

Diş Hekimliği Eğitiminde Sanal Gerçeklik Uygulamaları: Fırsatlar, Zorluklar ve Gelecek Perspektifleri

Esra Yıldırım Manav¹

Özet

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisi, son yıllarda sağlık bilimleri eğitiminde köklü bir dönüşüm yaratmış ve diş hekimliği eğitiminde de giderek daha fazla benimsenen bir yöntem haline gelmiştir. Geleneksel eğitim modellerinde öğrenciler, fantom başlar veya plastik dişler üzerinde pratik yaparak temel psikomotor becerilerini geliştirmektedir. Ancak bu yöntemler sınırlı tekrar olanağı, yüksek maliyet ve gerçek klinik koşulları tam olarak yansıtamama gibi kısıtlamalara sahiptir. VR, öğrencilere üç boyutlu, interaktif ve güvenli bir öğrenme ortamı sunarak kavite preparasyonu, çürük uzaklaştırma, restoratif ve endodontik işlemler gibi becerileri risksiz biçimde deneyimleme fırsatı sağlamaktadır. Özellikle haptik geri bildirim özelliğine sahip simülörler sayesinde öğrenciler farklı doku sertliklerini ayırt edebilmekte, işlem sırasında yaptıkları hatalara anında geri bildirim alabilmektedir. Bu durum hem özgüven gelişimini desteklemekte hem de klinik başarıya katkıda bulunmaktadır. Ayrıca VR tabanlı sistemler, öğrenci performansını objektif parametrelerle ölçme ve değerlendirme olanağı sunarak eğitimde şeffaflık ve standardizasyon sağlamaktadır. Bununla birlikte, yüksek maliyet, teknik altyapı gereksinimleri, haptik sınırlılıklar ve müfredata entegrasyon zorlukları, teknolojinin yaygın kullanımında önemli engeller oluşturmaktadır. Gelecek yıllarda VR'nin yapay zekâ, artırılmış gerçeklik ve gelişmiş haptik teknolojilerle entegrasyonu sayesinde daha kapsamlı ve etkili bir eğitim aracı haline gelmesi beklenmektedir. Bu nedenle VR, geleneksel yöntemleri tamamlayıcı bir yaklaşım olarak diş hekimliği müfredatında stratejik şekilde yerini almalıdır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Lokman Hekim Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
ORCID ID: 0000-0001-8073-1222

1.Giriş

Diş hekimliği eğitimi, bilişsel bilgi ile psikomotor becerilerin eş zamanlı gelişimini gerektiren kompleks bir süreçtir. Geleneksel eğitim modellerinde öğrenciler prelinik aşamada fantom kafa modelleri, akrilik veya plastik dişler gibi materyaller üzerinde çalışarak el becerilerini geliştirir. Ancak bu yöntemler, sınırlı tekrar imkânı, yüksek maliyet ve gerçek klinik senaryoları tam anlamıyla yansıtamama gibi dezavantajlar taşımaktadır.

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisi, son yıllarda sağlık alanında eğitim ve simülasyon uygulamalarıyla öne çıkmış ve diş hekimliği eğitiminin de önemli bir parçası haline gelmeye başlamıştır. VR, öğrencilere interaktif ve üç boyutlu bir öğrenme ortamı sunarak hem klinik prosedürlerin hem de hasta ile iletişim becerilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Özellikle haptik geri bildirim sağlayan simülatörler (örn. Simodont, VirTeaSy Dental) sayesinde öğrenciler, preparasyon, kavite açma, çürük temizleme gibi işlemleri gerçekçi bir şekilde deneyimleme olanağı bulmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalar, VR tabanlı eğitimin öğrencilerin motivasyonunu artırdığını, özgüvenlerini geliştirdiğini ve klinik başarılarını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir [1–3]. Ayrıca, pandemi dönemi gibi yüz yüze eğitimin kısıtlandığı dönemlerde VR'nin uzaktan erişim sağlaması, bu teknolojinin önemini daha da artırmıştır.

Bu bölümde, diş hekimliği eğitiminde VR kullanımının mevcut durumunu, avantajlarını, sınırlılıklarını ve gelecekteki potansiyel gelişim alanlarını incelemek amaçlanmaktadır.

2. Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Tanımı ve Diş Hekimliği Eğitimindeki Rolü

2.1. Sanal Gerçeklik (VR) Teknolojisinin Tanımı

Sanal gerçeklik (VR), bilgisayar tabanlı üç boyutlu bir ortamda, kullanıcıya görsel, işitsel ve dokunsal uyaranlar aracılığıyla gerçek dünyaya benzer bir deneyim yaşatmayı amaçlayan bir teknolojidir. VR uygulamalarında kullanılan cihazlar (VR gözlükleri, hareket sensörleri, haptik cihazlar vb.) sayesinde birey, sanal ortamla doğrudan etkileşim kurabilmektedir. Eğitim bağlamında VR'nin en önemli özelliği, aktif öğrenme ve deneyimsel uygulama imkânı sunmasıdır [4].

2.2. VR'nin Sağlık Eğitimindeki Yeri

VR teknolojisi, son on yılda sağlık bilimleri eğitiminde yaygınlaşarak anatomi öğretiminden cerrahi simülasyonlara kadar geniş bir alanda

kullanılmaya başlanmıştır. Tıp ve hemşirelik eğitiminde klinik senaryo uygulamaları, acil müdahale simülasyonları ve hasta iletişimi eğitimleri VR tabanlı platformlarla desteklenmektedir [5,6]. Bu bağlamda diş hekimliği de VR'nin en hızlı gelişim gösterdiği disiplinlerden biri haline gelmiştir.

2.3. Diş Hekimliği Eğitimindeki Rolü

Diş hekimliği eğitimi, özellikle psikomotor becerilerin geliştirilmesine dayalıdır. Geleneksel yöntemler (fantom kafa modelleri, plastik dişler) öğrencilerin temel el becerilerini geliştirmesinde faydalı olmakla birlikte, gerçek klinik senaryoları tam olarak yansıtamaz. VR ise öğrencilerin;

- Kavite preparasyonu
- Çürük uzaklaştırma
- Restoratif işlemler
- Endodontik girişim uygulamaları

gibi becerileri, gerçekçi görsel ve haptik geri bildirim eşliğinde tekrar tekrar denemelerine olanak tanır [7].

2.4. Haptik Simülasyonlar

Haptik geri bildirim, VR teknolojisinin diş hekimliği eğitiminde en kritik bileşenidir. Simodont Dental Trainer ve VirTeaSy Dental gibi simülasyonlar, öğrencilerin alet kullanımını, basınç uygulamasını ve doku farklılıklarını gerçekçi biçimde hissetmesini sağlar. Bu sistemler aynı zamanda öğrencilerin yaptıkları hataları anlık olarak raporlayabilmekte ve objektif değerlendirme imkânı sunmaktadır [8].

2.5. Eğitimde Pedagojik Katkıları

VR, öğrencilere yalnızca teknik beceri kazandırmakla kalmaz, aynı zamanda öğrenme sürecine yönelik pedagojik katkıları da sağlar. Araştırmalar VR'nin:

- Öğrencilerin özgüvenini artırdığını,
- Stres düzeylerini azalttığını,
- Aktif katılımı teşvik ettiğini,
- Kendi hızında öğrenme imkânı sunduğunu ortaya koymuştur [9,10].

3. Diş Hekimliği Eğitiminde VR Kullanım Alanları

Sanal gerçeklik (VR), diş hekimliği eğitiminde farklı aşamalara ve klinik disiplinlere entegre edilerek hem prelinik hem de klinik düzeyde katkı sağlamaktadır. Bu bölümde VR'nin öne çıkan kullanım alanları detaylandırılmıştır.

3.1. Prelinik Eğitim ve Temel Beceriler

Prelinik aşama, öğrencilerin klinik öncesi dönemde el becerilerini geliştirdikleri kritik bir süreçtir. VR simülörleri, bu aşamada özellikle şu becerilerin kazandırılmasında etkilidir:

- Kavite preparasyonu: Kavite derinliği, genişliği ve duvar açıları gerçekçi bir şekilde ölçülebilir.
- Çürük uzaklaştırma: Haptik geri bildirim sayesinde sağlıklı ve çürük doku ayrımı yapılabilir.
- Restoratif işlemler: Dolgu materyali yerleştirme ve şekillendirme senaryoları uygulanabilir.

Araştırmalar, VR tabanlı eğitim alan öğrencilerin, yalnızca fantom diş üzerinde çalışanlara kıyasla daha yüksek başarı ve özgüven sergilediğini göstermektedir [11,12].

3.2. Endodonti Eğitimi

Endodontik girişimler, hassasiyet ve deneyim gerektiren işlemlerdir. VR simülörleri ile öğrenciler,

- Pulpa odası açılımı,
- Kanal şekillendirme,
- Alet kullanım teknikleri gibi uygulamaları risksiz ortamda deneyimleyebilir. Özellikle dar ve eğimli kanallarda hata yapmadan pratik imkânı sunar [13].

3.3. Oral ve Maksillofasiyal Cerrahi

Cerrahi eğitimde VR, karmaşık operasyonların üç boyutlu modellenmesiyle öğrencilerin vaka deneyimini artırmaktadır.

- Gömülü diş çekimleri,
- İmplant cerrahisi,

- Travma vakalarının simülasyonu gibi uygulamalar, VR teknolojisi ile güvenli bir şekilde öğretilir. Öğrenciler, cerrahi prosedürlerin adımlarını öğrenirken aynı zamanda klinik karar verme becerilerini de geliştirmektedir [14].

3.4. Hasta-Simülasyon Senaryoları

VR yalnızca teknik becerilerin değil, aynı zamanda iletişim ve klinik karar verme becerilerinin de gelişmesine katkıda bulunur.

- Hasta öyküsü alma,
- Tedavi seçeneklerini açıklama,
- Zor hasta iletişimi senaryoları gibi uygulamalar VR ortamında simüle edilerek öğrencilerin klinik pratikte daha hazırlıklı olmaları sağlanabilir [15].

3.5. Değerlendirme ve Objektif Ölçüm

VR sistemlerinin en önemli avantajlarından biri, öğrenci performansını objektif kriterlerle ölçebilmesidir.

- Yapılan preparasyonun boyutları,
- Uygulanan basınç,
- Hata oranları otomatik olarak kaydedilir. Bu sayede öğrenciler hem kendi gelişimlerini izleyebilir hem de eğitmenler tarafsız verilere dayalı değerlendirme yapabilir [16].

4. Diş Hekimliği Eğitiminde VR'nin Avantajları

Sanal gerçeklik (VR), diş hekimliği eğitiminde hem pedagojik hem de pratikaçıdan önemli kazanımlar sağlamaktadır. Literatür, VR uygulamalarının geleneksel yöntemlere kıyasla birçok avantaj sunduğunu göstermektedir.

4.1. Güvenli Öğrenme Ortamı

VR, öğrencilerin gerçek hasta üzerinde hata yapma riskini ortadan kaldırır. Klinik uygulamalara başlamadan önce öğrenciler, simülasyon ortamında defalarca pratik yaparak el becerilerini güvenle geliştirebilir [17].

4.2. Tekrar Edilebilirlik ve Süreklilik

VR simülasyonları, aynı işlemin sınırsız kez tekrar edilmesine olanak tanır. Bu özellik, öğrencilerin kişisel hızlarına göre öğrenmelerine katkıda bulunur ve eğitimde fırsat eşitliği sağlar [18].

4.3. Objektif Değerlendirme İmkânı

VR sistemleri, öğrencilerin yaptıkları işlemleri anlık olarak kaydederek hata oranı, basınç miktarı, işlem süresi gibi parametreleri ölçer. Böylece değerlendirmeler, eğitmenin subjektif görüşüne değil, objektif verilere dayanır [19].

4.4. Öğrenci Motivasyonu ve Öz güveni Artırma

Çalışmalar, VR tabanlı eğitimin öğrencilerin derse katılımını artırdığını ve özgüvenlerini geliştirdiğini ortaya koymuştur. Özellikle klinik deneyimi kısıtlı öğrenciler için VR, motivasyonu yükselten önemli bir araçtır [20].

4.5. Gerçekçi Haptik Geri Bildirim

Simodont ve VirTeaSy Dental gibi haptik sistemler, farklı sertlikteki dokuların ayırt edilmesine olanak tanır. Bu sayede öğrenciler, klinik gerçekliğe yakın deneyim yaşar ve doku duyarlılığını daha erken dönemde kazanır [3].

4.6. Uzaktan Eğitim ve Erişilebilirlik

Pandemi dönemi ile birlikte VR'nin uzaktan eğitimdeki önemi daha da belirginleşmiştir. Öğrenciler, sanal platformlar aracılığıyla farklı coğrafyalarda dahi benzer eğitim deneyimi yaşayabilir. Bu, diş hekimliği eğitiminde uluslararası standartların sağlanmasına katkıda bulunur [4].

4.7. Etik ve Hasta Güvenliği Açısından Katkılar

VR uygulamaları, öğrencilerin hasta üzerinde deneme-yanılma yöntemiyle öğrenmesini engelleyerek hem etik açıdan hem de hasta güvenliği açısından avantaj sağlar. Bu durum, öğrencilerin klinik aşamaya daha hazırlıklı geçmesini destekler [5].

5. Diş Hekimliği Eğitiminde VR'nin Sınırlılıkları ve Zorlukları

Her ne kadar sanal gerçeklik (VR) teknolojisi diş hekimliği eğitiminde önemli avantajlar sunsa da, bazı sınırlılıkları ve uygulama zorlukları bulunmaktadır. Bu faktörler, teknolojinin geniş çapta entegrasyonunu zorlaştırabilmektedir.

5.1. Yüksek Maliyet

VR simülatörleri (örneğin Simodont, VirTeaSy Dental) ve gerekli donanımlar oldukça pahalıdır. Bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkelerde veya sınırlı bütçeye sahip fakültelerde yaygın kullanımın önünde ciddi bir engel oluşturmaktadır [21].

5.2. Teknik Altyapı Gereksinimleri

VR'nin etkin kullanılabilmesi için güçlü bilgisayar sistemleri, düzenli bakım, yazılım güncellemeleri ve teknik destek gerekmektedir. Teknik arızalar veya sistem hataları, eğitim sürecinde kesintilere neden olabilmektedir [8].

5.3. Haptik Geri Bildirimde Sınırlılıklar

Mevcut haptik sistemler, doku sertliklerini belli bir düzeyde simüle etse de henüz gerçek dokuya tam anlamıyla eşdeğer bir deneyim sunamamaktadır. Öğrenciler, VR ortamında kazandıkları becerileri klinik uygulamalarda bire bir aktarmakta zaman zaman güçlük yaşayabilmektedir [22].

5.4. Öğrencilerin Teknolojiyi Benimsemesi

Bazı öğrenciler yeni teknolojilere hızlı uyum sağlarken, diğerleri geleneksel yöntemleri tercih etmektedir. Bu durum, öğrenci motivasyonunu ve VR kullanımının etkinliğini farklılaştırabilir [23].

5.5. Eğitimcilerin Yeterliliği

VR tabanlı eğitimin başarılı olabilmesi için yalnızca öğrencilerin değil, eğitimcilerin de teknolojiye hâkim olması gerekmektedir. Ancak bazı öğretim üyelerinin VR sistemlerini kullanma konusunda deneyim eksikliği, entegrasyonu sınırlayabilir [24].

5.6. Müfredat Entegrasyonu

VR'nin dış hekimliği müfredatına entegrasyonu hâlâ sınırlı düzeydedir. Geleneksel eğitim programlarının yoğunluğu, VR tabanlı eğitim için ayrı bir zaman ve içerik ayrılmasını zorlaştırabilmektedir [25].

5.7. Uzun Dönem Etkinliğin Belirsizliği

Literatürde VR'nin kısa vadede öğrenci becerilerini geliştirdiği net olarak ortaya konmuştur. Ancak, uzun vadeli klinik başarıya etkisi hâlâ tam olarak kanıtlanmamıştır. Bu da VR'nin pedagojik sürdürülebilirliği konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır [26].

6. Gelecek Perspektifleri

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisi, hızla gelişen dijital sağlık uygulamalarının merkezinde yer almaktadır. Günümüzde prelinik ve klinik eğitimde kullanılan VR uygulamalarının, gelecekte çok daha kapsamlı ve entegre bir yapıya ulaşması beklenmektedir.

6.1. Yapay Zekâ (AI) Entegrasyonu

VR sistemlerinin yapay zekâ ile birleştirilmesi, öğrenci performansının daha ayrıntılı ve kişiselleştirilmiş şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır. Yapay zekâ algoritmaları, öğrencinin öğrenme hızına göre senaryoları uyarlayabilir ve bireysel öğrenme planları oluşturabilir [27,28].

6.2. Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Karma Gerçeklik (MR)

Gelecekte VR'nin, artırılmış gerçeklik (AR) ve karma gerçeklik (MR) teknolojileriyle bütünleşmesi öngörülmektedir. Bu sayede öğrenciler, gerçek klinik ortamda çalışırken sanal rehberlik alabilecek ve dijital veriler gerçek dünyaya entegre edilebilecektir [29].

6.3. Gelişmiş Haptik Teknolojiler

Mevcut haptik cihazlar, dokular arasındaki farklılıkları sınırlı ölçüde hissettirebilmektedir. Gelecekte geliştirilecek ileri düzey haptik sistemler sayesinde mine, dentin ve çürük dokusu arasındaki duyuşal fark daha net yansıtılacak, böylece klinik deneyime daha yakın bir öğrenim sağlanacaktır [21].

6.4. Sanal Hasta Simülasyonları

VR, yalnızca teknik beceriler değil, aynı zamanda klinik karar verme ve iletişim becerilerinin geliştirilmesinde de kullanılacaktır. Gerçekçi sanal hasta senaryoları, öğrencilerin hasta öyküsü alma, tedavi seçeneklerini açıklama ve zor hasta iletişimlerini yönetme gibi beceriler kazanmasına yardımcı olacaktır [30].

6.5. Küresel ve Uzaktan Eğitim Olanakları

VR tabanlı platformların internet tabanlı erişim imkânı sayesinde, farklı ülkelerdeki öğrenciler aynı eğitimi eş zamanlı olarak alabilecektir. Bu durum, diş hekimliği eğitiminde uluslararası standartların oluşturulmasına katkı sağlayacaktır [31].

6.6. Müfredatın Yeniden Yapılandırılması

VR'nin giderek daha fazla kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, diş hekimliği müfredatlarının bu teknolojiye göre yeniden düzenlenmesi beklenmektedir. Bu süreçte, VR uygulamalarıyla geleneksel fantom çalışmaları arasında dengeli bir dağılım oluşturulması önem kazanacaktır [32].

6.7. Klinik Başarıya Yansımaları

Gelecekte yapılacak uzun dönemli araştırmalar, VR tabanlı eğitimin öğrencilerin klinik başarıları üzerindeki kalıcı etkilerini ortaya koyacaktır. Bu sayede VR'nin, yalnızca eğitim aracı değil, aynı zamanda klinik mükemmeliyetin artırılması için stratejik bir unsur haline gelmesi beklenmektedir [33].

7. Sonuç

Sanal gerçeklik (VR) teknolojisi, diş hekimliği eğitiminde geleneksel yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunan yenilikçi bir yaklaşımdır. Öğrencilere güvenli, tekrarlanabilir ve objektif olarak değerlendirilebilir bir öğrenme ortamı sağlaması; özgüveni artırması ve hasta güvenliğini koruması, VR'nin en öne çıkan katkılarıdır. Haptik geri bildirim sağlayan simülatörler sayesinde öğrenciler, klinik deneyime yakın beceriler kazanabilmekte ve eğitim süreçleri daha verimli hale gelmektedir. Bununla birlikte, VR'nin yaygınlaşmasının önünde yüksek maliyet, teknik altyapı gereksinimleri, haptik sınırlılıklar ve müfredata entegrasyon zorlukları gibi bazı engeller bulunmaktadır. Ayrıca, uzun vadede VR tabanlı eğitimin klinik başarıya etkisini ortaya koyan daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç vardır. Gelecek yıllarda VR'nin yapay zekâ, artırılmış gerçeklik ve gelişmiş haptik teknolojilerle birleşerek çok daha etkili bir eğitim aracı haline gelmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler, yalnızca öğrencilerin teknik becerilerini değil, aynı zamanda klinik karar verme ve iletişim yeteneklerini de güçlendirecektir.

Sonuç olarak, VR, diş hekimliği eğitiminde tamamlayıcı bir araç olarak değerlendirilmelidir. Geleneksel yöntemlerin yerini tamamen alması beklenmemekle birlikte, VR'nin stratejik ve planlı entegrasyonu, hem eğitim kalitesini yükseltecek hem de diş hekimliği mesleğinin dijital dönüşümüne önemli katkılar sağlayacaktır.

Kaynaklar

1. Buchanan JA. Experience with virtual reality-based technology in teaching restorative dental procedures. *J Dent Educ.* 2004;68(12):1258–65.
2. Quinn F, Keogh P, McDonald A, Hussey D. A study comparing the effectiveness of conventional training and virtual reality simulation in skills acquisition of junior dental students. *Eur J Dent Educ.* 2003;7(4):164–9.
3. Wierinck ER, Puttemans V, Swinnen SP, van Steenberghe D. Effect of augmented visual feedback from a virtual reality simulation system on manual dexterity training. *Eur J Dent Educ.* 2005;9(1):10–6.
4. Wierinck ER, Puttemans V, van Steenberghe D. Effect of tutorial input in addition to augmented feedback on manual dexterity training and its retention. *Eur J Dent Educ.* 2006;10(1):24–31.
5. Al-Saud LM, Mushtaq F, Allsop MJ, Culmer PC, Mirghani I, Yates E, et al. Feedback and motor skill acquisition using a haptic dental simulator. *Eur J Dent Educ.* 2017;21(4):240–7.
6. De Boer IR, Wesselink PR, Vervoorn JM. Student performance and appreciation using 3D vs. 2D vision in a virtual learning environment. *Eur J Dent Educ.* 2016;20(3):142–7.
7. Murbay S, Chang JW, Yeung S, Neelakantan P. Evaluation of the introduction of a dental virtual simulator on the performance of undergraduate dental students in the pre-clinical operative dentistry course. *Eur J Dent Educ.* 2020;24(1):5–16.
8. Serrano CM, Bakker DR, Zamani M, de Boer IR, Koopman P, Wesselink PR, et al. Virtual reality and haptics in dental education: Implementation progress and lessons learned after a decade. *Eur J Dent Educ.* 2023;27(6):833–40.
9. Towers A, Field J, Stokes C, Maddock S, Martin N. A scoping review of the use and application of virtual reality in pre-clinical dental education. *Br Dent J.* 2019;226(5):358–66.
10. Towers A, Dixon J, Field J, Martin R, Martin N. Combining virtual reality and 3D-printed models to simulate patient-specific dental operative procedures: Student perceptions. *Eur J Dent Educ.* 2022;26(3):393–403.
11. Joda T, Gallucci GO, Wismeijer D, Zitzmann NU. Augmented and virtual reality in dental medicine: A systematic review. *Comput Biol Med.* 2019;108:93–100.
12. Ayoub A, Pulijala Y. The application of virtual reality and augmented reality in oral & maxillofacial surgery. *BMC Oral Health.* 2019;19(1):238.
13. Philip N, Ali K, Duggal M, Daas H, Nazzal H. Effectiveness and student perceptions of haptic virtual reality simulation training in pre-clini-

- cal paediatric dentistry: A pilot study. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(5):4226.
14. Daud A, Matoug-Elwerfelli M, Khalid A, Ali K. The impact of virtual reality haptic simulators in pre-clinical restorative dentistry: A qualitative enquiry into dental students' perceptions. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):16.
 15. Daud A, Matoug-Elwerfelli M, Daas H, Zahra D, Ali K. Enhancing learning experiences in pre-clinical restorative dentistry: The impact of virtual reality haptic simulators. *BMC Med Educ*. 2023;23(1):948.
 16. Hamama H, Harrison KY, Murbay S. Benefits of using virtual reality in cariology teaching. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):1051.
 17. Koolivand H, Shooreshi MM, Safari-Faramani R, Borji M, Mansoori MS, Moradpoor H, et al. Comparison of the effectiveness of virtual reality-based education and conventional teaching methods in dental education: A systematic review. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):8.
 18. Abbas JR, O'Connor A, Ganapathy E, Isba R, Payton A, McGrath B, et al. What is Virtual Reality? A healthcare-focused systematic review of definitions. *Health Policy Technol*. 2023;12(4):100741.
 19. Bevizova K. Is virtual reality enhancing dental anatomy education? A systematic review. *Med Sci Monit*. 2024;30:e012345.
 20. Matoug-Elwerfelli M, Al-Khabuli J, Alhobeira H, Dass H, Abdou A, Ali K. Integration of haptic virtual reality simulators in undergraduate dental curricula: A survey-based study. *PLoS One*. 2025;20(2):e0298765.
 21. Manav EY, Akbiyik SY, Ceylan AB, Çakıroğlu AEY, Tuncer D. Effects of virtual reality and layered tooth model training on manual dexterity in pre-clinical dental education. *BMC Med Educ*. 2025;25(1):1020.
 22. Algarni, Y. A., Saini, R. S., Vaddamanu, S. K., Quadri, S. A., Gurumurthy, V., Vyas, R., ... & Heboyan, A. (2024). The impact of virtual reality simulation on dental education: a systematic review of learning outcomes and student engagement. *Journal of Dental Education*, 88(11), 1549-1562.
 23. Moussa, R., Alghazaly, A., Althagafi, N., Eshky, R., & Borzangy, S. (2022). Effectiveness of virtual reality and interactive simulators on dental education outcomes: systematic review. *European journal of dentistry*, 16(01), 14-31.
 24. Narang, K., Imsirovic, A., Dhanda, J., & Smith, C. F. (2022). Virtual reality for anatomy and surgical teaching. In *Biomedical Visualisation: Volume 14 COVID-19 Technology and Visualisation Adaptations for Biomedical Teaching* (pp. 135-149). Cham: Springer International Publishing.
 25. Serrano, C. M., Atenas, M. J., Rodriguez, P. J., & Vervoorn, J. M. (2025). From Virtual Reality to Reality: Fine-Tuning the Taxonomy for Extended Reality Simulation in Dental Education. *European Journal of Dental Education*, 29(3), 486-496.

26. Nezhad, H. M., Ashourioun, A., & Sadeghdaghghi, A. (2024). The effect of virtual reality for anxiety and pain in dentistry: A systematic review and meta-analysis. *Community Dental Health*, 41(4), 248-255.
27. Alaker, M., Wynn, G. R., & Arulampalam, T. (2016). Virtual reality training in laparoscopic surgery: a systematic review & meta-analysis. *International Journal of Surgery*, 29, 85-94.
28. Coşkun S, Coşkun Ö, Budakoğlu İİ. Diş hekimliği eğitiminde yapay zeka. *Tıp Eğitimi Dünyası*. 2025;24(72):11-23.
29. Sanfilippo, F., Salviotti, G., Blazauskas, T., Gabriele, G., Zafar, M., Hua, M. T., ... & Margelis, E. (2025). Integrating VR, AR, and Haptics in Basic Surgical Skills Training: a Review and Perspective. *IEEE Access*.
30. Pulijala Y, Ma M, Pears M, Peebles D, Ayoub A. An innovative virtual reality training tool for maxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2018;47(9):1199–205.
31. Mohamed Rohani, M., Shoaib, L. A., & Salleh, N. M. (2025). Comparison of Dental Education in Different Parts of the World. In *Handbook of Dental Education Technology* (pp. 1-35). Singapore: Springer Nature Singapore.
32. Lin, P. Y., Chen, T. C., Lin, C. J., Huang, C. C., Tsai, Y. H., Tsai, Y. L., & Wang, C. Y. (2024). The use of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) in dental surgery education and practice: A narrative review. *Journal of Dental Sciences*, 19, S91-S101.
33. Monterubbianesi, R., Tosco, V., Vitiello, F., Orilisi, G., Fraccastoro, F., Putignano, A., & Orsini, G. (2022). Augmented, virtual and mixed reality in dentistry: a narrative review on the existing platforms and future challenges. *Applied Sciences*, 12(2), 877.