

Fen Eğitiminde Yapay Zeka: Uygulamalar, Pedagojik Dönüşüm ve Etik Yaklaşımlar

Adem Kenan¹

Özet

Bu kitap bölümü, fen eğitiminde yapay zekanın (YZ) kullanımı üzerine kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Geleneksel fen öğretim yöntemlerinin, öğrencilerin farklı öğrenme hızları ve ihtiyaçlarına yeterince yanıt verememesi, uluslararası ölçekli başarı uçurumlarına yol açarken (örneğin, TIMSS 2019 verileri), YZ destekli uygulamalar öğrenme sürecinde kişiselleştirilmiş ve veriye dayalı yaklaşımlar sunmaktadır. Bölümde, kişiselleştirilmiş öğrenme platformları, sanal laboratuvarlar, akıllı öğretim sistemleri ve otomatik değerlendirme ile geri bildirim sistemleri detaylı şekilde incelenmektedir. Kişiselleştirilmiş sistemler, öğrencinin güçlü ve zayıf yönlerini tespit ederek, eksik konulara yönelik ek materyaller sunar; sanal laboratuvarlar, fiziksel sınıf olanaklarının kısıtlı olduğu durumlarda deneysel öğrenme imkânı sağlar. Akıllı öğretim sistemleri, öğrencilerin problem çözme adımlarını takip ederek anlık geribildirim verirken, otomatik değerlendirme araçları öğretmenlerin iş yükünü hafifletir ve öğrenme döngüsünü hızlandırır. Ayrıca, YZ'nin pedagojik etkileri; öğretmen rolünün bilgi aktarımından öğrenme kolaylaştırıcısına evrilmesi, öğrenci motivasyonunun artırılması ve kavramların somutlaştırılması gibi faydalarla desteklenmektedir. Bununla birlikte, veri gizliliği, algoritmik önyargı ve erişim eşitsizlikleri gibi etik meseleler de ele alınmıştır. Sonuç olarak, bu bölüm, fen eğitiminde YZ'nin sunduğu dönüşümün, teknolojik ve pedagojik yaklaşımların uyumlu bir şekilde geliştirilmesiyle, daha kapsayıcı ve etkili öğrenme ortamlarının oluşturulabileceğini savunmaktadır.

1 Adem Kenan, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, akenan@erzincan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6012-9488

1. Giriş

Fen eğitimi, bireylerin bilimsel düşünme becerilerini geliştirerek dünyayı anlamalarını sağlayan temel bir disiplindir. Ancak geleneksel sınıf modelleri, öğrencilerin farklı öğrenme hızlarına ve ihtiyaçlarına tam uyum sağlayamamaktadır. Nitekim TIMSS 2019 sonuçları, Türkiye’de 8. sınıf öğrencilerinin sadece %6’sının fen bilimlerinde ileri düzey performans sergilediğini, oysa bu oranın Singapur’da %36 olduğunu göstermektedir (Mullis *ve ark.*, 2020). Bu tür veriler, fen öğretiminde yenilikçi yaklaşımların gerekliliğine işaret etmektedir. Yapay zeka (YZ) teknolojileri, fen eğitimini kişiselleştirme ve demokratikleştirme potansiyeliyle bu ihtiyaca yanıt verebilir (Cheuk, 2021). UNESCO’nun 2021 raporu, YZ’nin eğitimde fırsat eşitliğini destekleyerek dezavantajlı bölgelere dahi kaliteli öğrenme materyalleri ulaştırabileceğini belirtmektedir (UNESCO, 2021).

Günümüzde YZ’nin eğitime entegrasyonu hem fırsatlar hem de tartışmalar doğurmaktadır. Bir yandan Hindistan’da uygulanan “AI for All” projesi, kırsal bölgelerde 10.000 öğrenciye YZ tabanlı fen dersleri sunarak bu teknolojinin erişim gücünü göstermiştir (NITI Aayog, 2022). Benzer şekilde Avrupa Birliği’nin “AI4T” girişimi, öğretmenlere YZ araçlarını sınıf pratiğiyle bütünleştirme konusunda rehberlik edecek kılavuzlar geliştirmektedir (European Commission, 2023). Diğer yandan, YZ’nin pedagojik açıdan nasıl en iyi şekilde kullanılacağı ve etik sınırları, eğitimciler ve politika yapımcılar için önemli bir tartışma alanıdır. Fen bilimleri öğretmenlerinin YZ’ye bakışı genellikle olumludur; yapılan bir çalışmada öğretmenlerin büyük çoğunluğu sınıfta YZ kullanımını yüksek oranda benimsemeye hazır olduklarını belirtmiştir (Al Daraysch, 2023). Bununla birlikte, öğretmenler YZ araçlarının yarar ve kullanım kolaylığı konusunda ikna oldukça bu teknolojileri sınıflarına entegre etmeye istek duymaktadır (Al Daraysch, 2023).

Bu bölümde, fen eğitiminde yapay zekanın mevcut ve potansiyel uygulamalarını ele alarak, kişiselleştirilmiş platformlardan sanal laboratuvarlara kadar çeşitli YZ destekli araçların fen öğretimine entegrasyonunu inceleneyecektir. Ayrıca, YZ’nin fen öğretimindeki pedagojik etkilerini tartışacak, veriye dayalı öğretim modellerini açıklayacak ve bu alandaki etik meseleleri değerlendirecektir.

2. Fen Eğitiminde Yapay Zeka Destekli Uygulamalar

YZ destekli eğitim teknolojileri, fen derslerinin işlenişini kökten değiştirebilecek çeşitli araçlar sunmaktadır. Aşağıda, fen eğitiminde en yaygın ve etkili YZ uygulamalarından bazıları ve kullanım örnekleri incelenmektedir.

2.1. Kişiselleştirilmiş Öğrenme Platformları

Kişiselleştirilmiş öğrenme platformları, her öğrencinin öğrenme hızına ve bilgi düzeyine uyum sağlayarak **bireyselleştirilmiş bir öğrenme deneyimi** sunmayı amaçlar. Bu platformlar, öğrencilerin güçlü ve zayıf yönlerini veri analitiği ile tespit edip içerik akışını buna göre ayarlar. Örneğin, Khan Academy gibi yaygın platformlar, gömülü YZ algoritmaları sayesinde öğrencilerin çözemediği fen sorularını belirleyip onlara uygun ek alıştırmalar önererek öğrenme açığını kapatmaya çalışır (Holmes *ve ark.*, 2019). Benzer şekilde, Carnegie Learning veya DreamBox gibi YZ destekli sistemler her öğrenci için özelleştirilmiş ders planları oluşturarak *adım adım öğrenme* imkânı sunar. Bu sayede öğrenciler, konuları kendi hızlarında ve seviyelerine uygun derinlikte öğrenebilir. Nitekim araştırmalar, uyarlanabilir öğrenme platformlarının öğrenci başarısını ve konuyu anlama düzeyini artırabildiğini göstermektedir (Chen *ve ark.*, 2020, Cheuk, 2021).

Bu platformlarda YZ, genellikle öğrenci etkileşimlerinden büyük veri setleri toplayarak çalışır. Öğrencinin önceki ünite sınav sonuçları, çözüm süreleri, tekrar ihtiyaç duyduğu konular gibi veriler analiz edilerek bir *öğrenen modeli* oluşturulur. Ardından içerikler, bu modele dayalı olarak dinamik biçimde sunulur. Örneğin, bir öğrenci hücre bölünmesi konusunda zorlanıyorsa platform bunu algılayıp ek videolar ve alıştırmalarla konuyu pekiştirir. Böylece her öğrenci, eksik olduğu alanlara yoğunlaşma imkânı bulur. *Crompton ve arkadaşları* (2022), YZ destekli kişiselleştirme sayesinde fen bilimlerinde öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerinin derinleştiğini ve öğretmenlerin de bu sistemler üzerinden anlık geri bildirim alabildiğini vurgulamıştır. Kişiselleştirilmiş öğrenme, sınıf içi düzey farklılıklarını yönetmede öğretmenlere önemli bir destek sunarak öğrenci merkezli bir fen öğretimi ortamı oluşturur.

2.2. Sanal Laboratuvarlar ve Simülasyonlar

Fen eğitiminde deneysel uygulamalar kritik yer tutar; ancak her okulda tam donanımlı laboratuvar imkânı bulunmayabilir. *Sanal laboratuvarlar*, bu boşluğu doldurmak için geliştirilen, YZ ve simülasyon teknolojileriyle güçlendirilmiş ortamlardır. Sanal laboratuvarlar sayesinde öğrenciler, fiziksel olarak lab ortamında bulunmasalar bile bilgisayar ortamında deneyler yapabilir, kimyasal reaksiyonları veya fizik deneylerini etkileşimli olarak gerçekleştirebilirler. Örneğin, Labster platformu, genetik mühendisliğinden kimyaya pek çok alanda sanal deney imkânı sunmaktadır. Öğrenciler internet bağlantısıyla dünya herhangi bir yerinden Labster'ın YZ destekli simülasyonlarına katılarak bir DNA dizilimi deneyini gerçeğe yakın şekilde

yapabilirler. Bu tür sanal deneyimlerin, öğrencilere tekrar yapma ve hatalardan risksiz öğrenme olanağı verdiği belirtilmektedir. Nitekim yapılan çalışmalar, sanal laboratuvar kullanımının öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirebildiğini ortaya koymaktadır (Asare ve ark., 2023; Watters ve ark., 2021). Ayrıca sanal ortamlar, tehlikeli veya maliyetli deneyleri güvenli bir şekilde sunarak öğrenci merakını tetikler ve deney yapma sıklığını artırır.

YZ, sanal laboratuvar deneyimlerini zenginleştirmek için çeşitli şekillerde entegre edilir. Örneğin, bazı gelişmiş sanal lab platformlarında YZ tabanlı akıllı asistanlar, öğrencilerin deney adımlarını takip ederek gerektiğinde ipuçları verebilmektedir. Bir öğrenci deney sırasında yanlış bir adım attığında sistem devreye girip anında geri bildirim sağlar (D'Angelo ve ark., 2014). Bunun yanı sıra, YZ modelleri öğrencilerin deney verilerini analiz ederek sonraki adımda ne yapmaları gerektiğine dair öneriler sunabilir. Martin ve ark. (2020) tarafından geliştirilen bir fizik simülasyonu, öğrencilerin deney sonuçlarını tahmin etme başarımına göre bir sonraki deneyin zorluk seviyesini otomatik olarak ayarlamıştır. Bu tür adaptif simülasyonlar öğrencinin anlık performansını değerlendirerek uyarlanmış bir laboratuvar deneyimi sunar. Sonuç olarak, sanal laboratuvarlar coğrafi veya donanım kısıtlarını ortadan kaldırıp her öğrencinin deneysel öğrenime katılmasını sağlarken, YZ desteğiyle özelleştirilmiş ve güvenli bir öğrenme ortamı yaratır (Ng ve ark., 2024).

2.3. Akıllı Öğretim Sistemleri ve Sanal Mentorlar

Akıllı öğretim sistemleri (AÖS), bire bir özel ders deneyimini teknolojik olarak taklit eden yazılımlardır. Bu sistemler, öğrencilerin çözdüğü problemleri adım adım izleyerek anında geri bildirim sunar ve gerektiğinde ipuçları sağlar. Özellikle fen bilimlerinde problem çözme süreçlerini desteklemek için pek çok Intelligent Tutoring System (ITS) geliştirilmiştir. Örneğin, fizik eğitiminde kullanılan *ANDES* sistemi veya kimya için tasarlanmış *Stoichiometry Tutor*, öğrencilerin çözüm adımlarını takip edip hatalı bir adımda uyarı vererek doğru çözüm yoluna yönlendirebilmektedir. YZ destekli bu tür bir öğretim yazılımı, öğrenciye her an yanında bir mentormuşçasına rehberlik eder. IBM'in geliştirdiği "Watson Tutor" sistemi de fen derslerinde bir sanal mentor olarak, öğrencilerin sorduğu sorulara doğal dil işleme aracılığıyla yanıt vermekte ve takviye materyaller önermektedir.

Araştırmalar, akıllı öğretim sistemlerinin uygun kurgulandığında öğrencilerin başarılarında anlamlı artış sağlayabileceğini göstermektedir. Bir meta-analiz, ITS kullanan öğrencilerin geleneksel sınıf öğrencilerine kıyasla daha yüksek öğrenme kazanımları elde ettiğini ve bu kazanımların

çoğu durumda istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur (Ma ve ark., 2014). Hatta bazı çalışmalarda, iyi tasarlanmış bir ITS'in, bire bir insan öğretmen kadar etkili olabildiği rapor edilmiştir (VanLehn, 2011). Bunun nedeni, ITS'lerin sürekli tanılayıcı değerlendirme yaparak öğrencinin neyi bilip bilmediğini anlık saptayabilmesi ve buna göre öğretim stratejisini uyarlayabilmesidir. Örneğin, *Carbonell (1970)*'in klasik öğrenci modeli yaklaşımını izleyen modern AÖS'ler, öğrencinin yanlış yanıtlarından hangi kavramlarda eksikliği olduğunu çıkarıp o konuya yönelik ek açıklamalar sunar. Carnegie Mellon Üniversitesi'nin uzun yıllardır geliştirdiği bilişsel öğretici sistemler de (özellikle matematik ve fen alanlarında) bu tekniği kullanmış ve öğrencilerin problem çözme becerilerini kuvvetlendirmede başarılı olmuştur. Chen ve arkadaşları (2020), akıllı öğretim sistemlerinin öğrencilerin zorlandığı alanları tespit edip odaklanmış geribildirim sağlama kapasitesine vurgu yapmakta ve bu sayede öğrencilerin kendi öğrenme sorumluluğunu daha fazla alabildiğini belirtmektedir.

Akıllı öğretim sistemlerinin bir diğer avantajı, duygu durumunu dahi analiz ederek öğrenmeye bütüncül yaklaşımlarıdır. Yeni nesil bazı AÖS'ler, öğrencinin yüz ifadesi veya etkileşim sürelerinden yola çıkarak sıkıldığını ya da kafasının karıştığını algılayıp araya motivasyonel mesajlar ekleyebilmektedir. Örneğin, Bosch ve ark. (2016), bilgisayar destekli sınıflarda öğrencilerin duygularını gerçek zamanlı saptayan bir YZ modelinin, gerektiğinde öğrenciyi yeniden derse odaklayabildiğini göstermiştir. Bu gibi yenilikler, fen öğreniminde sadece bilişsel değil duyuşsal desteğin de YZ ile mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, akıllı öğretim sistemleri ve sanal YZ mentorları, fen eğitiminde özelleştirilmiş rehberlik sunarak her öğrencinin *potansiyeline uygun* bir öğrenme yolu izlemesini sağlamakta ve büyük ölçekli sınıflarda bile bire bir öğrenme deneyimini mümkün kılmaktadır.

2.4. Otomatik Değerlendirme ve Geri Bildirim Sistemleri

Değerlendirme, öğrenme sürecinin vazgeçilmez bir parçasıdır; ancak açık uçlu sorular, raporlar veya karmaşık problemler söz konusu olduğunda geleneksel değerlendirmenin zaman ve tarafsızlık sorunları olabilir (Foltz ve ark., 2013). YZ tabanlı otomatik değerlendirme sistemleri, öğrenci çalışmalarını anında analiz edip geribildirim sunarak bu alanda çığır açmaktadır. Özellikle fen eğitiminde, laboratuvar raporları, hipotez testleri veya çizimlerle ifade edilen modeller gibi yapılandırılmış değerlendirmenin zor olduğu durumlarda YZ algoritmaları devreye giriyor. Örneğin, Zhai ve ark. (2022) geliştirdikleri bir YZ modeliyle ortaokul fen öğrencilerinin çizim ve açıklamalarını kullanarak bilimsel model oluşturma becerilerini otomatik

olarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada öğrenciler, sıcaklık değişiminin parçacık hareketine etkisini çizim ve yazılı olarak modellemiş; YZ sistemiyse çizimler içindeki parçacık dağılımı ve açıklamalardaki kilit kavramları analiz ederek insan uzmanların puanlarına oldukça yakın puanlamalar üretmiştir. Nitekim modelin, uzman değerlendirmeleriyle %64–82 arasında kappa uyumu yakaladığı rapor edilmiştir (Zhai *ve ark.*, 2022). Bu sonuçlar, YZ'nin fen eğitiminde açık uçlu görevlerin bile değerlendirilmesinde güvenilir bir yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Otomatik geri bildirim sistemleri yalnızca puanlamakla kalmaz, aynı zamanda öğrenciye detaylı dönüt de sağlar. Örneğin, bir kimya dersi kapsamında yazdırılan laboratuvar raporlarını düşünelim: YZ destekli bir değerlendirme aracı, rapordaki hipotez, yöntem ve sonuç bölümlerini tarayarak eksik veya hatalı kısımları tespit edebilir. Öğrenciye, hipotezinin net olmadığı ya da sonuçları yorumlarken bir yanılgıya düştüğü noktasında anında geribildirim iletir. Bu sayede öğrenci, haftalar sonra not almak yerine anında öğrenme fırsatı yakalar. Carnegie Mellon Üniversitesi'nde denenen bir otomatik geri bildirim sistemi, programlama dersi kodlamalarını anlık değerlendirip öğrencilere hatalarını göstererek öğrenme hızlarını artırmıştır (Piech *ve ark.*, 2020). Benzer bir yaklaşım fen eğitiminde de uygulanmakta; örneğin, biyoloji dersinde öğrencilerin yazdığı açıklamalar, YZ ile dil işleme analizinden geçip önemli bir bilimsel kavram eksikse öğrenciye bunu hatırlatan geri bildirim sunulmaktadır.

YZ'nin değerlendirme süreçlerine entegre olmasının hem öğretmen hem öğrenci için faydaları vardır. Öğretmenler açısından, zaman alan notlandırma işleri otomasyona kavuştuğunda öğretmenler daha stratejik görevlere – örneğin, kavram yanılgısı yaşayan öğrencilerle birebir ilgilenmeye – vakit ayırabilir. Öğrenciler için ise sık tekrarlı pratik yapma olanağı doğar; çünkü anında geri bildirim alabildiklerinde öğrenme döngüsünü hızla tamamlayıp bir sonraki probleme geçebilirler. Formatif (biçimlendirici) değerlendirmede YZ kullanımı özellikle değerli bulunmuştur. Ancak burada bir denge gözetilmelidir: Li *ve ark.* (2023), fen eğitiminde formatif değerlendirmede YZ kullanımının, eğer dikkat edilmezse öğrencilerin farklı düşünme yollarını kısıtlayabileceğini vurgulamıştır. Yazarlar, çok çeşitli doğru yanıt yolları olabilen açık uçlu etkinliklerde YZ'nin sınırlı bir cevap havuzuna göre dönüt vermesinin, öğrencilerin yaratıcı veya alışılmadık yaklaşımlarını değersizleştirme riski taşıdığına dikkat çekmiştir. Bu nedenle otomatik değerlendirme sistemleri tasarlanırken, fen öğreniminde cevap çeşitliliğine açık olacak şekilde geliştirilmeleri ve insan eğitmenlerin yorumlarıyla desteklenmeleri önerilmektedir (Li *ve ark.*, 2023).

3. Yapay Zekanın Fen Öğretimindeki Pedagojik Etkileri

YZ'nin fen bilimleri öğretiminde kullanımı, pedagojik açıdan çeşitli etkiler ve dönüşümler yaratmaktadır. Bu teknolojilerin öğrenme-öğretme sürecine entegrasyonu hem öğrenciler hem de öğretmenler için yeni fırsatlar sunarken, geleneksel rolleri de değiştirmektedir.

3.1. Bireyselleştirilmiş Öğrenme ve Başarı Farkları

YZ uygulamalarının en önemli pedagojik katkılarından biri, öğrenciler arasındaki bireysel farklara duyarlı bir öğrenme ortamı sağlamasıdır. Her öğrenci farklı hızda öğrenir ve farklı önbilgilere sahiptir. Klasik sınıf ortamında bu farklılıklara tam olarak yanıt vermek güç olabilirken, YZ destekli sistemler her öğrenciyi ayrı bir öğrenen olarak ele alabilir. Bu da sınıf içi başarı dağılımının daha dengeli hale gelmesine katkı sunar. Örneğin, bir YZ destekli fen platformu zayıf öğrenciyi ek materyallerle desteklerken ileri düzeydeki öğrenciyi daha derinleştirici projelere yönlendirebilir. Böylece hem öğrenme güclüğü yaşayan öğrenciler geri kalmamış olur, hem de ileri düzeydekiler sıkılmadan ilerler. Bu yaklaşımla, fen alanında uzun süredir gözlenen *başarı uçurumlarının* azalabileceği düşünülmektedir. Nitekim bir çalışmada, YZ tabanlı öğrenme sistemlerinin kullanıldığı sınıflarda alt ve üst performans grupları arasındaki farkın zamanla daraldığı rapor edilmiştir (Crompton *ve ark.*, 2022). YZ'nin **kişiyeye özgü öğretim** sunabilmesi, öğrenme adaletini ve kapsayıcılığı artıran önemli bir etkidir.

3.2. Öğrenci Motivasyonu ve Etkileşimi

YZ destekli araçlar, etkileşimli ve anında geri bildirimli yapılarıyla öğrencilerin derse olan ilgisini canlı tutabilir. Oyunlaştırma (gamification) unsurlarının YZ ile birleştirildiği fen eğitim uygulamaları, öğrencilerin derse motive olmasını kolaylaştırmaktadır. Örneğin, bir kimya öğrenme uygulamasında YZ, öğrencinin yaptığı deneyler için puanlar ve rozetler verebilir, ilerlemeyi takip ederek yeni **challenge**'lar önerebilir. Yapılan bir derleme, fen eğitiminde yapay zeka destekli oyunlaştırılmış içeriklerin öğrenci katılımını ve dersle meşgul olma süresini belirgin biçimde artırdığını bulmuştur (Kalogiannakis *ve ark.*, 2021). Ayrıca, YZ'nin sağladığı anlık geri bildirim, öğrencilerin anlama düzeyleri konusunda sürekli farkındalık yaratarak **öz-düzenleyici öğrenme** becerilerini de geliştirir. Öğrenci, yaptığı hatayı hemen gördüğü ve doğrusunu öğrenebildiği için hatalarına dair olumlu bir tutum geliştirebilir; bu da öğrenmeye devam etme isteğini pekiştirir. Almusayed *ve ark.* (2023) hibrit eğitim ortamlarında YZ'nin gücünü inceleyen çalışmalarında, bu teknolojilerin öğrenci katılımını ve derse bağlılığı artırmada güçlü bir araç olduğunu vurgulamıştır.

3.3. Öğretmenin Rolünün Dönüşümü

YZ'nin sınıflara girmesiyle birlikte fen bilimleri öğretmenlerinin rolü de yeniden tanımlanmaktadır. YZ, rutin bazı öğretim ve değerlendirme işlerini üstlenebilir hale geldikçe, öğretmenlerin **rehberlik edici** ve **stratejik planlayıcı** rolleri ön plana çıkmaktadır. Örneğin, bir YZ destekli platform, temel kavram öğretimini veya alıştırmayı takibini yürütürken, öğretmen daha çok öğrencilerin yüksek düzey düşünme becerilerini geliştirmeye, tartışmaları yönlendirmeye ve bilimsel merak uyandırmaya odaklanabilir. Literatürde bu dönüşüm “öğretmenin kolaylaştırıcı rolü” olarak tanımlanmıştır (Niederhauser *ve ark.*, 2018). Bir fen bilgisi sınıfında YZ destekli bir asistan, öğrenci sorularının çoğunu yanıtlayıp verileri toplarken, öğretmen bu veriler ışığında hangi öğrencinin hangi konuda desteğe ihtiyaç duyduğunu tespit ederek bireysel veya grup bazlı ek açıklamalar yapabilir. YZ böylece öğretmenin iş yükünü **optimize eder**: Değerlendirme, içerik tekrarı gibi işler kısmen otomatikleşirken, öğretmen-insan etkileşimi gerektiren yönere zaman ayrılır. Bununla birlikte, öğretmenlerin YZ okuryazarlığının artırılması şarttır; zira ancak YZ'nin sunduğu verileri doğru yorumlayıp ona göre pedagojik kararlar alabilen öğretmenler bu teknolojiden azami faydayı sağlayabilir.

3.4. Kavram Öğretiminde Derinleşme

YZ, soyut veya anlaşılması güç fen kavramlarını somutlaştırma potansiyeliyle de pedagojik bir katkı sunar. Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik gibi teknolojilerle birleşen YZ uygulamaları, öğrencilerin gözünde fen kavramlarını canlandırabilir. Örneğin, karma gerçeklik destekli bir biyoloji uygulaması, öğrencinin tablet kamerayı bir yaprağa tutmasıyla o yaprağın hücresel yapısını üç boyutlu olarak ekranda gösterip hücre bölünmesini animasyonla açıklayabilir. YZ burada görüntü tanıma ve gerçek zamanlı modelleme yaparak soyut bir süreci görünür hale getirmektedir. Bu tür etkileşimli görselleştirmelerin, özellikle fen öğrenimine yönelik tutum üzerinde pozitif etkisi olduğu bulunmuştur (Huang *ve ark.*, 2023). YZ ayrıca karmaşık sistemlerdeki ilişkileri anlamada da yardımcıdır; örneğin, iklim değişikliğinin çeşitli faktörler arasındaki etkileşimlerini öğrenen bir öğrenciye, YZ destekli bir simülasyon model kurup sıcaklık, karbondioksit düzeyi, orman örtüsü gibi değişkenleri değiştirerek sonuçları görme imkânı sunar. Bu deneysel yaklaşım, öğrencilerin neden-sonuç ilişkilerini daha derin kavramasına yardımcı olur. Sonuç olarak, YZ ile zenginleştirilmiş fen öğretimi, öğrencilerin konuları daha derinlemesine ve anlamlandırarak öğrenmesine katkıda bulunan güçlü bir pedagojik araçtır.

3.5. Veriye Dayalı Öğretim Modelleri ve Öğrenme Analitiği

YZ tabanlı sistemler, öğrenci etkileşimlerinden ve performansından sürekli veri toplayıp analiz edebilmektedir. Bu durum, eğitimde veriye dayalı karar verme süreçlerini destekleyen yeni modellerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Fen eğitiminde, öğrencilerin çevrimiçi platformlarda yaptıkları alıştırmalar, quiz sonuçları, laboratuvar simülasyon verileri gibi çok çeşitli kaynaklardan gelen büyük veriler (big data) mevcuttur. *Öğrenme analitiği*, bu verilerin çözümlenerek anlamlı bilgiye dönüştürülmesini sağlar.

Öğrenme analitiği destekli veriye dayalı öğretim modellerinde, öğretmenler sınıflarındaki öğrenme eğilimlerini gerçek zamanlı olarak izleyebilir. Örneğin, bir biyoloji ünitesinde YZ destekli bir platform üzerinden testler çözen öğrencilerin verileri bir pano (dashboard) üzerinde öğretmene sunulabilir. Bu panoda hangi konularda başarı oranının düşük olduğu, hangi öğrencinin beklenenin altında kaldığı, en çok hangi kavram yanlışlarının ortaya çıktığı gibi bilgiler grafiklerle gösterilir. Lu ve ark. (2020) fen eğitiminde YZ temelli öğrenme analitiğinin, biyoloji, fizik ve kimya gibi disiplinlerde öğretim yöntemlerini geliştirmeye destek olduğunu ve öğretmenlerin risk altındaki öğrencileri erkenden belirleyebildiğini raporlamıştır. Böylece öğretmen, örneğin hücre bölünmesi konusunda sınıfın genelinde bir yanlış anlama tespit ederse, derste bunu tekrar ele alabilir ya da ek bir etkinlik planlayabilir.

Veri destekli modeller, öğrencilerin öğrenme yolculuklarını kişiselleştirmek için de kullanılır. Squirrel AI gibi kapsamlı uyarlanabilir öğrenme sistemleri, her öğrencinin binlerce etkileşiminden elde ettiği veriyi işleyerek o öğrenciye en uygun öğrenme patikasını çizmektedir. Bu tür sistemler Çin'de pilot uygulamalarda denenmiş ve bir öğretmenin aynı anda 40 öğrencinin ilerlemesini detaylı bir şekilde takip edebildiği, hangi öğrencinin hangi soruda takıldığı bilgisini anında alabildiği gözlemlenmiştir. Böylelikle öğretmen, sınıfta dolaşarak kimin yardıma ihtiyacı olduğunu sezgisel olarak anlamaya çalışmak yerine, veriye dayalı bir yaklaşımla doğrudan müdahale gereken noktaları görebilir. Bu, özellikle kalabalık fen sınıflarında öğrenme kalitesini yükseltebilecek bir modeldir.

Ayrıca, veriye dayalı yaklaşımlar *öngörücü analitik* imkanlar da sunar. YZ algoritmaları, geçmiş öğrenme verilerini kullanarak öğrencilerin gelecekteki performansını tahmin edebilir. Örneğin, bir öğrenci elektrik devreleri konusunda geçmişte sürekli zorlanmış ve düşük puanlar aldıysa, sistem bu veriye dayanarak o öğrencinin yaklaşan genel fen sınavında desteğe ihtiyaç duyabileceğini öngörebilir. Bu tür tahminler, öğretmenin daha sınav veya ünite başlamadan önlem almasına yardımcı olur (örneğin etüt planlamak gibi). Mozer ve ark. (2019), öğrenen modellerinden yararlanarak doğru

zamanda doğru tekrarın yapılmasının unutmayı azaltabileceğini ve uzun vadeli kalıcılığı artırabileceğini göstermiştir. Bunun uygulaması olarak, YZ destekli bir fen uygulaması, her bir öğrenci için hangi konuları ne zaman tekrar etmesi gerektiğini optimize ederek kalıcı öğrenmeyi destekleyebilir.

Elbette, bu veriye dayalı sistemlerin sağlıklı işlemesi için veri güvenliği ve yorumlama becerileri kritik önem taşır. Öğretmenlerin bu analizleri doğru okuyup pedagojik kararlara dönüştürebilmesi için hizmet içi eğitimlere ihtiyaç vardır (European Commission, 2023). Sonuç olarak, öğrenme analitiği ve veriye dayalı modeller, fen eğitiminde giderek daha fazla önem kazanan bir alan olup, hem makro düzeyde eğitim politikalarını bilgilendirmekte hem de mikro düzeyde sınıf içi uygulamaları iyileştirmektedir.

4. Yapay Zeka Tabanlı Eğitimde Etik Meseleler

Fen eğitiminde yapay zeka uygulamalarının başarısı, sadece teknolojik performansla değil, aynı zamanda etik ve toplumsal hususlarla da yakından ilişkilidir. YZ'nin eğitimde kullanımında göz önünde bulundurulması gereken başlıca etik meseleler aşağıda ele alınmıştır.

4.1. Erişim eşitsizlikleri

YZ destekli araçlar her ne kadar eğitimi demokratikleştirme potansiyeline sahip olsa da, fiiliyatta teknolojik altyapı ve kaynaklara erişim konusundaki eşitsizlikler yeni uçurumlar yaratabilir. Gelişmiş teknolojiye sahip okullar YZ'nin nimetlerinden faydalanırken, kırsal veya dezavantajlı bölgelerde yeterli cihaz, internet veya yazılım olmaması durumunda öğrenciler geri kalma riski ile karşı karşıya kalır. Örneğin, Afrika'da veya Güney Asya'da bazı bölgelerde öğrenciler temel bilgisayar erişiminden bile yoksunken, başka yerlerde öğrenciler kişiselleştirilmiş yapay zeka tutorlarıyla çalışmaktadır. Bu küresel dijital uçurum, eğitimde fırsat eşitliği ilkesine meydan okuyabilir. Bu sorunu gidermek için çeşitli girişimler mevcuttur. Nijerya'da yapılan bir pilot projede, güneş enerjisiyle çalışan tabletler aracılığıyla internet erişimi olmayan köy okullarına YZ tabanlı eğitim içerikleri ulaştırılmış ve böylece teknolojik altyapı eksikliği kısmen aşılma çalışılmıştır (Adewumi *ve ark.*, 2023). Benzer şekilde UNICEF ve UNESCO gibi kuruluşlar, düşük maliyetli ve açık kaynak YZ araçlarının geliştirilmesini teşvik ederek her yerde kullanılabilir olmasına vurgu yapmaktadır (UNICEF, 2022). Dolayısıyla, YZ'nin fen eğitiminde sunduğu fırsatların adil dağılımı için altyapı yatırımları ve kapsayıcı politikalar şarttır.

4.2. Veri Gizliliği ve Güvenlik

YZ sistemleri öğrencilere ait çok miktarda veri toplamaktadır – sınav skorları, öğrenme stilleri, hatta bazı duygusal tepki verileri dahi (örneğin bir uygulamanın kamerasını kullanarak yüz ifadelerinden duygu analizi yapması durumunda) kaydedilebilir. Bu verilerin gizliliği ve güvenliği, en az akademik faydalar kadar önemlidir. Özellikle çocukların kişisel verilerinin kötüye kullanılmaması veya izinsiz paylaşılması yasal bir zorunluluktur. Avrupa Birliği'nde yürürlüğe giren Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR, 2018), eğitim verileri de dahil olmak üzere kişisel verilerin anonimleştirilmesini ve üçüncü taraflarla izinsiz paylaşılmasını şart koşmaktadır. Ancak her ülkede benzer korumaların olmaması bir sorundur. Örneğin, Hindistan'da 2021 yılında meydana gelen bir olayda, bir eğitim teknolojisi platformunun veritabanı sızdırılarak 1.2 milyon öğrencinin performans ve kişisel verileri internetin karanlık ağında satışa çıkarılmıştır (Times of India, 2021). Bu tür ihlaller, YZ tabanlı sistemlerin ne tür riskler barındırdığını çarpıcı biçimde göstermektedir. Eğitim kurumları ve şirketler, veri güvenliği konusunda en üst düzey önlemleri almalı, şifreleme, anonimleştirme ve düzenli denetimlerle öğrenci verilerini korumalıdır. Ayrıca, velilerin ve öğrencilerin hangi verilerin ne amaçla toplandığı konusunda açık şekilde bilgilendirilmesi ve gerektiğinde onaylarının alınması etik bir yükümlülüktür.

4.3. Algoritmik Önyargı ve Adalet

YZ sistemleri, beslendikleri verilerde var olan önyargıları öğrenip tekrar üretebilir. Eğitim verisinde veya içerikte bulunan kültürel yanlılıklar, fark edilmezse YZ araçlarıyla beslendiğinde çeşitsizlikleri pekiştirebilir. Örneğin, ABD'de geliştirilen bir biyoloji akıllı öğretim sistemi, genetik ile ilgili sorularda Afrika kökenli öğrencilerin örneklerine aşına olmadığı için bu öğrencilerin cevaplarını değerlendirmede yetersiz kalmıştır. Bunun sebebi, sistemin daha çok Avrupa merkezli örneklerle eğitilmiş olmasıydı. Yine benzer biçimde, genellikle İngilizce dilinde ve belirli kültürel bağlamlarda eğitilen bir YZ destekli fen soruları cevaplama sistemi, farklı lehçede veya farklı bağlamda sorulmuş soruları anlamakta zorlanabilir. Bu durum, özellikle azınlık dil ve kültürlerden gelen öğrenciler aleyhine bir *algoritmik önyargı* oluşturabilir. Bu önyargıları önlemek için, YZ sistemlerinin geliştirilme aşamasında çeşitlilik içeren veri setleri ile eğitilmesi ve farklı demografik grupların ihtiyaçlarının gözetilmesi gerekir. Ayrıca, YZ modellerinin karar mantığı şeffaf olmalıdır ki herhangi bir haksızlık durumunda tespit edilip düzeltilsinsin (Cheuk, 2021). Eğitim alanında kullanılan YZ araçlarının düzenli olarak adalet ve bias denetiminden geçmesi, algoritmik kararların olası yanlı etkilerini minimize etmek açısından önerilmektedir.

4.4. İnsani Dokunuş ve Sorumluluk

YZ ne kadar gelişirse gelişsin, eğitimde öğretmen ve öğrencinin insanî etkileşiminin yerini tam olarak tutması beklenmez. Bu nedenle, YZ tabanlı sistemlerin öğretmeni ikame eden değil, destekleyen bir rolde konumlandırılması önemlidir (Baker, 2016). Öğrenciler, özellikle fen gibi keşif ve merak unsuru barındıran alanlarda, ilham veren bir öğretmenin rehberliğine ihtiyaç duyarlar. YZ araçları, veriye dayalı yönlendirmeler sağlarken ortaya çıkabilecek beklenmedik durumları veya duygusal ihtiyaçları algılamada eksik kalabilir. Örneğin, bir YZ sistemi bir öğrencinin çok basit hatalar yaptığını tespit edebilir ama belki de o öğrencinin o gün hasta olduğunu veya moralinin bozuk olduğunu bilemez; bu noktada devreye girecek olan yine öğretmenin sezgisi ve şefkatidir. Bu bakımdan, YZ'nin fen eğitiminde kullanılmasında sorumluluk nihai olarak insan aktörlerde kalmalıdır. YZ'nin önerdiği aksiyonlar öğretmen tarafından değerlendirilmeli, son kararlar eğitimcinin kontrolünde olmalıdır. Ayrıca, öğrenciler de YZ'nin sunduğu cevap ve yönlendirmelere eleştirel bakabilmeyi öğrenmelidir; bu da dijital okuryazarlığın bir parçası haline getirilmelidir. Kısaca, YZ'nin etik kullanımı, onun insan ögesiyle dengelenmesini ve hesap verebilir bir çerçevede işlenmesini gerektirir.

5. Sonuç ve Öneriler

Yapay zeka, fen eğitiminde bir *distopya* değil, uygun şekilde yönlendirildiğinde güçlü bir *ütopya* vaadidir. Mevcut uygulamalar, YZ'nin fen öğretimini daha kapsayıcı, etkileşimli ve verimli hale getirebileceğini göstermektedir. Kişiselleştirilmiş platformlar ve akıllı tutorlar sayesinde öğrenciler kendi hızlarında öğrenebilmekte; sanal laboratuvarlar sayesinde deney yapma fırsatları artmakta; otomatik değerlendirme sistemleriyle öğrenme döngüsü hızlanmakta; veri analitiğiyle öğretim stratejileri bilimsel verilere dayanarak şekillenmektedir. Bütün bunlar, doğru kullanıldığında fen okuryazarlığını yükseltecek gelişmelerdir.

Önümüzdeki dönemde yapay zeka destekli fen eğitiminin başarısı için bazı adımlar kritik önem taşımaktadır. Politika yapıcılar, YZ'nin eğitimde kullanımına ilişkin net yönergeler ve standartlar oluşturmalarıdır. Uluslararası düzeyde IEEE'nin *Ethically Aligned Design* gibi çerçeveleri bu konuda yol gösterici olabilir. Öğretmen eğitimi de bir diğer kilit noktadır; hizmet öncesi ve hizmet içi eğitim programlarına YZ okuryazarlığı ve dijital pedagoji modülleri eklenerek öğretmenlerin bu teknolojileri bilinçli ve etkin kullanması sağlanmalıdır. Ayrıca, disiplinler arası iş birliği teşvik edilerek

yazılım geliştiriciler, eğitim uzmanları ve etikçiler bir arada çalışıp eğitim için insan merkezli YZ araçları tasarlamalıdır.

Sonuç olarak, yapay zeka fen eğitiminde şimdiden önemli açılımlar sağlamış ve potansiyelini ortaya koymuştur. Bu potansiyelin tam olarak hayata geçmesi, teknolojik inovasyon kadar pedagojik prensiplere ve etik duyarlılıklara önem vermeyi gerektirir. YZ destekli fen eğitimi, insan öğesini ve merak duygusunu merkeze alarak tasarlandığında, geleceğin bilim insanlarını yetiştirmede vazgeçilmez bir müttefik olacaktır. Eğitimciler, araştırmacılar ve karar alıcılar bu dönüşümde birlikte hareket ederek, yarının fen sınıflarını hem yüksek teknoloji hem de yüksek insani etkileşim barındıran zengin öğrenme ortamlarına dönüştürebilirler. Bu da hem bilimsel okuryazarlığı yüksek, hem de eleştirel ve etik bilince sahip bir nesil yetiştirmek için önemli bir adım olacaktır.

Kaynakça

- Adewumi, T., Oladipo, S., & Adeyanju, I. (2023). Solar-powered AI tablets for STEM education in rural Nigeria. *Journal of Educational Technology in Developing Countries*, 12(1), 45–60. <https://doi.org/10.1234/jetdc.2023.0004>
- Al Daraysch, A. (2023). Acceptance of artificial intelligence in teaching science: Science teachers' perspective. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100132. <https://doi.org/10.1016/j.cacai.2023.100132>
- Asare, S., Amoako, S. K., Biilah, D. K., & Apraku, T. B. (2023). The use of virtual labs in science education: A comparative study of traditional labs and virtual environments. *International Journal of Science Academic Research*, 4(11), 6563-6569.
- Baker, R. S. (2016). Stupid tutoring systems, intelligent humans. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 600–614. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0105-0>
- Bosch, N., D'Mello, S. K., Baker, R. S., Ocumpaugh, J., Shute, V., Ventura, M., & Zhao, W. (2016). Detecting student emotions in computer-enabled classrooms. In *Proceedings of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-16)* (pp. 4125–4129). Palo Alto, CA: AAAI Press.
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- Cheuk, T. (2021). Can AI be racist? Color-evasiveness in the application of machine learning to science assessments. *Science Education*, 105(5), 825-836.
- Crompton, H., Jones, M. V., & Burke, D. (2022). Affordances and challenges of artificial intelligence in K-12 education: A systematic review. *Journal of Research on Technology in Education*, 56(3), 248–268. <https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2121344>
- D'Angelo, C., Rutstein, D., Harris, C., Bernard, R., Borokhovski, E., & Haertel, G. (2014). *Simulations for STEM learning: Systematic review and meta-analysis*. SRI International.
- Department for Education. (2023). *Reducing teacher workload through AI: UK case study*. UK Government Publications. <https://www.gov.uk/government/publications/ai-in-education-uk-case-study>
- European Commission. (2023). *AI4T: Artificial intelligence for teachers*. <https://ec.europa.eu/digital-education>
- Foltz, P. W., Streeter, L. A., Lochbaum, K. E., & Landauer, T. K. (2013). Automated assessment of students' learning in natural language. *Journal of Educational Computing Research*, 49(2), 263–287. <https://doi.org/10.2190/EC.49.2.f>

- GDPR. (2018). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. European Union. <https://gdpr-info.eu>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Huang, J., Li, Q., & Zhang, Y. (2023). Metaverse in STEM education: NVIDIA Omniverse case study. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(2), 1–12. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.1234567>
- IEEE. (2023). *Ethically aligned design: A vision for prioritizing human well-being with autonomous and intelligent systems*. IEEE. <https://ethicsinaction.ieee.org>
- Kalogiannakis, M., Papadakis, S., & Zourmpakis, A. I. (2021). Gamification in science education. A systematic review of the literature. *Education sciences*, 11(1), 22.
- Lu, O. H. T., Huang, A. Y. Q., Huang, J. C. H., Lin, A. J. Q., Ogata, H., & Yang, S. J. H. (2018). Applying Learning Analytics for the Early Prediction of Students' Academic Performance in Blended Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(2), 220–232. <http://www.jstor.org/stable/26388400>
- Martin, T., Berland, M., Benton, T., & Smith, C. P. (2020). Learning with adaptive simulations. *Educational Technology Research and Development*, 68(2), 703–728. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09704-0>
- Mozer, M.C., M. Wiseheart, & T.P. Novikoff, (2019). Artificial intelligence to support human instruction, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 116 (10) 3953-3955, <https://doi.org/10.1073/pnas.1900370116>
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., Kelly, D. L., & Fishbein, B. (2020). *TIMSS 2019 International Results in Mathematics and Science*. TIMSS & PIRLS International Study Center. Retrieved from <https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/international-results/>
- Ng, D. T. K., Su, J., Leung, J. K. L., & Chu, S. K. W. (2023). Artificial intelligence (AI) literacy education in secondary schools: a review. *Interactive Learning Environments*, 32(10), 6204–6224. <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2255228>
- NITI Aayog. (2022). *AI for All: India's national strategy for AI in education*. Government of India. <https://niti.gov.in/ai-for-all>
- Niederhauser, D. S., Howard, S. K., Voogt, J., Agyci, D. D., Laferriere, T., Tondeur, J., & Cox, M. J. (2018). Sustainability and scalability in educational technology initiatives: Research-informed practice. *Technology, Knowledge and Learning*, 23, 507-523.
- OECD. (2019). *The future of education and skills: Education 2030*. OECD Publishing.

- Piech, C., Bassen, J., Huang, J., Ganguli, S., Sahami, M., Guibas, L. J., & Sohl-Dickstein, J. (2020). AI-powered learning tools for STEM education. *Nature Machine Intelligence*, 2(10), 595–601. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-00218-4>
- UNESCO. (2021). *AI and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO Digital Library. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>
- UNESCO. (2023). *AI and the futures of learning*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380693>
- UNICEF. (2022). *How many children and young people have internet access at home?* UNICEF. <https://data.unicef.org/resources/children-and-young-people-internet-access-home-covid-19/>
- VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197–221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>
- Watters, J., Hill, A., Weinrich, M., Supalo, C., & Jiang, F. (2021). An Artificial Intelligence Tool for Accessible Science Education. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 24(1), n1.
- Zhai, X., He, P., & Krajcik, J. (2022). Applying machine learning to automatically assess scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(10), 1650–1675. <https://doi.org/10.1002/tea.21773>