yapay zekânın diş hekimliği eğitimine entegrasyonu; teorik öğrenme, klinik beceri gelişimi, sanal hasta uygulamaları, simülasyon temelli eğitim, uzaktan öğrenme ve etik sorumluluklar çerçevesinde ele alınmaktadır. COVID-19 salgınıyla birlikte hız kazanan dijital öğrenme deneyimleri de bu bağlamda

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD, Orcid: 0000-0002-3266-7657

değerlendirilmiştir. Yapay zekâ destekli araçlar, öğrencilerin tanı koyma, tedavi planlama ve klinik akıl yürütme becerilerini geliştirmeye katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, bu araçların eğitimde etkili biçimde kullanılabilmesi için veri güvenliği, hasta mahremiyeti, algoritmik önyargı, insan denetimi ve mesleki sorumluluk gibi konuların dikkatle ele alınması gerekmektedir.

Yapay zekânın diş hekimliğinde dönüştürücü bir teknoloji olarak ortaya çıkışı

Yapay zekâ (YZ), diş hekimliğinde tanı, tedavi planlaması ve klinik karar verme süreçlerini destekleyen önemli teknolojilerden biri hâline gelmiştir. Makine öğrenimi ve derin öğrenme temelli modeller, radyografik görüntülerin değerlendirilmesi, diş ve çene yapılarının segmentasyonu, eksik diş bölgelerinin belirlenmesi, implant gereksiniminin tahmin edilmesi ve ortodontik analizlerin desteklenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, klinisyenin değerlendirme sürecini hızlandırabilmekte ve karar verme aşamasında ek bilgi sağlayabilmektedir (Alharbi & Almutiq, 2022; Al-Sarem vd., 2022; Liu vd., 2021).

Dental implantoloji alanında geliştirilen makine öğrenimi algoritmaları, hastaların implant gereksinimini tahmin etmeye yönelik modeller sunarken; derin öğrenme yaklaşımları CBCT görüntülerinde eksik diş konumlarının belirlenmesi ve sınıflandırılması gibi işlemlerde kullanılmaktadır (Alharbi & Almutiq, 2022; Al-Sarem vd., 2022). Ortodontide ise sefalometrik analiz, iskeletsel sınıflandırma, kemik yaşı tahmini ve diş segmentasyonu gibi işlemler YZ uygulamalarının öne çıktığı alanlar arasındadır (Liu vd., 2021). Bu gelişmeler ortodonti pratiğinde tanı, tedavi planlaması ve klinik karar verme süreçlerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu örnekler, YZ'nin farklı diş hekimliği disiplinlerinde yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda klinik değerlendirmeyi destekleyen yardımcı bir sistem olarak da ele alınabileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, YZ sistemlerinin klinik kullanımı bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Modellerin hangi veri kümeleriyle eğitildiği, farklı hasta gruplarında ne ölçüde güvenilir sonuç verdiği ve karar süreçlerinin ne kadar açıklanabilir olduğu hâlen tartışmalı konular arasındadır. Bu nedenle YZ, diş hekiminin mesleki bilgi ve deneyiminin yerine geçen bağımsız bir karar verici olarak değil, klinik değerlendirmeyi destekleyen tamamlayıcı bir araç olarak görülmelidir (Bonny vd., 2023; Liu vd., 2021; Poalelungi vd., 2023).

Yapay zekânın diş hekimliği eğitimine entegre edilmesinin önemi

Diş hekimliği eğitimi, teorik bilginin klinik beceri, mesleki karar verme ve hasta yönetimiyle bütünleşmesini gerektiren çok yönlü bir eğitim sürecidir. Bu nedenle YZ'nin eğitim ortamlarına entegrasyonu, yalnızca teknolojik bir yenilik olarak değil, öğrencilerin dijital klinik uygulamalara hazırlanması açısından da değerlendirilmelidir. YZ destekli araçlar; tanı becerilerinin geliştirilmesi, tedavi planlama süreçlerinin örnek vakalar üzerinden tartışılması, öğrenci performansının izlenmesi ve bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimlerinin oluşturulması gibi alanlarda eğitim sürecine katkı sağlayabilir (Fatima vd., 2022; Suárez vd., 2022).

Sanal hasta uygulamaları ve YZ destekli sohbet robotları, öğrencilerin klinik senaryolar üzerinde güvenli bir ortamda düşünmesini ve karar verme becerilerini geliştirmesini sağlayabilir. Bu tür uygulamalar özellikle hasta ile iletişim, anamnez alma, ayırıcı tanı oluşturma ve tedavi seçeneklerini değerlendirme gibi becerilerin yapılandırılmış biçimde çalışılmasına olanak tanır. Literatürde, sanal hasta uygulamalarıyla etkileşim kuran diş hekimliği öğrencilerinin bu araçlara yönelik memnuniyet düzeylerinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Suárez vd., 2022).

Buna karşın, YZ'nin diş hekimliği eğitimine etkili biçimde yerleştirilebilmesi için yalnızca teknolojik altyapının sağlanması yeterli değildir. Öğrencilerin ve öğretim elemanlarının YZ'nin çalışma mantığını, güçlü yönlerini ve sınırlılıklarını anlaması gerekir. Ayrıca veri güvenliği, etik kullanım, algoritmik önyargı ve klinik sorumluluk gibi konuların da müfredat içinde ele alınması önemlidir (Islam vd., 2022; Roganović vd., 2023; Saghiri vd., 2021). Bu nedenle YZ eğitimi, bağımsız bir teknik konu olarak değil, klinik karar verme ve mesleki etikle birlikte yapılandırılmalıdır.

Diş hekimliği eğitiminde yapay zekâ entegrasyonunun potansiyel faydaları

Yapay zekâ, diş hekimliği eğitiminde öğrencilerin teorik bilgiyi klinik karar verme süreçleriyle ilişkilendirmesine yardımcı olabilecek önemli araçlar sunmaktadır. YZ destekli uygulamalar; sanal hasta senaryoları, klinik vaka analizleri, tanı ve tedavi planlama alıştırmaları, öğrenci performansının izlenmesi ve bireyselleştirilmiş geri bildirim sağlanması gibi alanlarda kullanılabilir. Bu yönüyle YZ, yalnızca bilgi aktarımını destekleyen bir teknoloji değil, aynı zamanda öğrencinin klinik akıl yürütme becerisini geliştirmeye katkı sağlayan bir eğitim aracı olarak da değerlendirilebilir (Alharbi & Almutiq, 2022; Saghiri vd., 2021; Suárez vd., 2022).

Sanal hasta uygulamaları ve YZ destekli sohbet robotları, öğrencilerin gerçek hasta ile karşılaşmadan önce tanı koyma, anamnez alma, ayırıcı tanı oluşturma ve tedavi seçeneklerini değerlendirme becerilerini geliştirmelerine olanak tanır. Bu uygulamalar, hata yapma kaygısını azaltarak öğrencinin güvenli bir öğrenme ortamında klinik karar verme sürecini deneyimlemesine yardımcı olur. Bununla birlikte, YZ destekli sistemlerin eğitimde etkili kullanılabilmesi için öğrencilerin bu araçların sınırlarını bilmesi, çıktıları eleştirel biçimde değerlendirmesi ve nihai klinik

sorumluluğun hekimde olduğunu kavraması gerekir (Ali vd., 2024; Roganović vd., 2023; Stafie vd., 2023).

Diş Hekimliği Eğitiminde Yapay Zekâ: Teorik ve Pratik Uygulamalar

Teşhis becerilerinin geliştirilmesi

Yapay zekâ destekli uygulamalar, diş hekimliği eğitiminde öğrencilerin tanı koyma ve klinik değerlendirme becerilerini geliştirmek için kullanılabilecek önemli araçlar arasında yer almaktadır. Özellikle dental radyoloji alanında derin öğrenme modelleri; çürük, periodontal kemik kaybı, periapikal lezyonlar, gömülü dişler ve anatomik yapıların değerlendirilmesi gibi alanlarda klinik karar sürecini destekleyebilmektedir. Bu tür sistemler, öğrencilerin radyografik bulguları daha sistematik biçimde incelemesine ve tanıya giden süreçte hangi bulgulara dikkat etmesi gerektiğini öğrenmesine katkı sağlayabilir (Bonny vd., 2023; Eschert vd., 2022; Pauwels, 2020).

Bununla birlikte, YZ destekli tanı araçlarının eğitimde kullanılması, öğrencilerin bu sistemlere koşulsuz güvenmesi anlamına gelmemelidir. Aksine, bu araçlar öğrencilerin kendi klinik akıl yürütme süreçlerini geliştirecek şekilde kullanılmalıdır. Öğrenci, YZ çıktısını bir öneri olarak değerlendirmeli; hastanın klinik bulguları, anamnezi ve radyografik verileriyle birlikte yorumlamalıdır. Bu yaklaşım hem tanısal doğruluğun artmasına hem de öğrencinin eleştirel düşünme becerisinin gelişmesine katkı sağlayabilir.

Sanal hasta uygulamaları ve YZ destekli sohbet robotları da tanı becerilerinin geliştirilmesinde destekleyici bir rol üstlenebilir. Bu uygulamalar, öğrencilerin gerçek bir hasta ile karşılaşmadan önce klinik senaryolar üzerinde düşünmesine, olası tanıları karşılaştırmasına ve tedavi seçeneklerini değerlendirmesine olanak tanır. Böylece öğrenci güvenli bir öğrenme ortamında hata yapma ve geri bildirim alma fırsatı bulur. Ancak bu süreçte YZ'nin öğretim

elemanının rehberliğinin yerine geçmediği, yalnızca öğrenme sürecini destekleyen tamamlayıcı bir araç olduğu açık biçimde vurgulanmalıdır (Roganović vd., 2023; Suárez vd., 2022).

Tedavi planlamasının iyileştirilmesi

Yapay zekâ destekli sistemler, diş hekimliğinde tedavi planlamasının daha sistematik ve kişiye özgü biçimde yapılmasına katkı sağlayabilir. Bu sistemler; hastanın tıbbi ve dental öyküsü, klinik bulguları, radyografik verileri ve önceki tedavi sonuçları gibi farklı veri kaynaklarını birlikte değerlendirme potansiyeline sahiptir. Böylece öğrenciler, yalnızca tek bir bulguya dayanarak karar vermek yerine, çoklu verileri bir arada yorumlama ve tedavi seçeneklerini karşılaştırma becerisi kazanabilir (Bonny vd., 2023).

Ortodonti, implantoloji ve restoratif diş hekimliği gibi alanlarda YZ uygulamaları, vaka analizlerinin yapılandırılması, tedavi seçeneklerinin karşılaştırılması ve olası klinik sonuçların öngörülmesi açısından eğitim sürecini destekleyebilir. Özellikle ortodontide sefalometrik analiz, iskeletsel sınıflandırma ve diş segmentasyonu gibi işlemlerde kullanılan makine öğrenimi modelleri, öğrencilerin tanı ve planlama basamaklarını daha iyi kavramasına yardımcı olabilir (Liu vd., 2021).

Bununla birlikte, YZ destekli tedavi planlama araçları nihai karar verici olarak değerlendirilmemelidir. Bu araçların sunduğu çıktılar, öğrencinin klinik bilgisi, öğretim elemanının rehberliği ve hastaya ait bireysel koşullar çerçevesinde değerlendirilmelidir. Bu nedenle YZ'nin eğitimdeki asıl katkısı, öğrencinin hazır bir tedavi planını kabul etmesini sağlamak değil; farklı seçenekleri gerekçeleriyle tartışmasına, karar verme sürecini yapılandırmasına ve klinik muhakeme becerisini geliştirmesine destek olmaktır (Fatima vd., 2022; Kazimierczak vd., 2024; Roganović vd., 2023).

Risk değerlendirmesinin geliştirilmesi

Yapay zekâ destekli sistemler, diş hekimliği eğitiminde öğrencilerin risk değerlendirme becerilerini geliştirmek için kullanılabilecek önemli araçlar arasında yer almaktadır. Bu sistemler; hastanın tıbbi öyküsü, klinik bulguları, radyografik verileri ve önceki tedavi sonuçları gibi farklı bilgi kaynaklarını birlikte değerlendirme potansiyeline sahiptir. Böylece öğrenciler, yalnızca mevcut klinik bulguya odaklanmak yerine, hastaya ait risk faktörlerini daha bütüncül bir biçimde yorumlamayı öğrenebilir (Bonny vd., 2023; Hornung vd., 2022).

Diş hekimliği eğitimi açısından YZ destekli simülasyonlar ve sanal hasta senaryoları, öğrencilerin olası komplikasyonları önceden fark etmesine ve farklı klinik durumlar için uygun karar verme stratejileri geliştirmesine yardımcı olabilir. Örneğin, sistemik hastalık varlığı, periodontal risk, cerrahi işlem sonrası komplikasyon olasılığı veya restoratif tedavinin başarısını etkileyebilecek faktörler, yapılandırılmış vaka senaryoları üzerinden ele alınabilir. Bu yaklaşım, öğrencilerin yalnızca tedavi seçeneğini belirlemesini değil, aynı zamanda bu seçeneğin olası risklerini de değerlendirmesini sağlar (Saghiri vd., 2021).

Bununla birlikte, YZ destekli risk değerlendirme araçlarının sunduğu sonuçlar kesin bir karar olarak görülmemelidir. Veri güvenliği, hasta mahremiyeti, algoritmik önyargı ve hatalı tahminlerden doğabilecek sorumluluk gibi konular bu sistemlerin eğitimde kullanımında dikkatle ele alınmalıdır. Bu nedenle YZ, öğrencilerin risk değerlendirme sürecini destekleyen bir öğrenme aracı olarak kullanılmalı; nihai klinik kararın hekimlik bilgisi, etik sorumluluk ve öğretim elemanı rehberliğiyle birlikte verilmesi gerektiği açık biçimde vurgulanmalıdır (Eschert vd., 2022; A. Müller vd., 2021).

COVID-19'un Yapay Zekâ Destekli Diş Hekimliği Eğitimine Etkisi

COVID-19 salgını, diş hekimliği eğitiminde dijital öğrenme ortamlarının daha hızlı benimsenmesine yol açmıştır. Klinik uygulamaların sınırlanması, yüz yüze eğitimin kesintiye uğraması ve hasta güvenliğine ilişkin kaygılar, teorik derslerin çevrim içi platformlara taşınmasını ve simülasyon temelli öğretim yöntemlerinin daha fazla gündeme gelmesini sağlamıştır. Bu süreçte yapay zekâ destekli öğrenme araçları, sanal hasta uygulamaları, uzaktan değerlendirme sistemleri ve dijital simülasyonlar, eğitimin sürekliliğini destekleyen yardımcı yöntemler olarak öne çıkmıştır (Gomes vd., 2022; Haridy vd., 2020; Rahman vd., 2021).

Pandemi döneminde çevrim içi eğitim, teorik bilginin aktarılmasında önemli bir seçenek sunmuş olsa da diş hekimliği eğitiminin uygulamalı doğası nedeniyle tek başına yeterli olmamıştır. Özellikle el becerisi, hasta yönetimi, klinik iletişim ve doğrudan gözlem gerektiren uygulamalarda yüz yüze eğitimin yerini tam olarak tutamamıştır. Bu nedenle pandemi süreci, dijital teknolojilerin diş hekimliği eğitiminde yararlı olduğunu göstermiş; ancak klinik eğitimin insan etkileşimi, rehberlik ve uygulama deneyimiyle birlikte yürütülmesi gerektiğini de açık biçimde ortaya koymuştur (Iosif vd., 2021; Prieto vd., 2020).

Bu deneyim, diş hekimliği eğitiminde hibrit modellerin önemini artırmıştır. Gelecekte çevrim içi dersler, sanal hasta senaryoları, haptik simülasyonlar ve yapay zekâ destekli geri bildirim sistemleri, geleneksel preklinik ve klinik eğitimle birlikte kullanılabilir. Böyle bir yaklaşım, öğrencilerin teorik bilgiye daha esnek biçimde ulaşmasını sağlarken, klinik becerilerin öğretim elemanı gözetiminde geliştirilmesine de olanak tanır. Bu nedenle pandemi sonrası dönemde yapay zekâ destekli eğitim araçları, yüz yüze eğitimin alternatifi olarak değil, onu tamamlayan destekleyici bileşenler olarak değerlendirilmelidir (Haridy vd., 2020).

Yapay zekâ destekli harmanlanmış öğrenme

Yapay zekâ destekli harmanlanmış öğrenme, çevrim içi öğrenme ortamları ile yüz yüze eğitimin güçlü yönlerini bir araya getiren bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Diş hekimliği eğitiminde teorik bilginin dijital platformlar aracılığıyla sunulması, öğrencilerin konuya kendi hızlarında hazırlanmasına olanak tanırken; yüz yüze oturumlar, preklinik uygulamalar ve klinik beceri eğitimi için önemli bir alan sağlamaya devam eder. Bu yapı içinde YZ destekli araçlar, öğrencilerin öğrenme gereksinimlerini belirleme, kişiselleştirilmiş içerik sunma, performansı izleme ve geri bildirim sağlama gibi işlevlerle eğitim sürecini destekleyebilir (C. Müller vd., 2023; Topping vd., 2022).

Harmanlanmış öğrenmenin başarısı, yalnızca dijital araçların kullanılmasıyla değil, bu araçların eğitim hedefleriyle ne kadar uyumlu tasarlandığıyla da ilişkilidir. Ders içeriğinin iyi yapılandırılması, öğrencinin öğrenme sürecinde yönlendirilmesi, etkileşimli etkinliklerin planlanması ve zamanında geri bildirim verilmesi bu modelin etkisini artıran temel unsurlardır. YZ destekli akıllı asistanlar ve üretken sohbet robotları, öğrencilerin sorularına hızlı yanıt almasına, eksik oldukları konuları fark etmesine ve öğrenme sürecini daha düzenli sürdürmesine yardımcı olabilir (Ilieva vd., 2023; Sajja vd., 2024).

Bununla birlikte, harmanlanmış öğrenme modeli diş hekimliği eğitiminde yüz yüze klinik eğitimin yerine geçecek bir yöntem olarak düşünülmemelidir. Özellikle psikomotor beceriler, hasta iletişimi, klinik gözlem ve mesleki karar verme gibi alanlarda öğretim elemanının rehberliği ve doğrudan uygulama deneyimi vazgeçilmezdir. Bu nedenle YZ destekli harmanlanmış öğrenme, teorik hazırlığı güçlendiren, öğrencinin öğrenme sürecini izlenebilir hâle getiren ve yüz yüze eğitimi daha verimli kullanmayı sağlayan tamamlayıcı bir model olarak ele alınmalıdır.

E-öğrenme ortamlarıyla uzaktan öğrenme

E-öğrenme ortamları, diş hekimliği eğitiminde özellikle teorik derslerin sürdürülmesi, ders materyallerine erişim, öğrenci-öğretim elemanı etkileşimi ve öğrenme sürecinin izlenmesi açısından önemli olanaklar sunmaktadır. COVID-19 salgınıyla birlikte bu ortamların kullanımı artmış; öğrenme yönetim sistemleri, çevrim içi ders kayıtları, video anlatımlar, dijital ödevler ve tartışma platformları eğitim sürecinin temel bileşenleri hâline gelmiştir. Bu yapı, öğrencilerin ders içeriklerine zaman ve mekândan bağımsız olarak erişmesini sağlamış, özellikle teorik bilginin aktarılmasında eğitim sürekliliğine katkı sunmuştur (Park & Shea, 2020; Rahmani vd., 2021; Veluvali & Surisetti, 2021).

Eş zamanlı ve eş zamansız öğrenme yöntemleri, farklı öğrenme gereksinimlerine cevap verebilecek özellikler taşır. Canlı dersler ve çevrim içi toplantılar, öğrencilerin öğretim elemanıyla doğrudan etkileşim kurmasına olanak tanırken; kayıtlı dersler, video içerikleri ve dijital materyaller öğrencinin kendi hızında öğrenmesini destekler. Özellikle yapılandırılmış video dersler, açıklayıcı görseller, kısa değerlendirme etkinlikleri ve geri bildirim mekanizmalarıyla desteklendiğinde öğrencinin derse katılımı ve öğrenme motivasyonu artabilir (Garcia & Yousef, 2022; Martin vd., 2021).

Bununla birlikte, uzaktan öğrenme süreçlerinde öğrencilerin yalnızca içeriklere erişebilmesi yeterli değildir. Öğrenme etkinliklerinin açık hedeflerle ilişkilendirilmesi, öğrencilerin düzenli olarak yönlendirilmesi, etkileşimli tartışma ortamlarının oluşturulması ve öğrenme analitikleriyle öğrenci ilerlemesinin takip edilmesi gerekir. Ayrıca stres, kaygı, motivasyon kaybı ve dijital yorgunluk gibi faktörler çevrim içi öğrenme başarısını da etkileyebilir. Bu nedenle e-öğrenme ortamları, diş hekimliği eğitiminde yüz yüze eğitimi tamamlayan planlı ve öğrenci merkezli

bir destek sistemi olarak yapılandırılmalıdır (Göksu vd., 2021; Lane vd., 2021; Martínez vd., 2020; Sipiyaruk vd., 2021).

Öğrenci Deneyimi ve Öğrenme Verimliliği

Uzaktan ve harmanlanmış öğrenme süreçlerinde öğrencilerin öğrenme verimliliği, yalnızca ders materyallerine erişimle değil, bu materyallerin nasıl yapılandırıldığı ve öğrencinin öğrenme sürecine ne ölçüde katıldığıyla da yakından ilişkilidir. Çevrim içi eğitim döneminde yapılan çalışmalar, öğrencilerin ders için daha fazla zaman harcamasının her zaman daha yüksek akademik başarıya dönüşmediğini göstermektedir. Bu durum, dijital içeriklerin yalnızca miktar olarak artırılmasının yeterli olmadığını; içeriklerin öğrenme hedefleriyle uyumlu, etkileşimli ve geri bildirim içerecek şekilde tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır (Motz vd., 2021).

Harmanlanmış öğrenme, uygun şekilde planlandığında öğrencilerin derse hazırlık yapmasını, temel bilgileri kendi hızında tekrar etmesini ve yüz yüze oturumlarda daha etkin katılım göstermesini sağlayabilir. Proje tabanlı çevrim içi öğrenme, etkileşimli modüller ve sosyal-duygusal öğrenme stratejileri gibi yaklaşımlar, öğrencilerin derse bağlılığını ve akademik performansını destekleyebilir (Elmi, 2020; Goode vd., 2022; Zen vd., 2022). Bu nedenle öğrenme verimliliği, yalnızca teknolojinin varlığıyla değil, öğrenciyi aktif kılan öğretim tasarımıyla da artırılabilir.

Diş hekimliği eğitimi açısından bu bulgular, dijital öğrenme araçlarının dikkatli bir şekilde planlanması gerektiğini göstermektedir. Öğrencilerin çevrim içi ortamlarda yalnız bırakılmaması, düzenli geri bildirim alması, öğrenme hedeflerini açık biçimde görmesi ve teorik bilgiyi klinik uygulamayla ilişkilendirebilmesi önemlidir. Yapay zekâ destekli sistemler bu süreçte öğrencinin eksik olduğu konuları belirleme, kişiselleştirilmiş içerik önerme ve öğrenme ilerlemesini izleme açısından katkı sağlayabilir. Ancak bu katkının gerçek bir öğrenme verimliliğine

dönüşebilmesi için dijital araçların yüz yüze eğitim, öğretim elemanı rehberliği ve klinik uygulama deneyimiyle birlikte kullanılması gerekir (C. Müller vd., 2023).

Klinik Diş Hekimliği Uygulamalarında Yapay Zekâ

Yapay zekâ, diş hekimliği uygulamalarında tanı, tedavi planlaması, risk değerlendirmesi ve klinik iş akışının desteklenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Radyografik görüntülerin değerlendirilmesi, dental yapıların segmentasyonu, ortodontik analizler, implant planlaması ve restoratif tedavi süreçlerinin desteklenmesi bu uygulama alanları arasında yer almaktadır. Bu yönüyle YZ, klinisyenin karar verme sürecini hızlandırabilen ve değerlendirmeye ek bilgi sağlayabilen yardımcı bir araç olarak görülebilir (Alharbi & Almutiq, 2022; Bonny vd., 2023; Fatima vd., 2022).

Bununla birlikte, YZ destekli sistemlerin klinik uygulamadaki yeri dikkatli bir biçimde tanımlanmalıdır. Bu sistemler, hekimin klinik muayenesinin, mesleki deneyiminin ve hasta ile kurduğu iletişimin yerine geçmemelidir. Elde edilen çıktılar, hastanın klinik bulguları, radyografik verileri, sistemik durumu ve tedavi beklentileriyle birlikte değerlendirilmelidir. Bu nedenle YZ'nin diş hekimliği uygulamalarındaki en uygun kullanımı, bağımsız bir karar verici olarak değil, klinik değerlendirmeyi destekleyen tamamlayıcı bir sistem olarak ele alınmasıdır (Ali vd., 2024; Roganović vd., 2023; Stafie vd., 2023).

Yapay Zekâ Entegrasyonunda Zorluklar ve Gereksinimler

Yapay zekânın diş hekimliği eğitimine ve klinik uygulamalara entegrasyonu, önemli fırsatlar sunmakla birlikte bazı yapısal, etik ve eğitsel gereksinimleri de beraberinde getirmektedir. Bu sürecin başarılı olabilmesi için yalnızca teknolojik altyapının sağlanması yeterli değildir; öğrencilerin, öğretim elemanlarının ve klinisyenlerin YZ sistemlerinin çalışma prensiplerini, kullanım

alanlarını ve sınırlılıklarını anlaması gerekir. Literatürde, diş hekimliği öğrencileri ve klinisyenler arasında YZ'ye yönelik farkındalığın henüz istenen düzeyde olmadığı, bazı kullanıcıların ise bu teknolojilere karşı temkinli yaklaştığı bildirilmektedir (Eschert vd., 2022; Roganović vd., 2023).

Bu noktada en önemli gereksinimlerden biri, YZ okuryazarlığının diş hekimliği müfredatına sistemli biçimde dâhil edilmesidir. Öğrenciler yalnızca YZ tabanlı araçları kullanmayı değil, bu araçlardan elde edilen sonuçları eleştirel biçimde değerlendirmeyi de öğrenmelidir. Bir YZ sisteminin çıktısı; kullanılan veri kümesi, algoritmanın doğruluğu, olası önyargılar ve hastaya ait klinik koşullar dikkate alınarak yorumlanmalıdır. Bu yaklaşım, öğrencilerin teknolojiyi pasif biçimde kullanan bireyler yerine, klinik karar sürecinde sorgulayan ve sorumluluk alabilen hekimler olarak yetişmesine katkı sağlayabilir (Islam vd., 2022; Ma vd., 2022; Weidener & Fischer, 2023).

YZ entegrasyonunda etik ve hukuki boyutlar da ayrı bir önem taşımaktadır. Hasta verilerinin korunması, mahremiyetin sağlanması, algoritmik önyargıların fark edilmesi, hatalı öneriler karşısında sorumluluğun kimde olacağının belirlenmesi ve insan denetiminin sürdürülmesi bu sürecin temel konuları arasındadır. Bu nedenle YZ'nin diş hekimliği eğitimindeki yeri yalnızca teknik beceri kazandırma ile sınırlı tutulmamalı; etik karar verme, mesleki sorumluluk ve hasta güvenliğiyle birlikte ele alınmalıdır (A. Müller vd., 2021; Pedro vd., 2023).

Yapay Zekâ Destekli Yenilikçi Öğretim Yöntemleri

Yapay zekâ destekli öğretim yöntemleri, diş hekimliği eğitiminde öğrencilerin teorik bilgiyi uygulama becerileriyle ilişkilendirmesine yardımcı olabilecek önemli olanaklar sunmaktadır. Özellikle simülasyon temelli öğrenme, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, haptik sistemler, sanal hasta uygulamaları ve akıllı geri bildirim

araçları, öğrencilerin klinik durumları güvenli bir ortamda deneyimlemesine katkı sağlayabilir. Bu yöntemler, öğrencinin yalnızca bilgiyi hatırlamasını değil, klinik senaryolar üzerinde düşünmesini, karar vermesini ve yaptığı işlemleri değerlendirmesini de destekler (Saghiri vd., 2021; Wu vd., 2022).

Simülasyon temelli uygulamalar diş hekimliği eğitiminde özellikle preklinik becerilerin geliştirilmesi açısından önemlidir. Öğrenciler, gerçek hasta üzerinde çalışmadan önce sanal ya da haptik sistemler aracılığıyla işlem basamaklarını tekrar edebilir, hatalarını görebilir ve öğretim elemanı rehberliğinde performanslarını geliştirebilir. YZ destekli sistemler bu süreçte öğrencinin yaptığı işlemleri analiz ederek anlık veya yapılandırılmış geri bildirim sunabilir. Böylece öğrenme süreci daha izlenebilir, kişiselleştirilmiş ve öğrenci merkezli hâle gelebilir.

Sanal hasta senaryoları ve YZ destekli sohbet robotları, iletişim, anamnez alma, ayırıcı tanı oluşturma ve tedavi seçeneklerini değerlendirme gibi becerilerin geliştirilmesinde de kullanılabilir. Bu tür uygulamalar, öğrencilerin farklı klinik durumlarla karşılaşmasını ve hasta yönetimi becerilerini güvenli bir ortamda geliştirmesini sağlar. Bununla birlikte, bu yöntemler yüz yüze klinik eğitimin yerini tutmamalıdır. Özellikle psikomotor beceriler, hasta ile gerçek iletişim, etik karar verme ve mesleki sorumluluk gibi alanlarda öğretim elemanının rehberliği ve klinik deneyim vazgeçilmezdir. Bu nedenle YZ destekli öğretim yöntemleri, diş hekimliği eğitiminde tamamlayıcı ve destekleyici araçlar olarak yapılandırılmalıdır (Bourdeau vd., 2021; Chen vd., 2022; Gunn vd., 2020).

Etik Hususlar ve Sınırlamalar

Yapay zekânın diş hekimliği eğitiminde kullanımı, önemli fırsatlar sunmakla birlikte etik ve mesleki sorumluluklar açısından dikkatle ele alınması gereken bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. YZ destekli sistemler çoğu zaman hasta verileri, radyografik

görüntüler, klinik kayıtlar ve öğrenci performansına ilişkin bilgiler üzerinden çalışır. Bu nedenle veri güvenliği, hasta mahremiyeti, bilgilendirilmiş onam ve verilerin hangi amaçla kullanılacağı gibi konular, eğitim sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir (Torkzadehmahani vd., 2022; Valencia vd., 2023).

Bir diğer önemli konu, YZ sistemlerinin ürettiği sonuçların her zaman tarafsız, doğru veya genellenebilir olmamasıdır. Kullanılan veri kümelerinin sınırlı, dengesiz ya da belirli hasta gruplarını yeterince temsil etmeyen bir yapıda olması, algoritmik önyargılara yol açabilir. Bu durum, özellikle tanı, risk değerlendirmesi ve tedavi planlaması gibi klinik kararları etkileyebilecek alanlarda önemlidir. Bu nedenle öğrencilerin YZ çıktısını kesin bir karar olarak değil, eleştirel biçimde değerlendirilmesi gereken bir öneri olarak görmeleri sağlanmalıdır (Khawaja & Bélisle-Pipon, 2023; Ma vd., 2022).

YZ destekli araçların bir diğer sınırlılığı, klinik bağlamı her zaman insan hekim kadar kapsamlı değerlendirememesidir. Hastanın beklentileri, iletişim biçimi, sosyoekonomik koşulları, sistemik durumu ve klinik muayene bulguları yalnızca algoritmik çıktılarla tam olarak yorumlanamaz. Bu nedenle YZ, klinik muhakemenin yerine geçen bir karar mekanizması olarak değil, hekimin değerlendirmesini destekleyen yardımcı bir araç olarak kullanılmalıdır. Eğitim ortamlarında da öğrencilerin bu ayrımı açık biçimde kavraması önemlidir (Giorgino vd., 2023; Liao vd., 2022).

Son olarak, YZ'nin eğitimde kullanımı öğretim elemanının rehberliğini ve klinik deneyimin yerini almamalıdır. Öğrenciler, YZ destekli sistemlerden yararlanırken nihai sorumluluğun hekime ait olduğunu öğrenmelidir. Bu nedenle diş hekimliği müfredatında YZ okuryazarlığı, veri güvenliği, etik kullanım, algoritmik önyargı, insan denetimi ve mesleki sorumluluk konularına yer verilmesi gerekmektedir. Böyle bir yaklaşım, YZ'nin eğitimde güvenli, şeffaf

ve sorumlu bir biçimde kullanılmasına katkı sağlayacaktır (A. Müller vd., 2021; Weidener & Fischer, 2023).

Sonuç

Yapay zekâ, diş hekimliği eğitiminde tanı, tedavi planlaması, klinik karar verme ve dijital okuryazarlık becerilerinin geliştirilmesi açısından önemli olanaklar sunmaktadır. Sanal hasta uygulamaları, simülasyon sistemleri, YZ destekli değerlendirme araçları ve kişiselleştirilmiş öğrenme ortamları, geleneksel eğitimi destekleyerek öğrencilerin daha güvenli ve etkileşimli bir öğrenme süreci yaşamasına katkı sağlayabilir.

Bununla birlikte, YZ uygulamalarının eğitimde güvenli ve etkili biçimde kullanılabilmesi için etik ilkeler, veri güvenliği, hasta mahremiyeti, algoritmik önyargı ve insan denetimi gibi konular dikkatle ele alınmalıdır. YZ, diş hekimliği eğitiminde öğretim elemanının rehberliğinin ve klinik deneyimin yerine geçen bir unsur olarak değil, eğitimi güçlendiren tamamlayıcı bir araç olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle diş hekimliği fakültelerinin, öğrencileri geleceğin dijital klinik ortamlarına hazırlayacak şekilde müfredatlarını güncellemesi ve YZ okuryazarlığını eğitim sürecinin bir parçası hâline getirmesi önem taşımaktadır.

Kaynakça

Alharbi, M., & Almutiq, M. (2022). Prediction of Dental Implants Using Machine Learning Algorithms. *Journal of Healthcare Engineering*, *2022*, 1-12. https://doi.org/10.1155/2022/7307675

Ali, K., Barhom, N., Tamimi, F., & Duggal, M. (2024). ChatGPT—A double-edged sword for healthcare education? Implications for assessments of dental students. *European Journal of Dental Education*, *28*(1), 206-211. https://doi.org/10.1111/eje.12937

Al-Sarem, M., Al-Asali, M., Alqutaibi, A. Y., & Saeed, F. (2022). Enhanced Tooth Region Detection Using Pretrained Deep Learning Models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(22), 15414-15414. https://doi.org/10.3390/ijerph192215414

Bonny, T., Nassan, W. A., Obaideen, K., Mallahi, M. N. A., Mohammad, Y., & El-Damanhoury, H. M. (2023). Contemporary Role and Applications of Artificial

Intelligence in Dentistry. *F1000Research*, *12*, 1179-1179. https://doi.org/10.12688/f1000research.140204.1

Bourdeau, S., Coulon, T., & Petit, M.-C. (2021). Simulation-Based Training via a “Readymade” Virtual World Platform: Teaching and Learning With Minecraft Education. *IT Professional*, *23*(2), 33-39. https://doi.org/10.1109/MITP.2021.3062935

Chen, Y.-L., Hsu, C.-C., Lin, C., & Hsu, H.-H. (2022). Robot-Assisted Language Learning: Integrating Artificial Intelligence and Virtual Reality into English Tour Guide Practice. *Education Sciences*, *12*(7), 437-437. https://doi.org/10.3390/educsci12070437

Elmi, C. (2020). Integrating Social Emotional Learning Strategies in Higher Education. *European Journal of Investigation in Health Psychology and Education*, *10*(3), 848-858. https://doi.org/10.3390/ejihpe10030061

Eschert, T., Schwendicke, F., Krois, J., Bohner, L., Vinayahalingam, S., & Hanisch, M. (2022). A Survey on the Use of Artificial

Intelligence by Clinicians in Dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery. *Medicina*, *58*(8), 1059-1059. https://doi.org/10.3390/medicina58081059

Fatima, A., Shafi, I., Afzal, H., Díez, I. de la T., Solá, M. L. del R., Breñosa, J., Espinosa, J. C. M., & Ashraf, I. (2022). Advancements in Dentistry with Artificial Intelligence: Current Clinical Applications and Future Perspectives. *Healthcare*, *10*(11), 2188-2188. https://doi.org/10.3390/healthcare10112188

Garcia, M. B., & Yousef, A. M. F. (2022). Cognitive and affective effects of teachers' annotations and talking heads on asynchronous video lectures in a web development course. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, *18*, 20-20. https://doi.org/10.58459/rptel.2023.18020

Giorgino, R., Alessandri-Bonetti, M., Luca, A., Migliorini, F., Rossi, N., Peretti, G. M., & Mangiavini, L. (2023). ChatGPT in orthopedics: A narrative review exploring the potential of artificial intelligence in orthopedic practice. *Frontiers in*

Surgery, *10*, 1284015-1284015. https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1284015

Gomes, R., Kamrowski, C., Langlois, J., Rozario, P. F., Dircks, I., Grottodden, K., Martinez, M. T., Tee, W. Z., Sargeant, K., LaFleur, C., & Haley, M. (2022). A Comprehensive Review of Machine Learning Used to Combat COVID-19. *Diagnostics*, *12*(8), 1853-1853. https://doi.org/10.3390/diagnostics12081853

Goode, E., Nieuwoudt, J., & Roche, T. (2022). Does online engagement matter? The impact of interactive learning modules and synchronous class attendance on student achievement in an immersive delivery model. *Australasian Journal of Educational Technology*, *38*(4), 76-94. https://doi.org/10.14742/ajet.7929

Göksu, İ., Ergün, N., Özkan, Z., & Sakız, H. (2021). Distance education amid a pandemic: Which psycho-demographic variables affect students in higher education? *Journal of*

Computer Assisted Learning, *37*(6), 1539-1552. https://doi.org/10.1111/jcal.12544

Gunn, T., Rowntree, P., Starkey, D., & Nissen, L. (2020). The use of virtual reality computed tomography simulation within a medical imaging and a radiation therapy undergraduate programme. *Journal of Medical Radiation Sciences*, *68*(1), 28-36. https://doi.org/10.1002/jmrs.436

Haridy, R., Abdalla, M. A., Kaisarly, D., & Gezawi, M. E. (2020). A cross-sectional multicenter survey on the future of dental education in the era of COVID-19: Alternatives and implications. *Journal of Dental Education*, *85*(4), 483-493. https://doi.org/10.1002/jdd.12498

Hornung, A. L., Hornung, C. M., Mallow, G. M., Barajas, J. N., Rush, A. J., Sayari, A. J., Galbusera, F., Wilke, H., Colman, M. W., Phillips, F. M., An, H. S., & Samartzis, D. (2022). Artificial intelligence in spine care: Current applications and future utility. *European Spine Journal*, *31*(8), 2057-2081. https://doi.org/10.1007/s00586-022-07176-0

Ilieva, G., Yankova, T., Klisarova-Belcheva, S., Dimitrov, A., Bratkov, M., & Angelov, D. (2023). Effects of Generative Chatbots in Higher Education. *Information*, *14*(9), 492-492. https://doi.org/10.3390/info14090492

Iosif, L., Ţâncu, A. M. C., Didilescu, A. C., Imre, M., Gălbinaşu, B. M., & Ilinca, R. (2021). Self-Perceived Impact of COVID-19 Pandemic by Dental Students in Bucharest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(10), 5249-5249. https://doi.org/10.3390/ijerph18105249

Islam, N., Laughter, L., Sadid-Zadeh, R., Smith, C. S., Dolan, T. A., Crain, G., & Squarize, C. H. (2022). Adopting artificial intelligence in dental education: A model for academic leadership and innovation. *Journal of Dental Education*, *86*(11), 1545-1551. https://doi.org/10.1002/jdd.13010

Kazimierczak, N., Kazimierczak, W., Serafin, Z., Nowicki, P., Nożewski, J., & Janiszewska-Olszowska, J. (2024). AI in Orthodontics: Revolutionizing Diagnostics and Treatment Planning—A Comprehensive Review. *Journal of Clinical*

Medicine, *13*(2), 344-344. https://doi.org/10.3390/jcm13020344

Khawaja, Z., & Bélisle-Pipon, J. (2023). Your robot therapist is not your therapist: Understanding the role of AI-powered mental health chatbots. *Frontiers in Digital Health*, *5*, 1278186-1278186. https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1278186

Lane, S., Hoang, J., Leighton, J. P., & Rissanen, A. (2021). Engagement and Satisfaction: Mixed-Method Analysis of Blended Learning in the Sciences. *Canadian Journal of Science Mathematics and Technology Education*, *21*(1), 100-122. https://doi.org/10.1007/s42330-021-00139-5

Liao, F., Adelaine, S., Afshar, M., & Patterson, B. W. (2022). Governance of Clinical AI applications to facilitate safe and equitable deployment in a large health system: Key elements and early successes. *Frontiers in Digital Health*, *4*, 931439-931439. https://doi.org/10.3389/fdgth.2022.931439

Liu, J., Chen, Y., Li, S., Zhao, Z., & Wu, Z. (2021). Machine learning in orthodontics: Challenges and perspectives. *Advances in*

Clinical and Experimental Medicine, *30*(10), 1065-1074. https://doi.org/10.17219/acem/138702

Ma, J., Schneider, L., Lapuschkin, S., Achtibat, R., Duchrau, M., Krois, J., Schwendicke, F., & Samek, W. (2022). Towards Trustworthy AI in Dentistry. *Journal of Dental Research*, *101*(11), 1263-1268. https://doi.org/10.1177/00220345221106086

Martin, F., Sun, T., Turk, M., & Ritzhaupt, A. D. (2021). A Meta-Analysis on the Effects of Synchronous Online Learning on Cognitive and Affective Educational Outcomes. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, *22*(3), 205-242. https://doi.org/10.19173/irrodl.v22i3.5263

Martínez, J. P. C., Catasús, M. G., & Fontanillas, T. R. (2020). Impact of using learning analytics in asynchronous online discussions in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *17*(1). https://doi.org/10.1186/s41239-020-00217-y

Motz, B., Quick, J., Wernert, J., & Miles, T. A. (2021). A Pandemic of Busywork: Increased Online Coursework Following the Transition to Remote Instruction is Associated with Reduced Academic Achievement. *Online Learning*, *25*(1). https://doi.org/10.24059/olj.v25i1.2475

Müller, A., Mertens, S., Göstemeyer, G., Krois, J., & Schwendicke, F. (2021). Barriers and Enablers for Artificial Intelligence in Dental Diagnostics: A Qualitative Study. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(8), 1612-1612. https://doi.org/10.3390/jcm10081612

Müller, C., Mildenberger, T., & Steingruber, D. (2023). Learning effectiveness of a flexible learning study programme in a blended learning design: Why are some courses more effective than others? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *20*(1), 10-10. https://doi.org/10.1186/s41239-022-00379-x

Park, H., & Shea, P. (2020). A Ten-Year Review of Online Learning Research through Co-Citation Analysis. *Online Learning*, *24*(2). https://doi.org/10.24059/olj.v24i2.2001

Pauwels, R. (2020). A brief introduction to concepts and applications of artificial intelligence in dental imaging. *Oral Radiology*, *37*(1), 153-160. (32803680). https://doi.org/10.1007/s11282-020-00468-5

Pedro, A. R., Dias, M. B., Laranjo, L., Cunha, A. S., & Cordeiro, J. V. (2023). Artificial intelligence in medicine: A comprehensive survey of medical doctor's perspectives in Portugal. *PLoS ONE*, *18*(9). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290613

Poalelungi, D. G., Mușat, C. L., Fulga, A., Neagu, M., Neagu, A., Piraianu, A. I., & Fulga, I. (2023). Advancing Patient Care: How Artificial Intelligence Is Transforming Healthcare. *Journal of Personalized Medicine*, *13*(8), 1214-1214. https://doi.org/10.3390/jpm13081214

Prieto, D., Tricio, J., Cáceres, F., Param, F., Meléndez, C., Vásquez, P., & Prada, P. (2020). Academics' and students' experiences in a chilean dental school during the COVID-19 pandemic: A qualitative study. *European Journal Of Dental Education*, *25*(4), 689-697. https://doi.org/10.1111/eje.12647

Rahman, Md. M., Khatun, F., Uzzaman, A., Sami, S. I., Bhuiyan, Md. A.-A., & Kiong, T. S. (2021). A Comprehensive Study of Artificial Intelligence and Machine Learning Approaches in Confronting the Coronavirus (COVID-19) Pandemic. *International Journal of Health Services*, *51*(4), 446-461. https://doi.org/10.1177/00207314211017469

Rahmani, A. M., Naqvi, R. A., Malik, M. H., Malik, T. S., Sadrishojaei, M., Hosseinzadeh, M., & Al-Musawi, A. S. (2021). E-Learning Development Based on Internet of Things and Blockchain Technology during COVID-19 Pandemic. *Mathematics*, *9*(24), 3151-3151. https://doi.org/10.3390/math9243151

Roganović, J., Radenković, M., & Miličić, B. (2023). Responsible Use of Artificial Intelligence in Dentistry: Survey on Dentists' and Final-Year Undergraduates' Perspectives. *Healthcare*, *11*(10), 1480-1480. https://doi.org/10.3390/healthcare11101480

Saghiri, M. A., Vakhnovetsky, J., & Nadershahi, N. (2021). Scoping review of artificial intelligence and immersive digital tools in dental education. *Journal of Dental Education*, *86*(6), 736-750. https://doi.org/10.1002/jdd.12856

Sajja, R., Sermet, Y., Cikmaz, M., Cwiertny, D. M., & Demir, İ. (2024). Artificial Intelligence-Enabled Intelligent Assistant for Personalized and Adaptive Learning in Higher Education. *Information*, *15*(10), 596-596. https://doi.org/10.3390/info15100596

Sipiyaruk, K., Reynolds, P. A., Hatzipanagos, S., & Gallagher, J. E. (2021). Serious Games and the COVID-19 Pandemic in Dental Education: An Integrative Review of the Literature.

Computers, *10*(4), 42-42. https://doi.org/10.3390/computers10040042

Stafie, C. S., Șufaru, I.-G., Ghiciuc, C. M., Stafie, I.-I., Sufaru, E.-C., Solomon, S. M., & Hăncianu, M. (2023). Exploring the Intersection of Artificial Intelligence and Clinical Healthcare: A Multidisciplinary Review. *Diagnostics*, *13*(12), 1995-1995. https://doi.org/10.3390/diagnostics13121995

Suárez, A., Velasco, A. A., García, V. D., Freire, Y., & Algar, J. (2022). Using a Virtual Patient via an Artificial Intelligence Chatbot to Develop Dental Students' Diagnostic Skills. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(14), 8735-8735. https://doi.org/10.3390/ijerph19148735

Topping, K. J., Douglas, W., Robertson, D., & Ferguson, N. (2022). Effectiveness of online and blended learning from schools: A systematic review. *Review of Education*, *10*(2). https://doi.org/10.1002/rev3.3353

Torkzadehmahani, R., Nasirigerdeh, R., Blumenthal, D. B., Kacprowski, T., List, M., Matschinske, J., Spaeth, J., Wenke, N. K., & Baumbach, J. (2022). Privacy-Preserving Artificial Intelligence Techniques in Biomedicine. *Methods of Information in Medicine*, *61*. https://doi.org/10.1055/s-0041-1740630

Valencia, O. A. G., Suppadungsuk, S., Thongprayoon, C., Miao, J., Tangpanithandee, S., Craici, I., & Cheungpasitporn, W. (2023). Ethical Implications of Chatbot Utilization in Nephrology. *Journal of Personalized Medicine*, *13*(9), 1363-1363. https://doi.org/10.3390/jpm13091363

Veluvali, P., & Surisetti, J. (2021). Learning Management System for Greater Learner Engagement in Higher Education—A Review. *Higher Education for the Future*, *9*(1), 107-121. https://doi.org/10.1177/23476311211049855

Weidener, L., & Fischer, M. (2023). Artificial Intelligence Teaching as Part of Medical Education: Qualitative Analysis of Expert

Interviews. *JMIR Medical Education*, *9*. https://doi.org/10.2196/46428

Wu, Q., Wang, Y., Lu, L., Chen, Y., Long, H., & Wang, J. (2022). Virtual Simulation in Undergraduate Medical Education: A Scoping Review of Recent Practice. *Frontiers in Medicine*, *9*, 855403-855403. https://doi.org/10.3389/fmed.2022.855403

Zen, Z., Reflianto, R., Syamsuar, & Ariani, F. (2022). Academic achievement: The effect of project-based online learning method and student engagement. *Heliyon*, *8*(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11509

BİDGE