DİJİTAL ÇAĞDA FEN EĞİTİMİ:

Güncel Yaklaşımlar ve Uygulamalar

EDİTÖRLER:
DR. ÖĞR. ÜYESİ SELİN YILDIZ
PROF. DR. RAŞİT ZENGİN

EĞİTİM yayınevi

DİJİTAL ÇAĞDA FEN EĞİTİMİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR
Editörler: Dr. Öğr. Üyesi Selin Yıldız, Prof. Dr. Raşit Zengin

Yayınevi Grubu Genel Başkanı: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)
Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)
Sayfa Tasarımı: Kübra Konca Nam
Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı
Yayıncı Sertifika No: 76780

E-ISBN: 978-625-5059-42-0
1. Baskı, Ekim 2026

Kütüphane Kimlik Kartı
DİJİTAL ÇAĞDA FEN EĞİTİMİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR
Editörler: Dr. Öğr. Üyesi Selin Yıldız, Prof. Dr. Raşit Zengin
E-ISBN: 978-625-5059-42-0
V+123 s., 160x240 mm
Kaynakça var, dizin yok.

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EĞİTİM yayınevi

Yayınevi Türkiye Ofis:
Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
İstanbul: Salon Yayınları, Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye
Santral: +90 332 351 92 85
Editör hatları: +90 533 151 50 42, +90 507 151 50 43
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Egitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr
Whatsapp hattı: +90 553 950 50 37
bilgi@kitapmatik.com.tr

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye
Whatsapp hattı: +90 501 651 92 85
bilgi@egitimkitabevi.com

EĞİTİM YAYINEVİ GRUBU

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ IV

FEN EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU 1

Furkan Soku, Tuğba Cerit Soku, Fikriye Kırbağ Zengin

FEN EĞİTİMİNDE OYUNLAŞTIRMA VE OYUN TEMELLİ ÖĞRENME 28

Gamze Yıldız, Selin Yıldız

FEN EĞİTİMİNDE SİMÜLASYON VE SANAL LABORATUVARLARIN KULLANIMI 47

Zeynep Sena Gün, Raşit Zengin

FEN EĞİTİMİNE ROBOTİK KODLAMA ENTEGRASYONU 66

Furkan Soku , Fikriye Kırbağ Zengin

OKUL DIŞI STEM DENEYİMLERİ VE 21. YÜZYIL BECERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ 93

Şafak Yucasu, Raşit Zengin

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ FEN ÖĞRETİMİNDE ÖĞRETMEN ROLLERİ VE PEDAGOJİK YETERLİLİKLER..... 104

Tuba Güler

ÖN SÖZ

Bilimsel bilginin hızla üretildiği, teknolojinin günlük yaşamın ve öğrenme süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline geldiği günümüzde, fen eğitimi de yeni olanaklar, yaklaşımlar ve uygulamalarla zenginleşmektedir. Artık fen öğretimi yalnızca bilimsel kavramların aktarılmasına dayalı bir süreç olarak değil; öğrencilerin keşfettiği, deneyimlediği, sorguladığı, tasarladığı ve ürettiği çok yönlü bir öğrenme deneyimi olarak ele alınmaktadır. Bu değişim, öğretim süreçlerinde kullanılan araçların yanı sıra öğretmenlerin rollerini, öğrenme ortamlarının niteliğini ve pedagojik yaklaşımları da yeniden düşünmeyi gerekli kılmaktadır.

Dijital teknolojilerin sunduğu olanaklar, fen eğitiminde soyut kavramların somutlaştırılmasından deneysel süreçlerin modellenmesine, öğrencilerin üretken düşünme becerilerinin desteklenmesinden farklı öğrenme ortamlarının oluşturulmasına kadar geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Bununla birlikte, teknolojinin eğitimdeki değeri yalnızca kullanımından değil, öğrenme hedefleri ve pedagojik gereksinimlerle ne ölçüde bütünleştirildiğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle günümüzde fen eğitimine ilişkin tartışmaların hem yeni teknolojileri hem de bu teknolojilerin öğretim süreçlerindeki yerini birlikte değerlendirmesi önem taşımaktadır.

"Dijital Çağda Fen Eğitimi: Güncel Yaklaşımlar ve Uygulamalar" başlıklı bu kitap, fen eğitimindeki güncel gelişmeleri ve farklı öğrenme yaklaşımlarını bir araya getirerek okuyuculara çok yönlü bir bakış açısı sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Kitapta, fen öğretiminde yararlanılan teknolojiler, öğrenme süreçlerini zenginleştiren yaklaşımlar ve bu süreçlerde öğretmenlerin üstlendiği roller farklı bölümler aracılığıyla ele alınmaktadır.

Kitabın birinci bölümünde "Fen Eğitiminde Yapay Zekâ Entegrasyonu" konusu ele alınarak fen öğretiminde yapay zekânın kullanımına yönelik güncel yaklaşımlara yer verilmektedir. İkinci bölümde "Fen Eğitiminde Oyunlaştırma ve Oyun Temelli Öğrenme" başlığı altında oyun temelli uygulamaların ve oyunlaştırmanın fen öğrenme süreçlerindeki yeri incelenmektedir. Üçüncü bölümde "Fen Eğitiminde Simülasyon ve Sanal Laboratuvarların Kullanımı", dördüncü bölümde ise "Fen Eğitimine Robotik Kodlama Entegrasyonu" ele alınarak dijital teknolojilerin ve uygulamaların fen öğretimine sunduğu

olanaklar farklı yönleriyle değerlendirilmektedir. Beşinci bölümde "Okul Dışı STEM Deneyimleri ve 21. Yüzyıl Becerilerinin Geliştirilmesi" konusuna odaklanılarak öğrenme deneyimlerinin sınıf ortamının ötesine taşınması ele alınmaktadır. Kitabın son bölümünde ise "Yapay Zekâ Destekli Fen Öğretiminde Öğretmenlerin Pedagojik Yeterlilikleri" konusu incelenerek yapay zekâ destekli öğretim süreçlerinde öğretmenlerin pedagojik yeterliliklerine dikkat çekilmektedir.

Birbirinden farklı konu alanlarına odaklanan bu bölümlerin, okuyuculara fen eğitimindeki güncel gelişmeleri farklı perspektiflerden değerlendirme fırsatı sunacağı düşünülmektedir. Kitabın özellikle fen eğitimi alanında çalışan akademisyenler, öğretmenler, öğretmen adayları ve lisansüstü öğrenciler için yararlı bir başvuru kaynağı olması amaçlanmaktadır.

Bu kitabın hazırlanmasında bilgi ve deneyimlerini paylaşarak katkı sunan tüm bölüm yazarlarına teşekkür ederiz. Kitabın fen eğitimi alanındaki akademik çalışmalara, öğretim uygulamalarına ve yeni araştırmalara katkı sağlamasını diliyoruz.

Dr. Öğr. Üyesi Selin YILDIZ

Prof. Dr. Raşit ZENGİN

FEN EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU

Furkan Soku*, Tuğba Cerit Soku**, Fikriye Kırbağ Zengin***

GİRİŞ

Yapay zekâ, son yıllarda bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin etkisiyle günlük yaşamın pek çok alanında kullanılmaya başlanan önemli teknolojilerden biri hâline gelmiştir. İnsanların gerçekleştirdiği bilişsel süreçlerin bilgisayar sistemleri aracılığıyla modellenmesini ve belirli ölçüde gerçekleştirilmesini amaçlayan yapay zekâ; öğrenme, akıl yürütme, problem çözme, anlamlandırma, genelleme ve çıkarım yapma gibi farklı bilişsel işlevleri yerine getirebilen sistemleri kapsamaktadır (Gondal, 2018). Bu yönüyle yapay zekâ yalnızca belirli görevleri otomatikleştiren bir teknoloji olarak değil, insan zekâsının çalışma biçimini anlamaya ve bu süreçleri teknolojik sistemler aracılığıyla modellemeye yönelik disiplinler arası bir çalışma alanı olarak değerlendirilmektedir (Çetin ve Aktaş, 2021). Günümüzde yapay zekâ alanındaki gelişmeler, bu teknolojinin karmaşık veri analizi, karar destek, içerik üretimi ve insan-makine etkileşimi süreçlerinde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda yapay zekânın eğitim süreçleriyle ilişkilendirilmesi, geleceğin teknoloji okuryazarı bireylerinin yetiştirilmesi açısından kritik bir önem taşımaktadır. Özellikle soyut kavramların yoğun olduğu, görselleştirme, modelleme ve deneysel süreçlerin ön plana çıktığı fen eğitimi, yapay zekâ teknolojilerinin ve buna entegre artırılmış/sanal gerçeklik uygulamalarının sunduğu imkânlardan en fazla yararlanma potansiyeline sahip alanlardan biridir.

Bu doğrultuda hazırlanan kitap bölümünün temel amacı; genel eğitimden özelde fen eğitimine uzanan bir eksende yapay zekâ entegrasyonunu, bu teknolojinin sunduğu olanakları, uygulama araçlarını, avantajlarını ve olası risklerini bütüncül bir bakış açısıyla incelemektir. Bölüm kapsamında ilk olarak yapay zekânın tarihsel gelişimi ve eğitimle olan ilişkisi ele alınmış; ardından yapay zekânın öğretmen, öğrenci ve

* Furkan SOKU Yüksek lisans öğrencisi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, furkansokuu@gmail.com, ORCID: 0009-0009-4345-4153
** Tuğba CERİT SOKU Millî Eğitim Bakanlığı, tubnks@gmail.com, ORCID: 0009-0009-6598-4825
*** Prof. Dr. Fikriye KIRBAĞ ZENGİN, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bolum, Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, fzengin@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0547-8746

veli boyutlarında sağladığı olanaklar ile genel eğitimdeki avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Devamında odak nokta fen eğitimine kaydırılarak fen öğretiminde kullanılan yapay zekâ uygulamaları, görüntü işleme/görsel analiz araçları, artırılmış ve sanal gerçeklik programları ile yararlanılabilecek güncel yapay zekâ araçları tanıtılmıştır. Bölüm, fen eğitiminde yapay zekâ kullanımının getirdiği avantajların yanı sıra karşılaşılabilecek sınırlılıklar ve risklerin tartışılmasıyla tamamlanmıştır.

Yapay Zekânın Tarihsel Gelişimi

Yapay zekânın fikirsel temelleri, 1950 yılında Alan Turing'in makinelerin düşünme kapasitesini sorguladığı ve bir bilgisayarın insan benzeri bilişsel becerilerini ölçmeye dönük "Turing Testi"ni önerdiği çalışmasıyla atılmıştır. Disiplinin resmi bir bilim dalı olarak nitelik kazanması ise 1956 yılında John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon ve Herbert Simon gibi öncü isimlerin katıldığı Dartmouth Konferansı ile gerçekleşmiştir (McCarthy vd., 2006). Bu dönemi takip eden ilk yıllarda Joseph Weizenbaum'un geliştirdiği metin tabanlı diyalog yazılımı ELIZA ve Frank Rosenblatt'ın geliştirdiği Mark I Perceptron modeli; insan-makine etkileşiminin ve görsel örüntüleri sınıflandırabilen ilk yapay sinir ağlarının somut örneklerini oluşturmuştur (Weizenbaum, 1966; Rosenblatt, 1958). 1970'li ve 1980'li yıllarda işlemci kapasitelerinin yetersizliği ve yüksek beklentilerin karşılanamaması sebebiyle "Yapay Zekâ Kışları" olarak adlandırılan durgunluk dönemleri yaşanmıştır (National Research Council, 1999; Agar, 2020). Bu süreçte genel yapay zekâ arayışları yerini, tıp alanındaki MYCIN ve kimyadaki DENDRAL gibi belirli uzmanlık alanlarına odaklanmış kural tabanlı "uzman sistemlere" bırakmıştır (Lindsay vd., 1993). Ancak kural bağımlılığının getirdiği esneklik eksikliği, 1980'lerin sonundan itibaren sistemlerin kuralları manuel öğrenmesi yerine doğrudan veriden öğrenmesini sağlayan "makine öğrenmesi" yaklaşımını öne çıkarmıştır. Özellikle geri yayılım (backpropagation) algoritmasının geliştirilmesi ve 1990'larda artan veri hacmiyle birlikte yapay zekâ, veriyi işleyerek kendini güncelleyen dinamik bir yapıya evrilmiştir (Rumelhart, Hinton ve Williams, 1986). 2010'lu yıllarla birlikte büyük veri (big data) erişilebilirliği, artan grafik işlemci (GPU) gücü ve gelişmiş derin yapay sinir ağı mimarileri (CNN, RNN, LSTM) sayesinde "derin öğrenme" devrimi yaşanmıştır. Son yıllarda ortaya konan Transformer mimarisi ve Büyük Dil Modelleri (LLM) ise yapay zekâyı yalnızca veriyi analiz eden veya sınıflandıran bir araç olmaktan çıkarıp; özgün metin, görsel ve kod

üretebilen "üretken yapay zekâ" (Generative AI) boyutuna taşımıştır. Günümüzde yaşanan bu teknolojik dönüşüm, yapay zekânın eğitim ve özellikle fen öğretimi gibi uygulamalı alanlara entegrasyonunu hızlandıran temel itici güç olmuştur.

Eğitim ve Yapay Zekâ

Yapay zekâdaki hızlı gelişmeler, günlük yaşamın çok farklı alanlarında olduğu gibi eğitim süreçlerinde de yeni uygulamaların ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Sağlık, finans, tarım ve otomotiv gibi alanlarda kullanılan yapay zekâ tabanlı teknolojiler, eğitimde de öğrenme ve öğretme süreçlerinin yeniden ele alınmasına katkı sağlamaktadır (Yıldız ve Zengin, 2025b). Özellikle öğrencilerin öğrenme performansına ilişkin verilerin değerlendirilmesi, bireysel farklılıkların dikkate alınması ve öğrenciye uygun öğrenme deneyimlerinin oluşturulması açısından yapay zekâ destekli sistemlerin sunduğu imkânlar giderek çeşitlenmektedir. Öğrenme platformlarının yapay zekâ ile desteklenmesi, öğrencilerin gelişimlerinin daha yakından izlenmesine ve öğrenme sürecinin elde edilen verilere göre şekillendirilmesine olanak tanımaktadır (Zawacki-Richter vd., 2019). Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin hız kazanması, yapay zekâ uygulamalarının da sürekli yenilenmesine ve kullanım alanlarının genişlemesine yol açmıştır. Bu dönüşümün eğitim alanına yansımaları özellikle son yıllarda daha görünür hâle gelmiştir. Öğretim ortamlarında yapay zekâdan yararlanılması; öğrenme materyallerinin hazırlanmasından öğrencilerin performanslarının izlenmesine, değerlendirme süreçlerinden bireyselleştirilmiş öğrenme olanaklarının oluşturulmasına kadar geniş bir kullanım alanı ortaya çıkarmıştır. Bu gelişmeler, eğitimcilerin yapay zekânın öğretim süreçlerindeki rolünü daha fazla tartışmasına ve teknolojinin eğitim açısından taşıdığı potansiyeli incelemesine neden olmuştur (Huang, Saleh ve Liu, 2021).

Yapay zekânın eğitim sistemlerine dâhil edilmesi ülkelerin eğitim politikalarında da karşılık bulmaktadır. Farklı ülkeler, öğrencilerin değişen teknolojik dünyaya hazırlanması ve yapay zekâ konusunda temel bilgi ve beceriler kazanmaları amacıyla çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Özellikle Singapur, Malezya ve Güney Kore gibi eğitim sistemlerinde teknolojik yeniliklere yer veren ülkelerde yapay zekânın eğitim süreçlerine aktarılmasına yönelik uygulamalar dikkat çekmektedir. Bunun yanında birçok ülke, yapay zekâ okuryazarlığının geliştirilmesi ve

öğrencilerin bu teknolojiyi yalnızca kullanabilen değil, aynı zamanda anlayabilen bireyler olarak yetiştirilmesi amacıyla eğitim programlarında düzenlemelere gitmektedir (Paek ve Kim, 2021). Ülkelerin gerçekleştirdiği uygulamalar, yapay zekânın eğitimde farklı amaçlarla kullanılabileceğini göstermektedir. Çin'de 2019 yılından itibaren öğrencilerin yapay zekâ konusunda bilgi ve deneyim kazanmalarını desteklemek amacıyla eğitim materyalleri hazırlanmış ve yapay zekâya ilişkin içerikler okul müfredatlarında yer almaya başlamıştır. İngiltere'de ise "Third Space Learning" gibi yapay zekâ destekli sistemlerden yararlanılarak öğrencilerin çevrim içi ortamda öğretmen desteğiyle öğrenmelerini sürdürmelerine imkân sağlayan uygulamalar geliştirilmiştir (İşler ve Kılıç, 2021). Bu örnekler, yapay zekânın eğitimde yalnızca yardımcı bir teknolojik araç olarak değil, öğrenme ortamlarının niteliğini geliştirmeye yönelik bir unsur olarak da değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Finlandiya'da yapay zekâ konusunda toplumun bilgi düzeyini artırmaya yönelik olarak "Yapay Zekâ Öğeleri" adıyla ücretsiz bir çevrim içi eğitim programı hazırlanmıştır. Böylece bireylerin yapay zekânın temel özellikleri ve kullanım alanları konusunda bilgi edinmeleri hedeflenmiştir. Güney Kore'de ise eğitim programlarında yapılan düzenlemeler aracılığıyla öğrencilerin yapay zekânın temel ilkelerini, kullanım alanlarını ve etik boyutlarını öğrenmeleri amaçlanmıştır (Paek ve Kim, 2021). Bu uygulamalar, yapay zekâ eğitiminin yalnızca bilişim veya teknoloji odaklı bir konu olmadığını; bireylerin geleceğin toplumsal ve mesleki koşullarına hazırlanmasında da önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir.

Öte yandan, yapay zekânın eğitimde kullanılmaya başlanması birtakım gereklilikleri de beraberinde getirmektedir. Teknolojik araçların eğitim ortamına dâhil edilmesi tek başına yeterli değildir. Bu araçlardan pedagojik açıdan yararlanabilmek için öğretmenlerin yapay zekâ konusunda bilgi sahibi olmaları ve teknolojik gelişmeleri takip etmeleri gerekmektedir. Araştırmalar, eğitimde yapay zekâ kullanımına yönelik genel yaklaşımın olumlu olmasına rağmen öğretmenlerin önemli bir bölümünün bu teknolojilerin kullanımına ilişkin yeterli bilgi ve deneyime sahip olmayabileceğine işaret etmektedir (Yang, Ogata, Matsui ve Chen, 2021). Dolayısıyla öğretmen eğitimi, yapay zekânın eğitim sistemlerine başarılı biçimde dâhil edilmesinin önemli boyutlarından birini oluşturmaktadır. Türkiye'de de yapay zekâ ve büyük veri alanlarına yönelik kurumsal yapılanma ve çalışmalar gerçekleştirilmektedir. 2019

yılında yayımlanan 48 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi kapsamında büyük veri ve yapay zekâ uygulamalarına yönelik bir başkanlığın oluşturulması, bu alana verilen kurumsal önemin göstergelerinden biri olarak değerlendirilebilir (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, 2019). Eğitim alanında ise farklı kurum ve kuruluşlar tarafından yapay zekânın öğretim süreçlerinde kullanımına ilişkin çalışmalar yürütülmektedir. Eğitim, sanayi ve teknoloji alanındaki kurumlar ile Millî Eğitim Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen çalıştaylarda eğitimde yapay zekânın kullanım olanakları ele alınmaktadır. Bunun yanında Millî Eğitim Bakanlığı Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü tarafından öğrencilerin erken yaşlardan itibaren yapay zekâ ile tanışmalarını ve öğretmenlerin bu teknolojileri eğitim ortamlarında kullanmalarını desteklemeye yönelik içerik ve uygulamaların geliştirilmesine yönelik planlamalar yapılmaktadır (İşler ve Kılıç, 2021). Yapay zekânın eğitim ortamlarında kullanılmaya başlaması, öğrenmenin geleneksel zaman ve mekân sınırlılıklarının dışına taşınmasına da katkıda bulunmaktadır. Dijital öğrenme ortamları sayesinde öğrenciler farklı zamanlarda ve ortamlarda öğrenme faaliyetlerini sürdürebilirken yapay zekâ destekli sistemler bu süreçlerin öğrencilerin bireysel özelliklerine göre şekillendirilmesine yardımcı olabilmektedir. Özellikle kişiselleştirilmiş öğrenme, proje tabanlı öğrenme ve esnek öğrenme hizmetleri açısından yapay zekâ uygulamaları yeni imkânlar ortaya çıkarmaktadır (Çoskun ve Gülleroğlu, 2021; Yıldız ve Zengin, 2025a).

). Bu nedenle yapay zekânın eğitimdeki rolü, yalnızca mevcut öğretim uygulamalarını hızlandıran bir teknoloji şeklinde değerlendirilmemeli; aynı zamanda öğrenme süreçlerinin tasarlanma biçimini değiştirebilecek bir unsur olarak ele alınmalıdır (Popenici ve Kerr, 2017).

Eğitimde Yapay Zekâ Kullanımının Sağladığı İmkânlar ve Avantajlar

Pedagojik paradigmaların dijital dönüşüm sürecine girmesiyle birlikte yapay zekâ tabanlı teknolojiler; öğrenme ve öğretme süreçlerinin esnek, kişiselleştirilmiş ve veri odaklı bir yapıda yürütülmesine zemin hazırlamaktadır. Bireysel farklılıkların tespiti, öğrenme süreçlerinin anlık takibi, biçimlendirici geri bildirim mekanizmalarının işletilmesi ve paydaşların karar alma mekanizmalarının niteliksel olarak desteklenmesi, söz konusu teknolojilerin eğitime sunduğu temel işlevler arasında yer almaktadır. Ancak bu sistemlerin öğretimsel süreçlere sağlayacağı katma

değer; teknolojinin yalın teknik kapasitesinden ziyade, pedagojik ilkelere uygun ve bilinçli bir biçimde müfredata entegre edilme derecesiyle doğrudan ilintilidir.

Yapay zekâ uygulamalarının sunduğu en belirgin pedagojik avantaj, öğrenme yaşantılarının bireysel öğrenci profillerine göre dinamik biçimde şekillendirilmesidir. Öğrencilerin hazırbulunuşluk düzeyleri, öğrenme tempoları ve ilgi alanları belirgin farklılıklar gösterir. Yapay zekâ tabanlı sistemler, süreç içi etkileşim verilerini işleyerek öğrencilerin kavramsal güçlük yaşadığı odak noktalarını ve gereksinim duydukları müdahale alanlarını tespit eder. Bu doğrultuda, her öğrenciye kendi gelişimsel ihtiyacına dönük içerik ve kaynak sunumu gerçekleştirilir. Böylesi bir yaklaşım, tüm bireyleri tek tip içerik ve sabit hızda öğrenmeye zorlayan geleneksel/standart öğretim anlayışından esnek ve öğrenci merkezli bir öğrenme modeline geçişi olanaklı kılar. Söz konusu sistemlerin bir diğer kritik boyutu, dinamik ve sürekli bir değerlendirme olanağı sağlamasıdır. Öğrencinin problem çözme adımları veya yanıtları anlık olarak analiz edilerek kavram hataları henüz kalıcı hale gelmeden tespit edilebilir (Vesselinov ve Grego, 2012). Bu durum, değerlendirme olgusunu yalnızca dönem sonlarında yürütülen özetleyici bir süreç olmaktan çıkarıp, öğretimin her aşamasında biçimlendirici bir yönlendirme mekanizmasına dönüştürmektedir. Yapay zekanın sunduğu imkânlar sadece öğrencilerle sınırlı kalmayıp, öğretmenlerin pedagojik tasarım ve yönelimlerini de niteliksel olarak desteklemektedir. Öğretmenler, sistem tarafından işlenen veriler aracılığıyla sınıfın genel başarı profili ve öğrenme eksiklikleri hakkında derinlemesine analiz yapma imkânı bulurlar. Bu veriler doğrultusunda ders tasarımlarının güncellenmesi ve zorlanılan konulara öncelik verilmesi kolaylaşır. How ve Hung (2019), yapay zekânın öğretmenin pedagojik kararlarını ikame eden değil, onun mesleki öngörüsünü pekiştiren bir karar destek mekanizması olarak konumlandırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Materyal geliştirme boyutunda ise bu araçlar, dersin hedef ve kazanımlarına uygun soru, alıştırma ve özgün içerik tasarlama süreçlerinde öğretmenlere zaman tasarrufu sağlar. Tasarruf edilen bu zaman dilimi, öğretmen tarafından doğrudan öğrenci etkileşimine ve nitelikli öğretim tasarımına aktarılabilir. Şüphesiz ki, yapay zekâ tarafından üretilen materyallerin ders öncesinde pedagojik denetimden geçirilmesi ve doğrulanması kritik bir zorunluluktur. Kurumsal düzeyde ise eğitim verilerinin anlamlandırılması; akademik başarısızlık risklerinin

erken aşamada öngörülmesine ve kurumsal öğretim stratejilerinin veriye dayalı olarak yapılandırılmasına imkân tanır (Paek ve Kim, 2021). Benzer şekilde, raporlama ve belge yönetimi gibi bürokratik iş yüklerinin otomatize edilmesi, eğitim yöneticileri ve öğretmenlerin odağını insan ilişkileri ile pedagojik süreçlere kaydırmalarına zemin hazırlar.

Yapay zekâ ile entegre çalışan simülasyon ve sanal gerçeklik yazılımları, riskli, yüksek maliyetli ya da fiziken erişimi güç öğrenme ortamlarını dijital evrene taşır. Soyut kavramların somutlaştırılması ve deneysel süreçlerin güvenli bir simüle ortamda tecrübe edilmesi, özellikle fen eğitimi gibi uygulamalı disiplinlerde kavramsal öğrenmeyi önemli ölçüde desteklemektedir. Bunun yanında yapay zekâ analitikleri, velilerin öğrencilerin gelişim süreçlerini sistemli bir biçimde izlemelerine imkân tanır. Akademik aksaklıkların erken tespiti, ev-okul iş birliğini güçlendirerek zamanında müdahaleye olanak tanır. Ancak, bireyin sosyal ve duyuşsal gelişiminin yalnızca dijital göstergeler üzerinden değerlendirilemeyeceği; verilerin mutlaka insan odaklı bir süzgeçten geçirilmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir. Özel eğitime gereksinim duyan bireyler, kronik rahatsızlıkları nedeniyle okula devam edemeyenler veya duyusal yetersizliği bulunan öğrenciler için yapay zekâ destekli kapsayıcı teknolojiler (sesli asistanlar, erişilebilirlik araçları vb.) eğitimde fırsat eşitliği sağlamada kilit bir rol üstlenmektedir (Akhmetshin vd., 2024).

Özetle yapay zekâ; öğrenmenin kişiselleştirilmesi, süreç odaklı değerlendirme, idari süreçlerin kolaylaştırılması ve öğrenme ortamlarının zenginleştirilmesi noktalarında güçlü potansiyellere sahiptir. Bu potansiyelin nitelikli bir eğitim çıktısına dönüşmesi ise teknolojinin insan unsurunun yerini alan değil, öğretmen-öğrenci-veli arasındaki pedagojik etkileşimi güçlendiren esnek bir araç olarak kurgulanmasına bağlıdır.

Eğitimde Yapay Zekânın Kullanım Sınırlılıkları, Riskleri ve Etik Boyutu

Yapay zekâ ekosisteminin eğitim süreçlerine sunduğu geniş imkân yelpazesinin yanı sıra, uygulamada karşılaşılabilecek olası risk ve sınırlılıkların da bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmesi gerekmektedir. Tehdit unsurlarının başında, öğrenenlere ait kişisel verilerin korunması ve dijital mahremiyetin sağlanması sorunu yer almaktadır. Yapay zekâ tabanlı platformlar; öğrencilerin akademik performans verileri, öğrenme stilleri, sistem içi davranışsal örüntüleri ve zaman zaman kişisel

tanımlayıcı bilgileri kapsayan devasa bir veri hacmini işlemek durumundadır (Gapsalamov vd., 2020). Yüksek nitelikli veri güvenliği protokollerinin eksikliği ya da verilerin yetkisiz üçüncü taraflarla paylaşılması, veri ihlali durumlarında bilgilerin kurtarılma süreçlerinin belirsizliği gibi operasyonel zafiyetler (TechTarget, 2022), ciddi siber güvenlik ve mahremiyet krizlerine yol açabilmektedir (Zuboff, 2023). Diğer bir kritik risk alanı, dijital uçurum olarak adlandırılan ve teknolojinin sosyo-ekonomik imkânlara bağlı eşitsiz dağılımından kaynaklanan erişim sorunudur. Yapay zekâ altyapısını kurabilmek, sürdürülebilir kılmak ve olası teknik aksaklıkları gidermek yüksek finansal kaynak ve donanım gerektirmektedir. Bu durum, üst sosyo-ekonomik düzeydeki veya yüksek bütçeli eğitim kurumları ile sınırlı imkânlara sahip kurumlar arasındaki nitelik farkını derinleştirme riski taşımaktadır. Kesintisiz internet altyapısına, güncel cihazlara ya da ücretli yapay zekâ lisanslarına erişimi olmayan öğrencilerin akranlarının gerisinde kalması, fırsat eşitliğini sağlama iddiasındaki bir teknolojinin mevcut eşitsizlikleri pekiştiren bir araca dönüşmesine neden olabilir.

Teknolojinin pedagojik süreçlerde kontrolsüz kullanımının bilişsel ve duyuşsal gelişim üzerindeki olumsuz yansımaları da göz ardı edilmemelidir. Öğrencilerin problem çözme, analitik sorgulama ve özgün içerik üretme süreçlerinde zihinsel çaba sarf etmek yerine doğrudan algoritmik sistemlerden hazır yanıtlar almaları, eleştirel düşünme ve bağımsız öğrenme kapasitelerini köreltebilir. Bunun yanı sıra, öğrenme ortamlarının aşırı otomasyona dayanması; insan etkileşimini azaltmakta, samimiyet eksikliğine yol açmakta ve öğrencilerin duyuşsal-sosyal gelişimlerini sınırlayabilmektedir. Algoritmik mekanizmaların ve kullanılan veri setlerinin her zaman tarafsız ya da hatasız sonuçlar vermediği unutulmamalıdır. Yanlı veya eksik verilerle eğitilen modeller; öğrencilerin akademik performanslarının hatalı değerlendirilmesine, yanlış yönlendirilmelerine ve pedagojik açıdan uygun olmayan içeriklerle karşılaşmalarına zemin hazırlayabilir. Bu nedenle yapay zekâ çıktıları nihai bir doğru olarak kabul edilmemeli; mutlaka alan uzmanı ve öğretmen denetiminden geçirilen bir karar destek Unsuru olarak konumlandırılmalıdır (O'Neil, 2016).

Sonuç itibarıyla eğitimde yapay zekâ entegrasyonu, yalnızca teknik bir altyapı sorunu değil; etik, pedagojik, finansal ve güvenlik boyutları olan çok katmanlı bir süreçtir. Yapay zekânın sunduğu pedagojik fırsatlardan yararlanırken; veri güvenliği, dijital erişilebilirlik, teknolojik

bağımlılık ve algoritmik sapma gibi risklerin yönetilmesi kritik önem taşır. Bu doğrultuda temel pedagojik yaklaşım; teknolojiyi edilgen bir biçimde reddetmek ya da aşırı bir teknoloji iyimserliğiyle koşulsuz benimsemek yerine, insan odaklı, etik değerleri gözeten ve pedagojik denetimi ön plana çıkaran dengeli bir kullanım politikasını hayata geçirmektir.

Fen Eğitiminde Yapay Zekâ

Yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler, eğitim süreçlerinde farklı öğrenme ihtiyaçlarına yönelik yeni olanakların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Fen bilimleri eğitimi açısından değerlendirildiğinde yapay zekâ; özellikle soyut, karmaşık ve doğrudan gözlemlenmesi güç olan kavramların öğrenilmesini destekleyen, öğrencilerin öğrenme süreçlerini izlemeye ve bireysel farklılıklara uygun içerikler sunmaya yardımcı olan bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra yapay zekâ destekli uygulamalar, öğrencilerin problem çözme, bilimsel düşünme, veri analizi ve dijital becerilerinin geliştirilmesine de katkı sağlayabilmektedir. Fen bilimleri eğitiminde yapay zekânın öne çıkan kullanım alanlarından bazıları aşağıda açıklanmıştır.

- **Kodlama:** Kodlama, bilgisayarların belirli görevleri yerine getirebilmesi amacıyla algoritmalar doğrultusunda komutların oluşturulması sürecidir. Yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte kodlama ve algoritmik düşünme becerilerinin eğitim ortamlarında kullanım alanı da genişlemektedir. Özellikle robotik uygulamalar, mikroişlemciler, Arduino sistemleri ve çeşitli sensörlerin kullanımı, öğrencilerin kodlama bilgilerini somut ürünlere dönüştürmelerine olanak sağlamaktadır. Fen bilimleri derslerinde kodlama temelli etkinliklerin kullanılması, öğrencilerin yalnızca teknolojik beceriler kazanmalarına değil, aynı zamanda bilimsel süreç becerilerini geliştirmelerine de katkıda bulunabilir. Öğrencilerin bir problemi tanımlaması, çözüm için algoritmik bir süreç oluşturması, uygulamayı gerçekleştirmesi ve ortaya çıkan sonuçları değerlendirmesi; problem çözme ve sistematik düşünme becerilerini desteklemektedir. Bunun yanında kodlama yoluyla soyut fen kavramlarının somut uygulamalarla ilişkilendirilmesi, öğrencilerin öğrenme sürecine aktif katılımını sağlayabilmektedir. Bu yönüyle kodlama, fen bilimleri derslerinde gerçek yaşam problemlerinin sınıf ortamına taşınmasına ve öğrencilerin bu problemlere yönelik çözüm

üretmelerine imkân sağlayan araçlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Güven ve Sülün, 2023). Yapay zekâ ile birlikte ele alındığında kodlama, öğrencilerin algoritmik düşünme ve problem çözme becerilerinin geliştirilmesinin yanı sıra eğitsel uygulamalar, dijital oyunlar ve yapay zekâ destekli sistemlerin tasarlanmasına da olanak sunmaktadır. Böylece öğrenciler yalnızca teknolojiyi kullanan bireyler olmakla kalmayıp teknolojik ürünlerin geliştirilme sürecine de aktif olarak katılabilmektedir.

- **Dijital Oyunlar:** Dijital teknolojilerin günlük yaşamın önemli bir parçası hâline gelmesiyle birlikte dijital okuryazarlık, eğitim ortamlarında geliştirilmesi gereken temel becerilerden biri olarak değerlendirilmektedir (Mindivanlı-Akdoğan ve Öner, 2023). Bu gelişmeye paralel olarak dijital oyun temelli öğrenme yaklaşımlarının eğitimdeki kullanımının da giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Dijital oyunlar, öğrencilerin öğrenme hedeflerine yönelik olarak bilgisayar, tablet, akıllı telefon veya benzeri dijital cihazlar aracılığıyla etkileşimde bulunmalarını sağlayan öğrenme araçlarıdır. Fen bilimleri derslerinde dijital oyunların kullanılması, özellikle öğrencilerin anlamakta zorlandıkları karmaşık ve soyut konuların daha etkileşimli biçimde ele alınmasına katkı sağlayabilir. Oyunlaştırılmış öğrenme ortamları öğrencilerin derse yönelik ilgilerini ve motivasyonlarını destekleyerek öğrenme sürecinin daha aktif ve eğlenceli hâle gelmesine yardımcı olabilir. Yapay zekâ destekli dijital oyunların önemli özelliklerinden biri ise öğrencilerin performanslarına göre öğrenme deneyimini uyarlayabilmesidir. Örneğin bir fen bilimleri oyununda yapay zekâ, öğrencinin sorulara verdiği yanıtları analiz ederek hangi konularda güçlük yaşadığını belirleyebilir ve öğrencinin ihtiyaçlarına uygun yeni sorular veya etkinlikler oluşturabilir. Böylece dijital oyunlar yalnızca eğlence amacıyla kullanılan araçlar olmaktan çıkarak öğrencinin bireysel öğrenme ihtiyaçlarına cevap verebilen öğrenme ortamlarına dönüşebilmektedir.
- **Eğitsel Veri Madenciliği:** Eğitim ortamlarında öğrencilerin sınav sonuçları, ödev performansları, derse katılım durumları, doğru ve yanlış cevapları, çalışma süreleri ve konu bazındaki performansları gibi çok sayıda veri ortaya çıkmaktadır. Eğitsel veri madenciliği, bu verilerin sistematik biçimde incelenerek öğrenme sürecine ilişkin anlamlı sonuçların elde edilmesine yönelik yaklaşımları kapsamaktadır. Yapay zekâ ve veri analizi yöntemlerinin

kullanılmasıyla öğrencilerin öğrenme süreçleri hakkında daha ayrıntılı bilgiler elde edilebilmekte ve bireysel öğrenme ihtiyaçlarının belirlenmesine yönelik olanaklar ortaya çıkmaktadır (Göker ve Tekedere, 2023; Özbay, 2015). Fen bilimleri eğitiminde eğitsel veri madenciliğinden yararlanılması; öğrencilerin başarı düzeylerinin izlenmesi, öğrenme eksikliklerinin belirlenmesi ve kişiselleştirilmiş öğrenme ortamlarının oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Örneğin bir yapay zekâ sistemi öğrencinin son üç sınavdaki performansını, ödev sonuçlarını ve derse katılım durumunu birlikte analiz ederek öğrencinin belirli bir konuda öğrenme güçlüğü yaşama olasılığına ilişkin bir öngörü oluşturabilir. Öğretmen ise bu bilgiyi öğrencinin ihtiyaçlarını daha erken fark etmek ve uygun destekleyici öğrenme etkinlikleri planlamak amacıyla kullanabilir. Bu bağlamda eğitsel veri madenciliğinin temel amacı yalnızca eğitim sürecine ilişkin büyük miktarda veri toplamak değildir. Asıl amaç, elde edilen verilerden anlamlı örüntüler ortaya çıkarmak, öğrenme süreçlerini daha yakından izlemek, öğrencilerin bireysel ihtiyaçlarını belirlemek ve eğitim sürecinin niteliğini geliştirmektir.

- **Makine Öğrenmesi:** Yapay zekânın kilit alt disiplinlerinden olan makine öğrenmesi; sistemlerin açıkça programlanmadan, verilerdeki örüntüler aracılığıyla kestirimsel çıkarımlar yapmasını sağlar. Eğitimde bu altyapı; öğrenci performansının takibi, akademik başarının öngörülmesi ve bireyselleştirilmiş öğretim materyallerinin tasarlanmasında etkili biçimde kullanılmaktadır. Fen öğretiminde makine öğrenmesi, özellikle deneysel ve sorgulamaya dayalı süreçleri destekleyen güçlü bir araçtır. Örneğin; bir bitki büyüme deneyinde sıcaklık, ışık ve su miktarı gibi değişkenlere ait veriler sisteme aktarıldığında, model değişkenler arası ilişkileri analiz ederek olası gelişim seyirlerini tahmin edebilir. Bu süreç, öğrencilerin yalnızca sonuçları gözlemlemekle kalmayıp veri odaklı düşünme, hipotez kurma ve bilimsel problem çözme becerilerini geliştirmelerini sağlar. Böylece fen eğitiminde veri okuryazarlığı ve teknolojinin deneysel süreçlere entegrasyonu pekişmiş olur. Veri madenciliği teknikleriyle de desteklenen makine öğrenmesi; otomatik değerlendirme sistemlerinden ön öğrenmelerin yeni bilgi inşasına etkisini belirlemeye kadar geniş bir yelpazede çözümler sunar. Bu analitik olanaklar, yalnızca öğrenciler için değil; öğretmenler, veliler, okul

idarecileri ve müfredat geliştiriciler dâhil tüm eğitim paydaşları için veriye dayalı stratejik fırsatlar yaratmaktadır (Pala, 2023).

- **Doğal Dil İşleme:** Yapay zekânın insan tarafından kullanılan doğal dilleri bilgisayarlar aracılığıyla işleyebilmesini, anlamlandırabilmesini ve yeni metinler oluşturabilmesini sağlayan bir teknoloji alanıdır. Eğitim ortamlarında NLP tabanlı uygulamalardan; öğrencilerin sorularına yanıt verilmesi, metinlerin özetlenmesi, yazılı çalışmaların incelenmesi, dil bilgisi ve anlatım hatalarının belirlenmesi ve farklı öğrenme amaçlarına yönelik içeriklerin oluşturulması gibi çeşitli amaçlarla yararlanılabilmektedir. Fen bilimleri eğitiminde doğal dil işleme teknolojileri, öğrencilerin bilimsel kavram ve konularla ilgili sorularına anlık geri bildirim sağlanması açısından işlevsel bir araç olabilir. Örneğin öğrenci, anlamakta güçlük çektiği bir fen bilimleri konusuyla ilgili sorusunu doğal bir dil kullanarak yapay zekâ sistemine yöneltebilir ve sorusuna yönelik açıklama veya örnekler elde edebilir. Bunun yanı sıra öğrencilerin hazırladığı metinlerin incelenmesi ve geri bildirim sunulması, bilimsel ifadelerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bu yönüyle NLP teknolojileri, öğrenci ile yapay zekâ arasındaki iletişimi daha doğal hâle getirerek öğrenme sürecinin desteklenmesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte yapay zekâ tarafından oluşturulan yanıtların bilimsel doğruluğunun öğretmen veya güvenilir kaynaklar aracılığıyla kontrol edilmesi, özellikle fen bilimleri gibi bilimsel bilgiye dayalı derslerde önem taşımaktadır.

Fen Eğitiminde Kullanılabilecek Yapay Zekâ Araçları

Yapay zekâ teknolojilerinin eğitim alanında yaygınlaşması, fen bilimleri derslerinde öğretme ve öğrenme süreçlerinin farklı araçlarla desteklenmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde öğretmenler ders hazırlama, etkinlik oluşturma, soru geliştirme ve öğrencilerin öğrenme süreçlerine ilişkin geri bildirim sağlama gibi birçok aşamada yapay zekâ destekli araçlardan yararlanabilmektedir. Öğrenciler açısından ise bu araçlar, öğrenilmesi güç kavramların farklı biçimlerde açıklanmasına, soruların cevaplandırılmasına ve bireysel öğrenme süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlayabilmektedir. Gün geçtikçe gelişen dünyaya uyum sağlayabilen insan gücünün yetiştirilmesinde fen eğitiminin kalitesinin devamlı bir şekilde gelişmesi oldukça önemlidir (Çetin ve Asiltürk, 2024). Bilimsel kavramların yapılandırılmasında ve fen bilimleri öğretiminin etkili hale getirilmesinde yapay zeka araçlarının

önemi büyüktür (Ayasrah vd., 2023). Fen bilgisi eğitimi teknoloji alanında yaşanan gelişmelerden büyük oranda etkilenmekte ve teknolojik gelişmeler ışığında eğitim öğretim ortamının kalitesi şekillenebilmektedir. Fen eğitiminde kullanılan teknolojilerin tamamının yapay zekâ temelli olmadığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle yapay zekâ araçları ile fen öğretimini destekleyen dijital ve etkileşimli uygulamaların ayrı başlıklar altında ele alınması kavramsal açıdan daha uygun görülmektedir. Bu kapsamda bu bölümde fen bilgisi eğitiminde eğitimciler ve öğrenciler tarafından kullanılabilecek yapay zekâ araçları aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 1 *ChatGPT uygulamasının simgesi*

- **ChatGPT:** Doğal dil aracılığıyla kullanıcı ile etkileşim kurabilen üretken yapay zekâ uygulamalarından biridir. Fen bilimleri eğitiminde öğretmenler tarafından ders planlarının hazırlanması, etkinlik ve çalışma sorularının oluşturulması, deney yönergelerinin geliştirilmesi ve farklı öğrenme düzeylerine yönelik materyallerin hazırlanması amacıyla kullanılabilir. Öğrenciler ise anlamakta güçlük çektikleri bilimsel kavramlara ilişkin açıklamalar isteyebilir, farklı örnekler oluşturabilir ve konuya yönelik sorular yöneltebilir (URL-1). ChatGPT'nin fen eğitiminde kullanımında öğrencilerin hazır bilgiye doğrudan ulaşması yerine eleştirel değerlendirme süreçlerinin desteklenmesi önemlidir. Örneğin fotosentez konusunda öğrencilere **"Fotosentez sürecinde ışık neden gereklidir?"** sorusu yöneltilebilir. Öğrencilerden öncelikle kendi açıklamalarını oluşturmaları, daha sonra aynı soruyu ChatGPT'ye yönelterek verilen yanıtı kendi açıklamalarıyla karşılaştırmaları istenebilir. Bu süreçte öğrenciler, yapay zekâ tarafından oluşturulan açıklamadaki bilimsel bilgileri güvenilir kaynaklarla karşılaştırarak değerlendirebilir. Böylece yapay zekâ, yalnızca bilgi sağlayan bir araç olmaktan çıkarılarak bilimsel sorgulama ve değerlendirme sürecinin bir parçası hâline getirilebilir.

- **Google Gemini:** Doğal dil üzerinden soru yanıtlama, metin oluşturma, açıklama yapma ve çeşitli içerikler üzerinde çalışma gibi işlevler sunan üretken yapay zekâ araçlarından biridir. Fen eğitiminde



Şekil 2 *Google Gemini uygulamasının simgesi*

bilimsel kavramların farklı düzeylerde açıklanması, ders etkinliklerinin hazırlanması, soru örneklerinin oluşturulması ve araştırma süreçlerinin desteklenmesi amacıyla kullanılabilir (URL-2). Örneğin iklim değişikliğinin canlılar üzerindeki etkileri ele alınırken öğrencilerden öncelikle konu hakkında araştırma soruları oluşturmaları istenebilir. Daha sonra öğrenciler sorularını Gemini'ye yönelterek elde ettikleri yanıtları ders kitabı, bilimsel yayınlar veya güvenilir kurumsal kaynaklarla karşılaştırabilir. Böyle bir etkinlik öğrencilerin yalnızca bilgi edinmelerini değil, aynı zamanda farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sorgulamalarını da destekleyebilir.

- **Microsoft Copilot:** Yapay zekâ destekli içerik oluşturma, metin özetleme, soru yanıtlama ve bilgi düzenleme gibi çeşitli işlevlere sahip bir araçtır. Fen bilimleri dersinde öğretmenlerin konu özetleri hazırlamasına, çalışma soruları geliştirmesine ve farklı öğrenci düzeylerine yönelik etkinlikler oluşturmasına yardımcı olabilir (URL-3). Örneğin öğretmen, **"7. sınıf öğrencileri için kuvvet ve enerji konusunu günlük yaşamla ilişkilendiren üç etkinlik oluştur"** şeklinde bir istem hazırlayabilir. Copilot tarafından oluşturulan etkinlikler daha sonra öğretmen tarafından incelenerek öğretim programındaki kazanımlara, öğrencilerin yaş ve gelişim özelliklerine ve sınıfın ihtiyaçlarına uygun biçimde düzenlenebilir. Bu kullanım biçiminde yapay zekâ, öğretmenin pedagojik kararlarının yerine geçen bir sistem olarak değil, materyal geliştirme sürecini destekleyen bir araç olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3 *Microsoft Copilot uygulamasının simgesi*

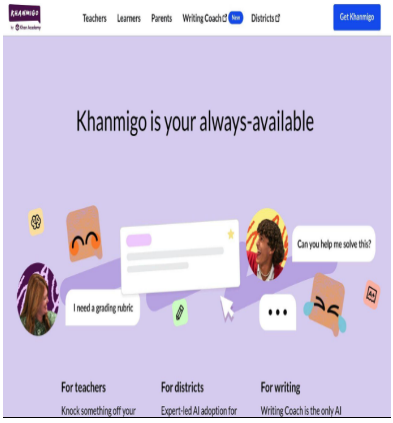
- **IBM Watson:** IBM Watson ve IBM'in yapay zekâ temelli teknolojileri; makine öğrenmesi, doğal dil işleme ve veri analizi gibi alanlarda kullanılabilmektedir. Eğitim açısından bu teknolojiler, büyük miktardaki verinin incelenmesi ve verilerden anlamlı sonuçlar elde



Şekil 4 *IBM Watson uygulamasının simgesi*

edilmesi bakımından değerlendirilebilir (URL-4). Fen bilimleri dersinde buna örnek olarak bitki gelişimi üzerine gerçekleştirilen bir deney verilebilir. Öğrenciler belirli bir süre boyunca farklı sıcaklık koşullarında yetiştirilen bitkilerin gelişim durumlarını kaydedebilir. Elde edilen veriler analiz edilerek sıcaklık ile bitki gelişimi arasındaki ilişkiler incelenebilir. Öğrenciler bu süreçte yalnızca deney sonucunu gözlemlemekle kalmayıp verilerden hareketle tahminlerde bulunabilir ve bilimsel çıkarımlar geliştirebilir. Böylece yapay zekâ ve veri analizi teknolojileri, fen eğitiminde veri temelli düşünme becerilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

- **Khanmigo:** Eğitim süreçlerinde kullanılmak üzere geliştirilen yapay zekâ destekli bir öğrenme ve öğretim aracıdır. Öğrencilerin karşılaştıkları problemlerde doğrudan sonuca ulaşmalarından ziyade düşünme ve çözüm geliştirme süreçlerinde rehberlik edilmesini amaçlayan bir kullanım biçimi sunmaktadır (URL-5). Fen bilimleri dersinde örneğin kuvvet ve hareket konusu işlenirken öğrenciden **"Bir cismin hareketinde uygulanan kuvvetin etkisi nasıl açıklanabilir?"** sorusu üzerinde düşünmesi istenebilir. Öğrenci, soruyu Khanmigo ile ele alırken doğrudan cevabı almak yerine yönlendirici sorular ve açıklamalardan yararlanarak kendi çözümünü geliştirebilir. Böyle bir kullanım, öğrencilerin problem çözme, akıl yürütme ve bilimsel açıklama oluşturma süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlayabilir.



Şekil 5 *Khanmigo uygulamasının simges*

- **MagicSchool:** Öğretmenlerin yapay zekâ teknolojilerinden eğitim amacıyla yararlanmasına yönelik çeşitli araçlar sunan bir platformdur. Ders planlarının hazırlanması, etkinlik ve çalışma kâğıtlarının oluşturulması, değerlendirme sorularının geliştirilmesi ve farklı

Şekil 6 *MagicSchool yapay zekâ platformunun simgesi*

öğrenme düzeylerine yönelik materyaller hazırlanması gibi süreçlerde kullanılabilir (URL-6). Fen bilimleri öğretmeni, örneğin "6. sınıf öğrencileri için madde ve ısı konusunda farklı öğrenme düzeylerine uygun etkinlikler hazırla" şeklinde bir istem oluşturabilir. Platform tarafından hazırlanan içerikler öğretmen tarafından gözden geçirildikten sonra sınıfın özelliklerine, öğrencilerin hazırbulunuşluk düzeylerine ve öğretim programındaki kazanımlara göre yeniden düzenlenebilir. Bu nedenle yapay zekâ tarafından oluşturulan içeriklerin doğrudan kullanılmasından ziyade öğretmen tarafından pedagojik ve bilimsel açıdan değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Fen Eğitiminde Yapay Zekâ Kullanımının Avantajları

Yapay zekâ teknolojilerinin fen bilimleri öğretim süreçlerine entegrasyonu; geleneksel ve öğretmen merkezli pedagojik kalıpların ötesine geçilmesini sağlayarak bilimsel sorgulama mekanizmalarını derinleştirmekte ve öğrenme ortamlarını etkileşim düzeyi yüksek bir yapıya kavuşturmaktadır. Fen eğitimi gibi soyut kavramların ve karmaşık süreçlerin yoğun olduğu alanlarda bu teknolojiler; öğrenenlerin bilimsel düşünme becerilerini, öz yeterlik inançlarını ve ders tutumlarını olumlu yönde şekillendirmektedir (Arduç, 2025; Eyecioğlu ve Yeşilyurt, 2021). Yapay zekânın fen öğretimine sağladığı başlıca katkılar şu temel boyutlarda ele alınabilir:

- **Soyut Fen Kavramlarının Somutlaştırılması ve Görselleştirilmesi:** Atomik yapılar, hücresel organellerin işleyişi, manyetik alanlar veya genetik kodlamalar gibi mikroskobik/soyut süreçler öğrencilerde sıkça kavram yanılgılarına yol açmaktadır. Yapay zekâ destekli üç boyutlu simülasyonlar, dinamik modeller ve üretken görseller; gözlemlenmesi imkânsız olan bu süreçleri somut öğrenme materyallerine dönüştürerek kavramsal anlamayı derinleştirmektedir (Kaya ve Köseoğlu, 2024). Bu durum, öğrencilerin zihinsel imgeleme ve uzamsal akıl yürütme becerilerini üst seviyeye taşımaktadır.
- **Sanal Laboratuvarlar ve Güvenli Deney Yaşantıları:** Bütçe yetersizlikleri, yüksek ekipman maliyetleri veya tehlikeli kimyasal reaksiyonlar gibi güvenlik riskleri nedeniyle sınıfta gerçekleştirilemeyen deneyler, yapay zekâ tabanlı sanal laboratuvarlarda sıfır riskle yürütülebilmektedir. Öğrenciler bağımsız değişkenleri diledikleri gibi manipüle ederek hipotezlerini defalarca

sınama imkânı bulmakta; bu da uygulamaya dayalı fen öğrenimini zenginleştirmektedir.

- **Kişiselleştirilmiş Öğrenme Rotaları ve Esnek Öğretim:** Geleneksel sınıf ortamlarında her öğrencinin farklı bilişsel şemasına ve öğrenme hızına aynı anda yanıt vermek oldukça güçtür (Çolak Yazıcı ve Erkoç, 2024). Adaptif yapay zekâ sistemleri; öğrencilerin fen problemlerindeki çözüm stratejilerini, yanıt sürelerini ve hata örüntülerini analiz ederek anlık pedagojik teşhisler koyar (Arslan, 2020). Her bireyin hazırbulunuşluk düzeyine uygun içerik ve alıştırma rotaları çizilerek kişiselleştirilmiş bir fen öğrenimi yaşantısı sunulur (Almasri, 2024; Zawacki-Richter vd., 2019).
- **Gerçek Zamanlı Veri Analizi ve Bilimsel Sorgulama:** Yapay zekâ algoritmaları, öğrencilerin fen projelerinde derledikleri karmaşık nicel veri setlerini (çevresel kirlilik oranları, iklim parametreleri vb.) hızla işleyerek anlamlı modellere dönüştürür. Bu dinamik süreç, öğrencilerin grafik okuma, veri işleme ve hipotez kurma yeteneklerini güçlendirerek bilimsel araştırma becerilerini doğrudan destekler (Nazaretsky vd., 2022). Ayrıca, otantik veri setleri üzerinden küresel ölçekteki araştırmacı ve akranlarla etkileşim kurulması, gerçek dünya sorunlarına veriye dayalı çözümler üretilmesini teşvik eder (Holmes vd., 2023).
- **Anlık Geri Bildirim ve Kavram Yanılgılarının Önlenmesi:** Yapay zekâ tabanlı değerlendirme araçları, fen dersi etkinliklerinde yapılan hataları anında tespit ederek yapıcı geri bildirimler sunar. Fen öğretiminde sıkça karşılaşılan kemikleşmiş kavram yanılgıları (kuvvet-hareket, hâl değişimleri vb.) kalıcı hâle gelmeden anında müdahaleyle düzeltilebilir.
- **7/24 Erişilebilir Pedagojik Rehberlik:** Büyük dil modelleri ve yapay zekâ sohbet robotları, öğrencilerin okul dışı zamanlarda takıldıkları fen problemleri veya merak ettikleri doğa olayları hakkında anında rehberlik almalarını sağlar. Sistem, öğrencinin soru sorma düzeyine göre yanıtın derinliğini ve karmaşıklığını anlık olarak ayarlayabilir.
- **Öğretmenlerin Mesleki Tasarım Yükünün Azaltılması:** Yapay zekâ araçları; fen müfredatına uygun özgün soru üretme, çalışma yaprağı hazırlama, değerlendirme rubrikleri oluşturma ve ödev analizi süreçlerinde öğretmenlere asistanlık eder. Böylece öğretmenler idari

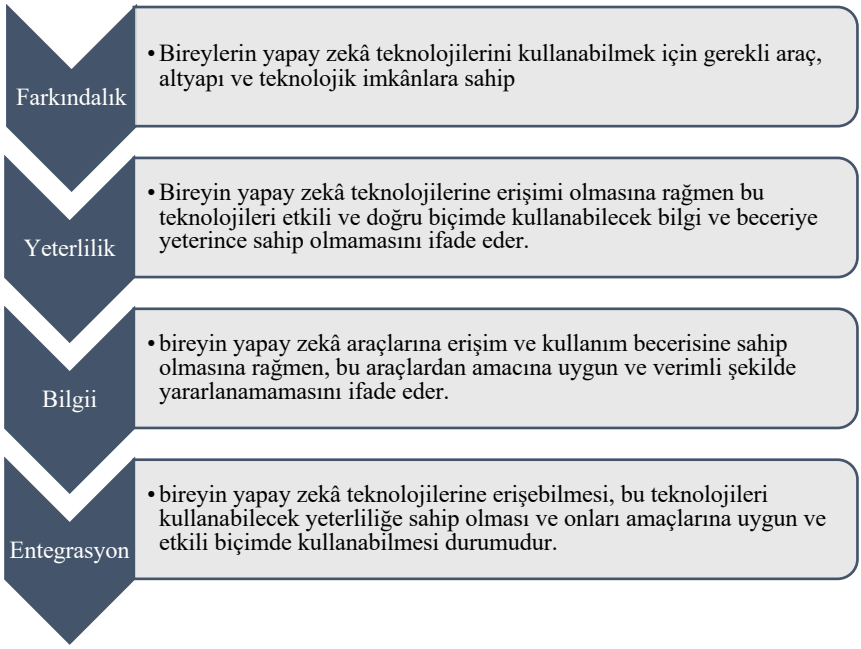
yüklerden sıyrılarak odaklarını doğrudan öğrenci etkileşimine ve rehberliğe yöneltebilirler.

- **STEM Odaklı Öğrenme, Tutum ve Aktif Katılım:** Yapay zekâ, fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) disiplinlerini bütünleştiren senaryolar üreterek öğrencileri analitik düşünmeye ve mühendislik tasarım süreçleriyle özgün prototipler geliştirmeye yönlendirir (Mindivanli-Akdoğan ve Yıldırım, 2021). Etkileşimli yapay zekâ uygulamalarının entegre edildiği bu tür etkinlikler; öğrencilerin fen dersine olan derse katılım düzeylerini, akademik öz yeterlik inançlarını ve motivasyonlarını belirgin şekilde yükseltmektedir (Aynei vd., 2024; Güneş ve Yılmazlar, 2025).

Fen Eğitiminde Yapay Zekâ Kullanımının Sınırlılıkları ve Riskleri

Yapay zekâ teknolojilerinin fen öğretim süreçlerine sağladığı eşsiz fırsatların yanı sıra, bu sistemlerin kontrolsüz, hazırlıksız veya etik ilkelerden yoksun bir biçimde eğitim ortamlarına entegre edilmesi birtakım sınırlılıkları ve riskleri beraberinde getirmektedir. Fen bilimleri eğitiminin doğası gereği kritik öneme sahip olan gözlem, deney, dokunsal etkileşim ve bilimsel etik ilkeler göz önüne alındığında, karşılaşılabilecek başlıca olumsuzluklar şu şekilde sıralanabilir:

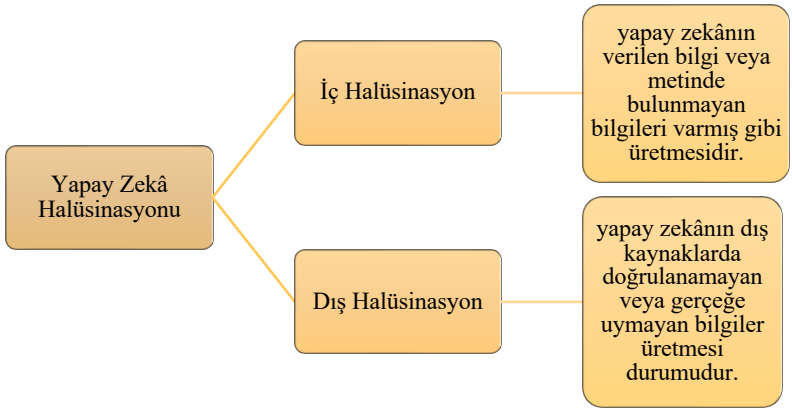
- **Sayısal Bölünme ve Fırsat Eşitsizliği:** Yapay zekâ tabanlı gelişmiş fen simülasyonları, sanal laboratuvarlar ve adaptif öğrenme yazılımları yüksek donanımlı cihazlar ve kesintisiz internet altyapısı gerektirmektedir. Sosyoekonomik açıdan dezavantajlı bölgelerdeki okulların ve öğrencilerin bu teknolojilere erişimde yaşadığı imkân yetersizlikleri veya ücretli yazılımları temin edememe durumları, öğrenciler arasındaki akademik başarı farkını derinleştirerek eğitimde fırsat eşitliğini zedeleyebilir.



Şekil 7 *Yapay Zekâ Bölünmesi (Neves, 2023)*

- **Veri Gizliliği, Güvenlik ve Algoritmik Etik:** Yapay zekâ sistemleri; öğrencilerin fen problemlerini çözerken sergiledikleri bilişsel stratejileri, hata kalıplarını, ses verilerini ve kişisel bilgilerini sürekli olarak kaydetmekte ve işlemektedir. Öğrenci verilerinin izinsiz kullanımı, ticari amaçlarla işlenmesi veya siber güvenlik zafiyetleri neticesinde üçüncü şahısların eline geçmesi, ciddi boyutta etik ve hukuki ihlallere yol açabilir (Holmes vd., 2019).
- **Soyutlaşma ve Somut Laboratuvar Becerilerinden Kopuş:** Fen öğretiminde ilkokul ve ortaokul düzeyinden itibaren öğrencilerin fiziksel materyallerle temas etmesi, laboratuvar araç-gereçlerini bizzat kullanması ve beş duyuyu kapsayan somut deneyimler yaşaması kritik önem taşır. Sanal laboratuvarlara ve dijital simülasyonlara aşırı bağımlılık geliştirilmesi, öğrencilerin ince motor becerilerinin, el-göz koordinasyonlarının ve gerçek dünya deneylerine yönelik pratik becerilerinin zayıflamasına neden olabilir.
- **Algoritmik Hatalar ve Yanlış Bilgilendirme (Halüsinasyon Riski):** Büyük dil modelleri ve yapay zekâ algoritmaları; eksik veri girdileri, taraflı veri setleri veya sistemsel hatalar sebebiyle fen kavramlarına ilişkin bilimsel olarak hatalı veya yanıltıcı bilgiler üretebilir (Zuboff,,

2023). Öğrencilerin bu hatalı içerikleri doğru kabul etmesi, düzeltilmesi oldukça zor olan yeni kavram yanılgılarının oluşmasına zemin hazırlayabilir.



Şekil 8 *Yapay Zekâ Halüsinasyonu Türleri (Ji vd., 2023)*

- **Aşırı Teknolojik Bağımlılık ve Sosyal İzolasyon:** Öğrencilerin fen öğrenim sürecinde sürekli olarak bireysel yapay zekâ platformlarıyla etkileşimde bulunması; teknoloji bağımlılığını tetikleyebilir. Bu durum, öğrenciler arasındaki yüz yüze akran etkileşimini, iş birliğine dayalı grup çalışmalarını ve sosyal-duygusal gelişim için elzem olan iletişim becerilerini kısıtlayabilir.
- **Bilişsel Tembellik ve Üstbilişsel Becerilerin Gerilemesi:** Fen problemleri ve hipotez kurma süreçlerinde yapay zekâ araçlarına aşırı güvenilmesi, öğrencilerin problem çözme sürecinde harcamaları gereken zihinsel çabayı azaltabilir. Soruların cevaplarını doğrudan yapay zekâdan hazır alma eğilimi, öğrencilerin derinlemesine düşünme, sorgulama ve analitik akıl yürütme gibi üst düzey bilişsel becerilerini olumsuz etkileyebilir.
- **Öğretmen Rolünün Yanlış Algılanması ve Pedagojik Yetersizlikler:** Yapay zekâ uygulamalarının fen derslerine entegrasyonu sürecinde, teknolojinin öğretmenin yerini alacağı yönündeki yanlış algılar veya öğretmenlerin bu teknolojileri pedagojik açıdan etkili kullanabilecek teknolojik alan bilgisine (TPAB) sahip olmaması, uygulamanın verimliliğini düşürmektedir (Yang vd., 2021).

Fen eğitiminde yapay zekâ kullanımı; soyut kavramların somutlaştırılması, kişiselleştirilmiş öğrenme alanlarının yaratılması ve

bilimsel sorgulama süreçlerinin desteklenmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin nitelikli bir kazanımlara dönüşebilmesi; veri gizliliğinin sağlanmasına, teknolojik altyapıdaki eşitsizliklerin giderilmesine ve yapay zekânın öğretmenin ikamesi değil, pedagojik bir destekleyicisi olarak konumlandırılmasına bağlıdır. Bu doğrultuda okul yöneticilerinin, fen öğretmenlerinin, öğrencilerin ve velilerin yapay zekâ okuryazarlığı düzeylerinin artırılması, geleceğin bilimsel eğitim ekosisteminin sağlıklı kurgulanmasında kritik bir rol oynayacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu kitap bölümünde yapay zekânın tarihsel gelişimi, eğitim sistemlerinde ortaya çıkardığı değişimler ve fen eğitimindeki kullanım olanakları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Turing Testi ve Dartmouth Konferansı ile şekillenen yapay zekâ çalışmaları, zaman içerisinde makine öğrenmesi, derin öğrenme ve üretken yapay zekâ uygulamalarıyla farklı boyutlar kazanmıştır. Günümüzde eğitim alanında giderek daha fazla ilgi gören bu teknolojiler; öğretim süreçlerinin planlanması, öğrenme materyallerinin hazırlanması ve öğrencilerin bireysel öğrenme ihtiyaçlarının desteklenmesi açısından çeşitli fırsatlar sunabilir. Soyut kavramların yoğun olduğu, gözlem ve deney süreçlerinin önemli bir yer tuttuğu fen eğitimi, yapay zekâ teknolojilerinden yararlanılabilecek alanlardan biri olarak değerlendirilebilir. Yapay zekâ destekli simülasyonlar, sanal laboratuvarlar, görselleştirme araçları ve üretken yapay zekâ uygulamaları, öğrencilerin bilimsel kavramları anlamalarına ve farklı öğrenme deneyimleri kazanmalarına katkı sağlayabilir. ChatGPT, Gemini ve Copilot gibi üretken yapay zekâ araçlarının yanı sıra Khanmigo ve MagicSchool gibi eğitim odaklı uygulamalar; ders planlama, materyal geliştirme, etkinlik hazırlama ve geri bildirim sunma süreçlerinde öğretmenlere destek olabilir. Bununla birlikte söz konusu araçların eğitim ortamlarına sağlayabileceği katkının, öğretim hedefleriyle uyumları ve pedagojik açıdan nasıl kullanıldıklarıyla ilişkili olduğu söylenebilir.

Yapay zekâ teknolojilerinin sunduğu olanakların yanı sıra bazı sınırlılıkların da dikkate alınması gerekmektedir. Hatalı veya bilimsel açıdan geçersiz bilgilerin üretilmesi, kişisel verilerin korunmasına ilişkin sorunlar, dijital araçlara erişimde yaşanan eşitsizlikler ve öğrencilerin hazır bilgilere aşırı bağımlı hâle gelme olasılığı bu kapsamda

değerlendirilebilir. Ayrıca dijital öğrenme ortamlarının gerçek deneyimlerle yeterince desteklenmemesi durumunda öğrencilerin gözlem yapma, ölçüm alma ve deneysel süreçleri yürütme deneyimleri sınırlanabilir. Bu nedenle yapay zekânın öğretmenin yerini alan bir teknoloji olarak değil, öğretim sürecini destekleyebilecek ve öğrencilerin bilimsel düşünme becerilerinin gelişimine katkıda bulunabilecek bir araç olarak ele alınması uygun olacaktır.

Bu değerlendirmeler doğrultusunda fen eğitiminde yapay zekâ teknolojilerinin etkili, güvenli ve amaca uygun biçimde kullanılmasına yönelik aşağıdaki öneriler sunulabilir:

1. Öğretmenlerin yapay zekâ yeterliliklerinin geliştirilmesi: Fen bilimleri öğretmenlerine yapay zekâ okuryazarlığı, uygun araç seçimi, etkili istem hazırlama, bilimsel bilgilerin doğrulanması ve etik kullanım konularında uygulamalı eğitimler verilmesi yararlı olabilir. Bu tür eğitimlerin öğretmenlerin teknolojiyi öğretim hedefleri doğrultusunda değerlendirmelerine ve ders süreçlerine daha bilinçli biçimde dâhil etmelerine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

2. Yapay zekâ uygulamalarının öğretim programlarıyla ilişkilendirilmesi: Fen derslerinde kullanılacak yapay zekâ araçlarının öğretim programındaki kazanımlar, öğrencilerin gelişim özellikleri ve dersin içeriği dikkate alınarak seçilmesi önerilebilir. Teknoloji kullanımının yalnızca yenilik amacı taşıması yerine, belirli öğrenme ihtiyaçlarına cevap verecek biçimde planlanması önem taşımaktadır. Bu doğrultuda yapay zekâdan ders planlarının, öğrenme etkinliklerinin ve ölçme-değerlendirme materyallerinin hazırlanmasında yararlanılabilir.

3. Bilimsel sorgulama ve eleştirel düşünme becerilerinin desteklenmesi: Öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bilgileri doğrudan kabul etmek yerine sorgulamaları, farklı kaynaklarla karşılaştırmaları ve bilimsel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmeleri teşvik edilebilir. Öğrencilerin öncelikle kendi tahminlerini ve açıklamalarını oluşturmaları, ardından bunları yapay zekâ çıktılarıyla karşılaştırmaları sağlanabilir. Bu tür etkinliklerin öğrencilerin araştırma, akıl yürütme ve problem çözme becerilerinin gelişimini destekleyebileceği düşünülmektedir.

4. Gerçek deneyler ile dijital öğrenme ortamlarının birlikte kullanılması: Sanal laboratuvarlar, simülasyonlar ve yapay zekâ destekli görselleştirme araçları, gerçek deneyleri tamamlayıcı uygulamalar olarak

değerlendirilebilir. Dijital ortamların fiziksel materyallerle gerçekleştirilen deneylerle birlikte kullanılması, öğrencilerin hem sanal hem de gerçek deneyimlerden yararlanmalarına olanak sağlayabilir. Bu süreçte gözlem yapma, ölçüm alma, sonuçları karşılaştırma ve bilimsel çıkarımlarda bulunma gibi becerilerin desteklenmesine yönelik etkinliklere yer verilmesi önerilebilir.

5. Etik ilkelerin ve veri güvenliğinin gözetilmesi: Yapay zekâ destekli eğitim uygulamalarının kullanımında öğrencilerin kişisel bilgilerinin korunmasına ve dijital güvenliğe yönelik önlemlerin alınması önem taşımaktadır. Kullanılan platformların veri işleme politikalarının incelenmesi, öğrencilerin yaşlarına uygun güvenlik uygulamalarının tercih edilmesi ve yapay zekâ kullanımına ilişkin sorumlulukların açıklanması yararlı olabilir. Ayrıca öğrencilerin yapay zekâ tarafından üretilen içerikleri sorgulamalarını ve bu teknolojileri sorumlu biçimde kullanmalarını destekleyen farkındalık çalışmalarına yer verilebilir.

6. Eğitimde fırsat eşitliğinin gözetilmesi: Yapay zekâ destekli eğitim araçlarına erişimde internet bağlantısı, donanım olanakları ve ekonomik koşullardan kaynaklanan farklılıkların dikkate alınması gerekmektedir. Okulların teknolojik altyapılarının geliştirilmesi ve erişilebilir eğitim araçlarının kullanım olanaklarının artırılması, daha fazla öğrencinin bu uygulamalardan yararlanmasına katkı sağlayabilir. Bu süreçte teknolojik imkânları sınırlı olan öğrencilerin öğrenme etkinliklerine katılımını destekleyen alternatiflerin geliştirilmesi de değerlendirilebilir.

7. Disiplinler arası ve iş birliğine dayalı etkinliklerin geliştirilmesi: Yapay zekâ uygulamalarının fen, teknoloji, mühendislik ve matematik alanlarıyla bütünleştirilmesi, öğrencilerin disiplinler arası bağlantılar kurmalarına yardımcı olabilir. Robotik kodlama, Arduino tabanlı uygulamalar, sensör teknolojileri ve makine öğrenmesi etkinlikleri STEM temelli öğrenme süreçlerinde kullanılabilecek örnekler arasında yer almaktadır. Bu tür uygulamaların grup çalışmaları ve proje temelli etkinliklerle desteklenmesi, öğrencilerin yaratıcılık, iletişim, iş birliği ve problem çözme becerilerinin gelişimine katkıda bulunabilir.

8. Yapay zekâ destekli uygulamaların etkilerinin araştırılması: Farklı sınıf düzeylerinde ve fen bilimlerinin çeşitli öğrenme alanlarında gerçekleştirilecek araştırmalarla yapay zekâ destekli öğretim uygulamalarının öğrencilerin akademik başarıları, kavramsal öğrenmeleri, bilimsel süreç becerileri ve fen dersine yönelik tutumlarıyla

ilişkisi incelenebilir. Bunun yanı sıra öğretmenlerin deneyimlerinin, karşılaştıkları güçlüklerin ve öğrencilerin yapay zekâya ilişkin algılarının nitel ve nicel araştırmalarla değerlendirilmesi yararlı olabilir. Uzun süreli araştırmalar aracılığıyla bu uygulamaların bağımsız öğrenme, problem çözme ve bilimsel akıl yürütme becerileriyle ilişkisi hakkında daha kapsamlı bulgular elde edilebilir. Elde edilen sonuçların, fen eğitiminde kullanılabilecek yapay zekâ destekli uygulamaların geliştirilmesine ve iyileştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak yapay zekâ teknolojilerinin fen eğitiminde kullanılması, öğretim süreçlerini zenginleştirme ve farklı öğrenme ihtiyaçlarına cevap verme açısından çeşitli olanaklar sunabilir. Bununla birlikte bu olanakların eğitim ortamlarına nasıl yansıyacağı; öğretmenlerin yeterlilikleri, kullanılan araçların özellikleri, öğretim hedefleri ve uygulama koşulları gibi çeşitli etkenlerle ilişkili olabilir. Bilimsel sorgulamanın desteklenmesi, gerçek deneyimlere yer verilmesi, etik ilkelerin gözetilmesi ve eğitimde fırsat eşitliğinin dikkate alınması, yapay zekâ entegrasyonunun değerlendirilmesinde önem taşıyan unsurlardır. Bu çerçevede yapay zekânın fen eğitimindeki kullanımının, sunduğu fırsatlar ve beraberinde getirebileceği sınırlılıklar birlikte ele alınarak geliştirilmesi; öğrencilerin bilimsel düşünme ve öğrenme süreçlerine sağlayabileceği katkıların daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir.

KAYNAKÇA

Agar, J. (2020). What is science for? The Lighthill report on artificial intelligence reinterpreted. *The British Journal for the History of Science*

Akhmetshin E, Klochko E, Kapustina D, Iagiaeva I, Baksheev A, Gulina I (2024) Impactof modern international trends on the development of the education system. Relacoes Int no Mundo Atual 2(44):19–32.

Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. Research in Science Education, 54(5), 977-997.

Arduç, M. A. (2025). Teknoloji Odaklı Fen Öğretiminde Yapay Zekânın Fene Yönelik Tutuma Etkisi: Basit Makineler Örneği. Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 39, 1-19. https://doi.org/10.54600/igdirsosbilder.1497243

Arslan, K. (2020). Eğitimde yapay zekâ ve uygulamaları. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, *11*(1), 71-88.

Ayasrah, F. T. M., Alarabi, K., & Fattah, H. A. A. (2023). *A Secure Technology Environment and AI's Effect on Science Teaching: Prospective Science Teachers*. 20(S2), 289-302.

Ayeni, O. O., Al Hamad, N. M., Chisom, O. N., Osawaru, B., & Adewusi, O. E. (2024). AI in education: A review of personalized learning and educational technology. *GSC Advanced Research and Reviews*, *18*(2), 261-271.

Coşkun, F., & Gülleroğlu, H. D. (2021). Yapay zekânın tarih içindeki gelişimi ve eğitimde kullanılması. *Ankara University Journal of Faculty of Educational Sciences (JFES)*, *54*(3), 947-966. https://doi.org/10.30964/auebfd.916220

Çetin, B. Y., & Asiltürk, E. (2024). Fen Bilgisi Öğretmenliği 1. Sınıf Öğrencilerinin Kimyasal Denklemler ve Hesaplamalar Konusu Öğrenmeleri Üzerine Fenomenografik Bir Çalışma 1. *The Journal of Academic Social Science Studies*, *12*(53), 317-333. https://doi.org/10.9761/JASSS6887

Çetin, M., & Aktaş, A. (2021). Yapay zeka ve eğitimde gelecek senaryoları. *OPUS International Journal of Society Researches*, *18*(Eğitim Bilimleri Özel Sayısı), 4225-4268.

Çolak Yazıcı, S., & Erkoç, M. (2024). Kimya, Fizik, Biyoloji ve Fen Bilimleri Öğretmenlerinin Yapay Zekâ Kullanımına Yönelik Görüş ve Tutumlarının Teknoloji Kabul Modeline göre Analizi. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 15(2), 1606-1641. https://doi.org/10.51460/baebd.1496347

Eyecioglu, E., & Yeşilyurt, M. (2021). Dijital deneylerin fen bilimleri dersinde kullanılmasının öğrenci başarısına etkisi. *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 29- 35. https://doi.org/10.52122/nisantasisbd.927422

Gapsalamov AR, Sharipov RR, Vasilev VL, Bochkareva TN (2020) Approaches to information security in educational processes in the context of digitalization. TEM J 9(2):708–715.

Gondal, K. M. (2018). Artificial intelligence and educational leadership. Annals of King EdwardMedical University, 24(4), 1-2. https://www.annalskemu.org/journal/index.php/annals/article/view/2591

Göker, H., & Tekedere, H. (2023). Eğitsel Veri Madenciliğinin Örnek Bir Olay ile Değerlendirilmesi V. Nabiyev & A.K. Erümit (Eds.), Eğitimde yapay zekâ: Kuramdan uygulamaya içinde (ss. 206-229). Pegem Akademi.

Güneş, L., & Yılmazlar, M. (2025). Öğrencilerin Fen Bilimleri Dersinde Yapay Zekânın Entegrasyonuna Yönelik Algıları: Bir Fenomenolojik Çalışma. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 26(2), 520-540. https://doi.org/10.29299/kefad.1587728

Güven, E., & Sülün, Y. (2023). Ortaokul 5. Sınıf Fen Öğretiminde Arduino Destekli Robotik Kodlama Etkinliklerinin Kullanılması. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *25*(2), 225-236. https://doi.org/10.17556/erziefd.1116283

Holmes, W., Bialik, M, & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning Center for Curriculum Redesign.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2023). Artificial intelligence in education. Globethics.

How, M.-L., & Hung, W. L. D. (2019). Educing AI-Thinking in Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education. *Education Sciences*, *9*(3), 184. https://doi.org/10.3390/educsci9030184

Huang, J., Saleh, S., & Liu, Y. (2021). A review on artificial intelligence in education. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, *10*.

İşler, B., & Kılıç, M. (2021). Eğitimde yapay zekâ kullanimi ve gelişimi. *Yeni Medya Elektronik Dergisi*, *5*(1), 1-11. https://doi.org/10.17932/IAU.EJNM.25480200.2021/ejnm_v5i1001

Ji, Z., Lee, N., Frieske, R., Yu, T., Su, D., Xu, Y., Ishii, E., Bang, Y. J., Madotto, A., & Fung, P. (2023). Survey of Hallucination in Natural Language Generation. *ACM Computing Surveys*, *55*(12), 1-38. https://doi.org/10.1145/3571730

Kaya, M., & Köseoğlu, Z. (2024). Geleceğin eğitimini şekillendirmek: öğretmen yardımcısı yapay zeka. Pearson Journal, 8(29), 1555–1578. http://doi.org/10.5281/zenodo.13384238

Lindsay, R. K., Buchanan, B. G., Feigenbaum, E. A., & Lederberg, J. (1993). DENDRAL: A case study of the first expert system for scientific hypothesis formation. *Artificial Intelligence, 61*(2), 209–261. https://doi.org/10.1016/0004-3702(93)90068-M

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence: August 31, 1955. *AI magazine*, *27*(4), 12-14.

Mindivanli- Akdoğan, E. & Yıldırım, P. (2021). STEM ve Sosyal Bilgiler Öğretiminde Kullanımı. Y. Değirmenci & Z.Taşyürek (Eds.), Uygulama Örnekleriyle Sosyal Bilgiler Öğretimi içinde (ss. 171-199). Nobel Yayıncılık.

Mindivanli-Akdoğan, E., & Öner, Ü. (2023). Opinions of Social Studies Teachers and 7th-Grade Students Regarding Digital Literacy Skills. *Türk Akademik Yayınlar Dergisi*, *7*(3), 75-106. https://doi.org/10.29329/tayjournal.2023.609.04

National Research Council. (1999). *Funding a revolution: Government support for computing research*. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/6323

Nazaretsky, T., Ariely, M., Cukurova, M., & Alexandron, G. (2022). Teachers' trust in AI - powered educational technology and a professional development program to improve it. *British Journal of Educational Technology*, *53*(4), 914-931. https://doi.org/10.1111/bjet.13232

Neves, M. (2023). The artificial intelligence divide: Impacts, consequences and approaches to minimize it.

O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*. Crown.

Özbay, Ö. (2015). Veri madenciliği kavrami ve eğitimde veri Madenciliği uygulamalari. *Uluslararası Eğitim Bilimleri Dergisi*, (5), 262-272.

Paek, S., & Kim, N. (2021). Analysis of Worldwide Research Trends on the Impact of Artificial Intelligence in Education. *Sustainability*, *13*(14), 7941. https://doi.org/10.3390/su13147941

Pala, F. K. (2023). Makine Öğrenmesi ve Eğitim Sistemine Getirdikleri. V. Nabiyev & A.K. Erümit (Eds.), Eğitimde Yapay Zeka: Kuramdan Uygulamaya içinde (ss. 234-254). Pegem Akademi.

Popenici, S. A. D., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, *12*(1), 22. https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8

Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and

organization in the brain. *Psychological review*, *65*(6), 386.
Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *nature*, *323*(6088), 533-536.
TechTarget (2022) Exploring AI use cases across education and government. https://www.techtarget.com/searchcio/FlexibleIT/Exploring-AI-UseCases-AcrossEducation-and-Government.
Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı. (2019, 24 Ekim). *Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinde Değişiklik Yapılmasına Dair Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (Kararname Numarası: 48)*. Resmî Gazete (Sayı: 30928). resmigazete.gov.tr
Vesselinov, R., & Grego, J. (2012). Duolingo effectiveness study. *City University of New York, USA*, *28*(1-25).
Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, *9*(1), 36-45. https://doi.org/10.1145/365153.365168
Yang, S. J. H., Ogata, H., Matsui, T., & Chen, N.-S. (2021). Human-centered artificial intelligence in education: Seeing the invisible through the visible. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *2*, 100008. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100008
Yıldız, S., & Zengin, R. (2025a). Determining the opinions of preservice science teachers about smart learning environments. *International Online Journal of Educational Sciences, 17*(1), 18–29. https://doi.org/10.15345/iojes.2025.01.002
Yıldız, S., & Zengin, R. (2025b). *Eğitimde yapay zeka: Temelleri, kullanım alanları ve yapay zeka okuryazarlığı*. İKSAD Yayınevi. https://doi.org/10.5281/zenodo.15207187
Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *16*(1), 39. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0
Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education–where are the educators? International J. of Educational Technology in Higher Education, 16(1), 39.
Zuboff, S. (2023). The age of surveillance capitalism. In Social theory rewired (pp. 203-213). Routledge.
URL-1: https://openai.com/chatgpt/ (E.T: 20.09.2026)
URL-2: https://gemini.google.com/app?hl=tr (E.T: 20.09.2026)
URL-3: https://www.microsoft.com/tr-tr/education/products/copilot-in-education (E.T: 20.09.2026)
URL-4: https://www.ibm.com/products/watsonx (E.T: 20.09.2026)
URL-5: https://www.khanmigo.ai (E.T: 20.09.2026)
URL-6: https://www.magicschool.ai (E.T: 20.09.2026)

FEN EĞİTİMİNDE OYUNLAŞTIRMA VE OYUN TEMELLİ ÖĞRENME

Gamze Yıldız*, Selin Yıldız**

GİRİŞ

Hızlı gelişim ve teknolojik ilerlemelerdeki artış, öğrencilerin öğrenme süreçlerini etkileyerek eğitim ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik yeni etkileşim biçimleri oluşturmaktadır (Cadiz vd., 2023). Fen bilimleri öğrencileri fen eğitimi kapsamı içerisinde pek çok farklı alanı incelemek durumundadır. Bu da, öğrencilerin farklı düşünce ve kavramları özümsemeyi ve bunları gerçek hayat durumlarına uyarlamayı zorlaştırabilmektedir. Buna bağlı olarak öğrenciler dersi sıkıcı bulduklarında öğrenmeye yönelik motivasyonları ve ilgileri azalabilmektedir. Dolayısıyla, öğrenciler motive olmadıklarında ve öğrenmeye olan ilgilerini yitirdiklerinde, sürece dahil olmaları ve dersi öğrenmeleri güçleşmektedir (Jufrida vd., 2019).

Bu nedenle günümüzde öğrenciyi öğrenme sürecinin merkezine alan, aktif öğrenmeyi daha etkileşimli hale getiren öğretim yaklaşımları ön plana çıkmıştır (Dzaiy ve Abdullah, 2024). Aktif öğrenme; öğrencilerin bilgiyi pasif bir şekilde almaları yerine, özgün etkinlikler ve düşünme süreçleri aracılığıyla öğrenme sürecine dahil oldukları herhangi bir öğretim yöntemi olarak tanımlanabilir (Martinez ve Gomez, 2025). Öğrenci merkezli bu stratejiler, öğrencileri ders sırasında bilgi yapılandırma ve yansıtma süreçlerine dahil etmeyi amaçlar. Yaygın aktif öğrenme teknikleri arasında simülasyonlar, oyunlar, işbirlikli grup çalışmaları, probleme dayalı öğrenme, tartışmalar ve öğrencilerin yalnızca ders dinlemek yerine kavramları uygulamalarını gerektiren diğer yöntemler yer alır. Aktif öğrenme pedagojisinin temel bileşenleri; öğrenci etkinliği ve analiz, değerlendirme ve oluşturma gibi bilişsel görevlere katılımıdır (Doolittle vd., 2023).

* Yüksek Lisans Öğr, Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Elazığ, gyildiz999@gmail.com, ORCID: orcid.org/0009-0005-8505-6920
** Dr. Öğr. Üye., Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Elazığ, slnylddz@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0001-8134-8643

Bu bağlamda, oyun temelli öğrenme yaklaşımı, eğitimde bir destek mekanizması olarak giderek daha fazla popülerlik kazanmaktadır (Arató ve Fridrich, 2026). Oyun temelli öğrenme ve oyunlaştırma yaklaşımı; öğrencilerin sınıf içi performansını artırma potansiyeli taşımasının yanı sıra, oyun süreci ile öğretim faaliyetleri arasında bir denge kurmakta ve öğrencilerin öğrendiklerini doğal bir ortamda uygulama imkanı sağlamaktadır (Mikrouli, vd., 2024). Ayrıca, oyun temelli eğitim, öğrenci merkezli öğretim yaklaşımları için öğrenme fırsatları sunabilmekte ve teknolojinin yanı sıra diğer araçlardan da yararlanan yaratıcı öğretim yöntemlerine olanak tanımaktadır (Bilous vd., 2025).

Fen eğitiminde oyunlaştırmanın uygulanması ve kullanımı, bilimsel düşüncenin gelişimini teşvik eder ve öğrenci katılımını artırır (Zourmpakis, vd., 2024). Fen eğitiminde oyunlaştırmanın benimsenmesi, geleneksel öğretim yöntemlerinin öğrencilerde derinlemesine katılımı ve içsel motivasyonu desteklemede her zaman yeterli olmadığının giderek daha fazla kabul görmesine bağlanabilir (Saputra vd., 2025). Fen eğitiminde oyunlaştırma; öğrencilerin aktif olarak katılabileceği, denemeler yapabileceği ve iş birliği içinde çalışabileceği sürükleyici öğrenme ortamları yaratarak alternatif bir yaklaşım sunmakta ve böylece öğrenme deneyimlerini zenginleştirmektedir (Hayes vd., 2023). Bu bağlamda fen eğitimine sanal laboratuvarların ve oyunlaştırılmış içeriklerin entegrasyonunun, öğrencilerin kavramsal anlayışları ve STEM alanındaki konuları öğrenmeye yönelik motivasyonları üzerinde olumlu etkiler yarattığını vurgulanmaktadır (Jiang ve Boulom, 2024). Güncel araştırmalar, öğrenci öğrenimini desteklemek amacıyla oyunlaştırma ve oyun temelli öğrenmenin eğitim aracı olarak kullanılmasının avantajlarını önemini ortaya koymuşlardır (Cárcar, 2026).

Oyun Temelli Öğrenme

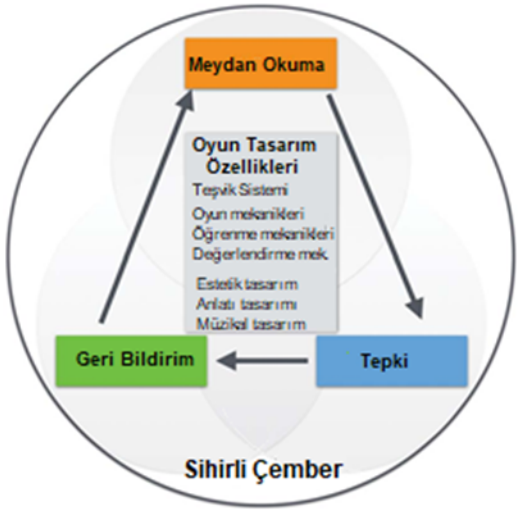
Oyun temelli öğrenme(OTÖ), oyunların öğretme ve öğrenme sürecinin merkezi bileşenleri olarak entegre edildiği bir öğretim yöntemi olarak ortaya çıkmıştır (Ding ve Yu, 2024). Geleneksel yönlendirmeli öğrenme yaklaşımlarının aksine, OTÖ, kurallar, hedefler, etkileşimler ve rekabet gibi oyun unsurlarını ve dinamiklerini birleştirerek öğrencileri eğitim faaliyetlerine dahil eder. Örneğin, MIT Eğitim Oyun Salonu, "The Radix Endeavor" gibi oyunların, öğrencileri sanal bir dünyada görevler ve zorluklarla meşgul ederek biyoloji ve matematik gibi karmaşık

konuları nasıl kavramalarına yardımcı olabileceğini göstermiştir (Lei vd., 2022)..

Oyun temelli öğrenmenin amacı, teorik bilgiyi oyun temelli öğrenme süreçleriyle birleştirmektir (Tuan vd., 2024). Oyun temelli öğrenme; öğrencilere zorlu konuları, öğrenme ortamlarını ve belirli öğrenme hedeflerini inceleme fırsatı sunar. Bu bağlamda, öğrencilerin sıkılmasını önlemek adına, oyunlar, oyun ortamı içindeki döngülerin tekrar edilebilmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca, başarılı bir eğitici oyun, bu tekrar süreçleri boyunca öğrencilerin istenen davranışları sergilemesini sağlamalıdır (Chen vd., 2018).

Oyun temelli bir öğrenme modelde tüm oyunların sahip olduğu temel yapıyı betimleyen tasarım Şekil 1' de verilmiştir. Bu yapı meydan okuma, tepki ve geri bildirim olarak üç temel unsurdan oluşur (Plass vd., 2015). Geri bildirim yeni bir meydan okuma oluşturduğunda veya oyuncuyu ilk meydan okumaya karşı farklı bir tepki vermeye yönelttiğinde bir döngü meydana gelir. Belirli bir oyunun tasarımına yön veren öğrenme teorisi; oyunun sunduğu meydan okuma türünde, olanak tanıdığı tepki biçimlerinde ve sağladığı geri bildirim türünde kendini gösterir. Örneğin, davranışçı bir oyun, oyuncunun tepki verebileceği sınırlı sayıda seçenek içeren bir meydan okuma sunar ve alınan geri bildirim, doğru/yanlış mesajı şeklinde düzeltici nitelikte olur (Plass vd., 2015).

Bu sihirli çember oyunu oyuncunun belirli kurallar, amaçlar ve etkileşimler çerçevesinde hareket ettiği oyunsal alanı temsil etmektedir. Bu alan içerisinde öğrenen, kendisine sunulan bir meydan okumayla karşılaşmakta, buna bir tepki/yanıt vermekte ve ardından yaptığı eylemin sonucuna ilişkin geri bildirim almaktadır. Geri bildirim sonucunda yeni bir meydan okumayla karşılaşılmasıyla süreç yeniden başlamaktadır. Sihirli çemberin öğrenme açısından en önemli noktası, öğrenenlerin yargılanma veya olumsuz sonuçlardan korkmadan hata yapabilecekleri ve bu hatalardan ders çıkarabilecekleri güvenli bir alan yaratmasıdır (Whitton, 2022).



Şekil 1. Oyun Temelli Öğrenme Modeli (Plass vd., 2015).

Oyunlar arasında bir değerlendirme ve analiz süreci ile öğrenme hedeflerinin gözden geçirilmesi gereklidir (Mozelius ve Hettiarachchi, 2017). Oyun sonrası yapılan bu değerlendirmelerde eğitmen, oyun ile gerçek dünya arasında bağlantılar kurabilir. Buna ek olarak süreç, oyun içi olaylar ile gerçek dünyadaki olaylar arasında bir bağ oluşturarak, öğrencilerin oyuna dair kavrayışlarını eğitim süreçleriyle ilişkilendirir (Wichaidit ve Wichaidit, 2024). Oyun yoluyla öğrenme programları; öğrencilerin eğitim süreçlerine aktif katılımını sağlamalı ve öğrendikleri bilgileri gerçek dünya durumları üzerinde düşünmelerine, kavramalarına ve uygulamalarına olanak tanımalıdır (Edu, 2026).)

Günümüzde, oyun tabanlı öğrenme(OTÖ), öğretmenlerin öğretimlerine entegre edebilecekleri çeşitli oyun tabanlı pedagojileri kapsayan genel bir terim olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Oyun yaparak öğrenme, öğrencileri yaratıcı süreçlere dahil ederken teknik becerilerini geliştirir ve aktif bilgi oluşturmayı teşvik eder. Öte yandan, eğitim oyunları kullanmak, yani oyun tabanlı öğrenme, eğitim içeriğini entegre etmek üzere önceden tasarlanmış oyunlarla yapılandırılmış oyun sağlayarak bilgi pekiştirmeye odaklanır (Nousiainen, vd., 2018). Bu bağlamda yapılan araştırmalarda öğrencilerin sınıfta oyun saatlerinin bulunması oyun tabanlı öğrenme ile olumlu algıların oluştuğu ve öğrenme performansının arttığı belirtilmiştir (Vázquez-Cano vd., 2023)

Oyunlaştırma

Oyunlaştırma veya oyunlaştırılmış tasarım terimi ilk olarak 2008 yılında Shirky ve Terrill tarafından ortaya atılmıştır (Deterding, (2015). Oyunlaştırma, oyun tasarım ilkelerinin, mekaniklerinin ve unsurlarının oyun dışı ortamlara stratejik olarak uygulanmasını ifade eder (Christopoulos ve Mystakidis, 2023). Genellikle dijital platformlar kullanılarak kolaylaştırılır ve sorunları çözmeyi, etkileşimi artırmayı ve bireyleri hedeflerine doğru motive etmeyi amaçlar. Bu teknik, oyunlaştırılmış ve etkileşimli bir deneyim yaratarak kullanıcılar arasında algılanan özerkliği, yetkinliği ve ilişkiyi geliştirir. Eğitim, iş, pazarlama ve hizmetler gibi alanlarda kökleri bulunan oyunlaştırma, kullanıcı deneyimini zenginleştirmeye ve çok çeşitli ortamlarda değer yaratmaya hizmet eden çok yönlü bir araçtır. Oyunlaştırmanın çeşitli sektörlerdeki yaygın etkisi, özellikle eğitimde, geleneksel etkileşim yöntemlerini farklı bir yaklaşıma dönüştürmüştür.

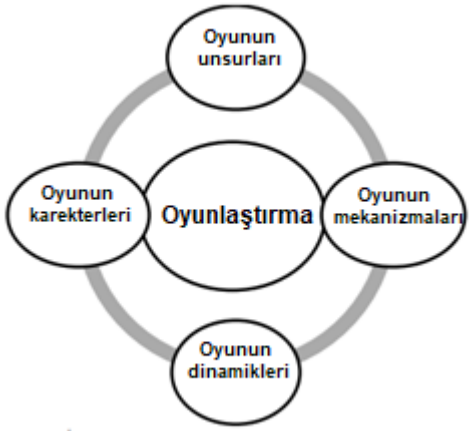
Oyunlaştırılmış öğrenme teorisinde, oyunlaştırma, Bedwell taksonomisi tarafından tanımlanan oyun özelliklerinin, öğrenmeyle ilgili davranışları veya tutumları etkileme amacıyla oyun bağlamı dışında kullanılması olarak da tanımlanır. Bu davranışlar/tutumlar, öğretim tasarımı kalitesi ile sonuçlar arasındaki ilişkiyi güçlendirerek ve/veya öğrenmeyi doğrudan etkileyerek öğrenmeye katkı sağlar (Landers, 2014).

Oyunlaştırma, aynı zamanda popüler bir motivasyon artırma yöntemidir (Deterding vd. 2011). Oyunlaştırılmış tasarımda, oyuncaklar ve oyunlar yer almaktadır. Oyuncaklar, oyun amaçlı kullanılabilen bağımsız nesnelerdir. Eğitimde oyunlar, oyun oynamayı öğrenmeyle birleştiren hedeflere, kurallara ve oyun mekaniklerine sahip karmaşık sistemler oluşturur (Christopoulos vd., 2023).

Eğitim ortamında, oyunlaştırmanın dönüştürücü etki potansiyeli, öğrenmeyi sadece eğlenceli hale getirmenin ötesine uzanmaktadır. Araştırmalar, iyi tasarlanmış oyunlaştırılmış ortamların, gelişmiş problem çözme becerileri, iş birliği becerileri ve zorluklar karşısında bilişsel ve duygusal fayda sağlayabileceğini öne sürmektedir (Serice, 2023). Ayrıca, oyunlaştırma, öğrencnin motivasyonda özellikle etkili olabilir ve böylece derse katılımda ve öğrenme kazanımlarına katkıda bulunabilir (Smiderle vd. 2020).

Eğitim sürecinde oyunlaştırma yönteminin kullanımı, hazırlanmış bir algoritmaya ve belirli faktörlerin birleşimine dayanmaktadır (Pishchanska

vd., 2022). Oyunlaştırma yönteminin bileşenleri Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Oyunlaştırma Yönteminin Bileşenleri (Pishchanska vd., 2022).

Buna göre, oyunlaştırma yönteminin temel bileşenleri; oyunun unsurları, mekanizmaları, dinamikleri ve karakterleri olarak ele alınabilir. Unsurlar; görevler, seviyeler, koşullar ve derecelendirmeler gibi oyunun organizasyonuna ait tüm bileşenleri ifade eder. Oyun mekanizmaları, oyunun gelişimini sağlayan ve buna bağlı olarak ilgili unsurların eklenip karakterlerin hareket ettiği belirli senaryo ve kurguları kapsar. Oyun dinamikleri, oyun sırasında öğrencilerin içinde bulundukları duygusal durumdan sorumludur; bu dinamikler, öğrenmeye yönelik bilişsel ilgiyi uyandırma ve bu ilgiyi uygun düzeyde tutma konusunda belirleyici bir faktördür. Karakterler, kendilerine atanan rollere göre dağılım gösteren oyun katılımcılarıdır (Willig vd., 2021).

Oyunlaştırma ile Oyun Temelli Öğrenme Arasındaki Fark

Oyunlaştırma ile oyun temelli öğrenme kavramları sıklıkla birbirinin yerine kullanılmasına rağmen aralarında farklılıklar bulunmaktadır (Arató ve Fridrich, 2026). Oyunlaştırma, tüm öğrenme sürecini ele alıp onu bir oyuna dönüştürür. Bunu gerçekleştirmek için öğretim tasarımcıları, bir deneyimi oyunsu kılan dijital nesneler ve unsurlar olan oyun tasarım öğelerini kullanırlar. Oyun tabanlı öğrenme süreçlerinde ise söz konusu oyun mekaniklerini, unsurlarını ve düşünce yapısını kullanır. Aradaki fark olarak oyun tabanlı öğrenmede, konuyla ilgili tek bir öğrenme hedefi bir oyuna dönüştürülürken; oyunlaştırmada, öğrenme sürecinin tamamı alınıp bir oyuna dönüştürülmektedir. Dolayısıyla bir

fen bilgisi öğretmeninin öğrencileriyle kimyasal bağlar üzerine bir masa oyunu oynaması oyun temelli öğrenmeye; ders boyunca tamamlanan görevler için puan, rozet ve seviyeler kullanması ise oyunlaştırmaya örnek olarak verilebilir.

Bu bağlamda, oyun tabanlı öğrenme(OTÖ), oyunun kendisinin öğrenme hedeflerini içerdiği ve eğitimsel amaçların doğrudan oyun mekaniğine ve anlatısına entegre edildiği öğrenme süreçlerini ifade etmektedir. Burada, vurgu, müfredat ve oyun oynama arasındaki sinerjiye, öğrencilerin aktif katılımına ve geri bildirim mekanizmalarının kalitesine odaklanılmaktadır (Plass vd., 2015). Oyunlaştırma ise tam olarak oyunlara dayanmaz, bunun yerine puan sistemleri, liderlik tabloları ve zorluklar gibi oyunların motivasyonel unsurlarını eğitim ortamlarına entegre eder (Ukgoda, 2025).

Oyunlaştırma ve oyun tabanlı öğrenme arasındaki farkların daha iyi anlaşılması adına oyunlaştırma ile oyun temelli öğrenmenin karşılaştırmalı analizi Tablo 1'de verilmiştir (Al-Azawi vd., 2016). Burada karşılaştırmalar kavram, amaç, zorluk, teknikler, faydalar, ödüller, seviyeler ve örnekler bazında detaylandırılmıştır.

Tabloda yer alan karşılaştırma, eğitimde oyunlaştırma ile oyun tabanlı öğrenmenin ortak bir biçimde oyunlardan ve oyun tasarımından yararlanmasına rağmen, amaç ve uygulama biçimleri bakımından birbirinden ayrıldığını göstermektedir. Oyunlaştırma, oyun olmayan bir eğitim ortamına puan, seviye, avatar, ödül, rekabet ve ilerleme gibi oyun unsurlarının eklenmesi yoluyla öğrencilerin motivasyonunu, katılımını ve öğrenme sürecindeki davranışlarını desteklemeyi amaçlamaktadır (Ukgoda, 2025). Oyun tabanlı öğrenmede ise oyun, yalnızca destekleyici bir unsur değil, öğrenme deneyiminin temel bileşenlerinden biridir. Öğrenciler öğrenme hedeflerine oyun içerisindeki görevleri yerine getirerek, problemleri çözerek, kararlar alarak ve geri bildirimlerden yararlanarak ulaşmaktadır (Weng vd., 2025).

Tablo 1. Oyunlaştırma ile Oyun Temelli Öğrenmenin Karşılaştırmalı Analiz Tablosu (Al-Azawi vd., 2016).

Parametre	*Eğitimde oyunlaştırma*	*Oyun tabanlı öğrenme*
Kavram	Oyunlaştırma, oyun dışı bir duruma oyun unsurları ekleme fikridir. Bu yöntem, kullanıcıları belirli davranışları sergiledikleri için ödüllendirir.	Öğrenme deneyimini zenginleştirmek amacıyla oyunlardan yararlanılır.
Amaç	Oyundan hareketle motivasyon sağlamak	Oyunda başarıya ulaşmak Öğrencileri motive etmek
Zorluk	Zorluklara yaklaşmanın yeni bir yolunu aramak	Zorluklar oyunun bir parçasıdır; çözülmeleri gerekir.
Teknikler	1. Farklı seviyelere ilerleme 2. Puanlar 3. Avatarlar 4. Sanal para birimleri 5. Arkadaşlarla rekabet	1. Motivasyon 2. İlgili uygulama 3. Belirli zamanlama 4. Hikaye, duygusal 5. Oyun hedefleri
Ödüller	Deneyim puanı kazanma ve seviye atlama	İçsel ödüller; Kaybetmek söz konusu olabilir veya olmayabilir; çünkü asıl amaç, insanları harekete geçmeye ve öğrenmeye teşvik etmektir.
Seviyeler	Daha kolay	Daha zor
Örnekler	Joanne Chen, Nick Russell Lifesaver, Bob Kaart, Ashi Tandon, Christina Stephenson, Alphonso Hendricks	World of Warcraft, SimCity, Minecraft, Portal, Civilization

Fen Eğitiminde Oyunlaştırma Stratejileri

Fen eğitiminde etkili oyunlaştırma stratejileri genel olarak; her biri öğrencileri kendine özgü yollarla motive eden

1. Puan sistemleri,
2. Liderlik tabloları,
3. Dijital rozetleri

kullanımını içerir (Wijaya vd.,2024).

Puan sistemleri, öğrencilerin ödevleri tamamlama, tartışmalara katılma veya belirli öğrenme aşamalarına ulaşma karşılığında puan kazanmalarına olanak tanır (Balci vd.,2022). Bu yaklaşım sadece aktif katılımı teşvik etmekle kalmayıp, aynı zamanda öğrenciler arasında rekabet duygusunu da geliştirir; bu özellikle motive edici bir unsur olabilir. Yapılan araştırmalar, oyunlaştırılmış puan sistemini içerisinde yer alan öğrencilerin daha yüksek düzeyde memnuniyet ve motivasyon bildirdiklerini ve bunun da akademik performansın artmasını sağladığını ortaya koymuştur (Li vd., (2024).

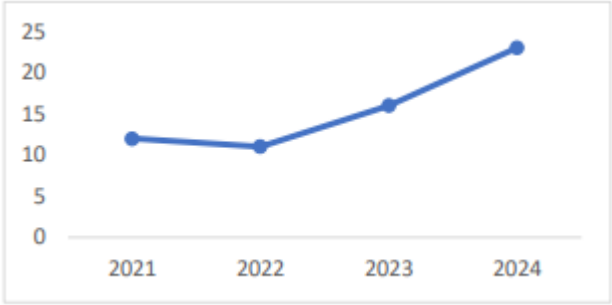
Liderlik tabloları, öğrencilerin kaydettiği ilerlemenin görsel bir sunum işlevini görerek, onları üstün başarı göstermeye teşvik edebilecek rekabetçi bir ortam yaratır. Fen bilgisi dersinde yürütülen çalışmalarda, liderlik tablosu uygulamasının, grup etkinlikleri sırasındaki öğrenci katılımında bir artış sağladığı görülmüştür. Bu rekabet unsuru, öğrencilerin genellikle karmaşık kavramları kavramakta zorlandığı fen bilimleri öğreniminde özellikle etkili olabilir. Liderlik tabloları, başarıya dair net bir ölçüt sunarak öğrencileri kendilerini geliştirmeye ve konuya tam anlamıyla hakim olmaya çabalamaları yönünde motive edebilir (Wu, ve Hou, 2026).

Dijital rozetler, başarıları takdir eden bir diğer güçlü oyunlaştırma aracıdır. Bu rozetler; belirli bir konuda uzmanlaşmak veya laboratuvar ortamında üstün bir ekip çalışması sergilemek gibi çeşitli başarıların karşılığında alınabilir. Araştırmalar, dijital rozetlerin içerdiği beceri ve bilgilere dair somut kanıtlar sunarak onların öz yeterliliklerini ve motivasyonlarını artırabileceğini göstermektedir (Funa, 2024).

Fen Eğitiminde Oyun Temelli Öğrenme ve Uygulamaları

Fen eğitiminde oyun temelli öğrenme(OTÖ), öğrencilerin öğrenme sürecinde ilgilerini, motivasyonunu ve katılımını artırabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda OTÖ uygulamalarına ilişkin araştırma eğilimleri hızla artmıştır. Şekil 3' de oyun temelli öğrenme konusunda Scopus veri tabanından elde edilen ve 2021 ile 2024 yılları arasında yayımlanmış

çalışmalardan OTÖ araştırmalarına yönelik eğilimin her geçen yıl artış göstermekte olduğu görülmüştür (Haryandi vd., 2025). Bu durum, eğitimin çeşitli kademelerinde fen öğretiminin etkililiğini artırmada yenilikçi öğrenme yaklaşımlarının önemine dair artan farkındalığı yansıtmaktadır.



Şekil 3. Fen Eğitiminde Oyun Temelli Öğrenme Konusundaki Makaleler (Haryandi vd., 2025).

Bu çalışmalardaki temel bulgular OTÖ' nün fen bilimleri bağlamında öğrencilerin öğrenme çıktılarını iyileştirebileceğini ve eğitimcilerin benimseyebileceği etkili öğrenme stratejilerine dair önemli ipuçları sağladığını göstermektedir.

Bu bağlamda, fen eğitiminde oyun temelli öğrenmede kullanılabilecek uygulamalar yalnızca bilgisayar oyunlarıyla sınırlı değildir (Othman ve Ching, 2024). Oyun temelli öğrenme kapsamında

1. Masa oyunları,
2. Kart oyunları,
3. Dijital oyunlar,
4. Sanal laboratuvarlar
5. Kaçış odaları

gibi uygulamalar bu kapsamda değerlendirilebilir.

Masa oyunları, geleneksel olarak yalnızca eğlence amaçlı aktiviteler olma rollerini aşarak ve hem fiziksel hem de dijital formatlarda daha ilgi çekici ve etkili bir öğrenme ortamı sağlayarak fen eğitimini geliştirme konusunda umut vadeden bir araç olarak ortaya çıkmıştır (Lin ve Hou, 2024). Öğrenme unsurları olarak kullanılan oyunların doğasında var olan eğlence ve rekabetçi yapısıyla sorunsuz bir şekilde entegre etme

kapasiteleri, daha fazla bir katılımı teşvik ederek onları fen eğitimini ideal hale getirmektedir. Bu bağlamda kağıt tabanlı masa oyunları ve bilgisayarlı masa oyunları, geleneksel öğretim yöntemlerini tamamlayabilir ve fen öğreniminde yaygın olan motivasyon sorununu ele alabilir (Othman ve Ching, 2024). Fen eğitiminde masa oyunlarından yararlanmanın önemli bir nedeni, bilimsel okuryazarlık için temel bir beceri olan işbirlikçi öğrenmeyi teşvik etme potansiyelleridir (Hashim vd., 2023). Fen eğitimi, işbirlikçi araştırma, problem çözme ve etkili iletişim bilimsel okuryazarlığın temel bileşenleri olduğundan, doğası gereği ekip çalışmasından kazanç sağlanır (Cheng vd., 2024). Masa oyunları genellikle oyuncuların ortak bir hedefe ulaşmak için birlikte çalışmasını, stratejiler üzerinde anlaşmasını ve bilgi paylaşmasını gerektirir. Bu da masa oyunlarının eleştirel fen öğrenme becerilerini geliştirmek için önemli araç olabileceğini göstermektedir.

Kart oyunları etkileşime ve rekabetçi bir puan sistemine sahiptir. Kart etkinlikleri ilgi çekici ve destekleyici bir öğrenme ortamı yaratır. Her bileşen belirli amaçlara hizmet eder: kart oyunları akran etkileşimini ve kendi kendine öğrenmeyi kolaylaştırır; slaytlar bağlam ve odak sağlar (Wu ve Hou, 2026). Kartların problem tabanlı oyunların motivasyonu artırmada, aktif katılımı teşvik etmede ve kaygıyı azaltan işbirlikçi öğrenme ortamları oluşturmada etkili olduklarını görülmüştür (Madariaga vd., 2023). Ayrıca, araştırmalar kartlar, tahtalarla oynanan oyunların hesaplamalı düşünme becerileri üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir (Chen vd., 2023).

Dijital oyunların öğrencilerin motivasyonunu artırma ve öğrenmelerini ilgi çekici ve eğlenceli bir şekilde kolaylaştırma yeteneği, fen eğitimi konusunda dikkati çekmektedir (Li ve Tsai, 2013). Araştırmacılar, geleneksel fen öğretiminin ezberlemeye dayalı olduğunda dezavantajlar olarak, öğrencilerin fen bilimlerine olan ilgisinin ve öğrenme isteğinin azalma olasılığını belirtmişlerdir (Laid ve Adlaon, 2025). Bu bağlamda fen konularında mevcut problemleri çözmek için, dijital oyunlar oynayarak öğrenme, fen eğitimini uygulamaya yönelik umut vadeden bir yaklaşım olarak savunulmuştur. Fen öğrenimi için oluşturulmuş bir dizi eğitim oyunu öğrencilerin verilen görevleri tamamlayarak bilimsel bilgi ve araştırma becerileri öğrendikleri üç boyutlu çok kullanıcılı sanal oyun dünyaları sunmaktadır (Hussein vd., 2025).

Sanal laboratuvarlar, öğrenme sürecini iyileştirmek amacıyla pedagojik nedenlerle kullanılmaktadır. Bu, laboratuvarların öğrenme ve eğitim arasında bir köprü işlevi gördüğünü göstermektedir. Bu bağlamda, sanal laboratuvarlar etkileşimli öğrenme ve bireysel bazda eğitim açısından avantajlar sağlamaktadır (Kashaka, 2024). Sanal laboratuvarların eğitim uygulamaları öğretmen rolündeki değişimlerden ve deneysel sorgulama öğretimine yönelik yeni olanaklardan, öğrencilerin hem bilimsel okuryazarlık hem de belirli kavramsal yetkinliklerinin gelişimini destekleyen iyileştirilmiş öğrenme fırsatlarına kadar çok çeşitli faydalar sağlamaktadır. Genel öğrenme sürecindeki değişimler ele alındığında, sanal deneylerin uygulamaya konulmasının öğrencilerin öz-yeterlilik algısını güçlendirdiği ve öğrenmeye yönelik daha öz-düzenlemeli bir yaklaşımı teşvik ettiği ortaya konmuştur. Sanal laboratuvarlar, eğitimcilere hem açık hem de örgün öğretim için geliştirilmiş fırsatlar sunar. Bu durum, deney yapmaya değer veren ve böylece bilgi edinme sürecinde güvenilirliğin artmasını sağlayan, açık fikirli bir sorgulama tutumunu teşvik eder (Reyes vd., 2024).

Bu bağlamda, sanal laboratuvarlar, fen eğitiminde önemli bir yenilik olarak ortaya çıkmış, öğrenme deneyimlerini zenginleştirmiş, kavramsal anlayışı derinleştirmiş ve deneylere daha esnek ve güvenli erişim sağlamıştır. Yapılan çalışmalar, sanal laboratuvarların kavramsal anlayış, laboratuvar becerileri, bilimsel okuryazarlık, sorgulama yeteneği, analitik düşünme ve bilişsel performansta iyileşmeleri desteklediği ve eleştirel düşünme becerilerini güçlendirmeye katkıda bulunduğunu göstermiştir (Meronda vd., 2025). Sanal laboratuvarlar, bunun yanı sıra öğrencilerin fen eğitimine yönelik olumlu tutum geliştirmelerini sağlar (Demiray Arı, vd., 2025).

Fen eğitiminde giderek popülerleşen eğitici oyunlardan biri de kaçış oyunudur (Yachin ve Barak, 2024). Bu takım tabanlı oyunda, oyuncular sınırlı bir süre içinde ortak bir hedefe ulaşmak için görevleri tamamlar ve işleri yerine getirirler. Görevler ve işler, bilişselden fiziksel aktivitelere kadar değişen bulmacalar olarak adlandırılır. Kaçış oyunları, oyuncuları içine çeken ve bulmacaları çözmeye motive eden ilginç bir temaya ve ilgi çekici bir hikayeye sahiptir (Veldkamp vd., 2020).

Çalışmalar, oyun temelli öğrenme uygulamalarının öğrenci performansı açısından geleneksel yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır (Wang ve Zheng, 2021). Ayrıca, bu

uygulamalar özerklik, ilişki ve yeterlilik olarak üç temel psikolojik ihtiyacı karşılayarak içsel motivasyonu teşvik etmekte ve çevrimiçi öğrenme ortamlarında içerik etkileşimi yoluyla öğrenci başarısını arttırmaktadır (Qiao, vd., 2023).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Oyunlaştırma ve oyun temelli öğrenme uygulaması, öğrencilerin derslere motivasyonu ve katılımı üzerindeki etkisini iyileştirmek amacıyla son yıllarda yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmuştur Literatürde bu yöntemin uygulandığı ortamlarda öğrenci katılımının ve başarısının arttığını ve öğretmenlere de daha fazla destek sağlayabildiğini göstermiştir (Chans vd., 2021). Oyunlaştırma ve oyun temelli öğrenme yöntemi öğrenci motivasyonunu desteklemek adına umut verici bir araç olabileceği ortaya koyulurken; fen eğitimi alanında yapılan çalışmalar da fen derslerinde oyun unsurların kullanılmasının öğrencilerin derse olan ilgisini ve katılımını artırdığını göstermiştir (Wijaya vd., 2024).

Oyunlaştırma ve oyun temelli öğrenme öğrencilerde fen eğitimi üzerindeki olumlu etkilerinin yanında, eğitimcileri geleneksel pedagojik uygulamaları yeniden değerlendirmeye ve öğretme-öğrenme süreçlerinde yenilikçi yaklaşımları benimsemeye teşvik etmektedir (Ríos-Muñoz vd., 2025). Bu bağlamda fen eğitiminde uygulamalı keşif ve deney süreçleri kolaylaştırılarak elde edilen kazanımlar eğitimdeki yapılandırmacılık ve kişiselleştirilmiş öğrenme gibi temel ilkelerle örtüşmektedir. Ayrıca oyunlaştırmanın işbirlikçi ve kapsayıcı yapısı, akran işbirliği aracılığıyla sosyal etkileşimi ve bilgi yapılandırmayı desteklemektedir (Zairon vd., 2025). Ayrıca oyun temelli öğrenme öğrencilerin çeşitlilik gösteren ihtiyaçlarını karşılayan özelleştirilmiş deneyimler sunarak, kişiselleştirilmiş ve uyarlanabilir öğrenme yaklaşımlarına yönelik eğilime iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Teknolojinin hızlı ilerlemesi, oyun tabanlı öğrenmenin fen eğitimdeki potansiyelini ve uygulamasını sürekli olarak yeniden şekillendirerek, oyunlaşmanın stratejilerinin ve araçlarının sürekli olarak güncellenmesini gerektirmektedir (Fante vd., 2024). Böylece, gelişmiş teknolojilerden yararlanarak, oyunlaştırma ve oyun temelli öğrenme uygulamaları daha dinamik ve etkileşimli ortamlar sağlayabilir ve geleneksel eğitim ortamlarını daha etkili ve ilgi çekici öğrenme alanlarına dönüştürebilir.

Bu bağlamda, fen eğitiminde oyunlaştırmanın ve oyun temelli öğrenmenin etkisini daha da net olarak ortaya koymak için fen eğitiminin

tüm alanlarında daha fazla çalışma yapılması önem taşımaktadır (Kalogiannakis vd., 2021; Yıldız ve Zengin, 2021). Böylece, fen eğitiminde oyunlaştırmada oyun unsurlarının öğrencilerdeki motivasyon ve öğrenmeyle ilgili davranışları üzerindeki etkileri daha net olarak ortaya koyulmuş olacaktır.

KAYNAKÇA

Al-Azawi, R., Al-Faliti, F., and Al-Blushi, M. (2016). Educational gamification vs. game-based learning: Comparative study. *International Journal of Innovation, Management and Technology, 7*(4), 132–136. https://doi.org/10.18178/ijimt.2016.7.4.659

Arató, F., and Fridrich, M. (2026). Game, play, and learning: An analytical framework for differentiating game-based approaches from an educational perspective. *Technology, Knowledge and Learning*. https://doi.org/10.1007/s10758-026-09980-9

Balci, S., Secaur, J. M., and Morris, B. J. (2022). Comparing the effectiveness of badges and leaderboards on academic performance and motivation of students in fully versus partially gamified online physics classes. *Education and Information Technologies, 27*(6), 8669–8704. https://doi.org/10.1007/s10639-022-10983-z

Bilous, I., Shcherbiak, I., Maslak, V., Alnsour, R. A., Jarmoch, E. Z., and Hubková, S. (2025). Game-based technologies as a tool for developing communicative competence in primary school students within a student-centered educational context. *Journal of Education Culture and Society, 16*(2), 585–603. https://doi.org/10.15503/jecs2025.3.585.606

Cadiz, G. S., Lacre, G. J. R., Delamente, R. L., and Diquito, T. J. A. (2023). Game-based learning approach in science education: A meta-analysis. *International Journal of Social Science and Human Research, 6*(3), 1856–1865. https://doi.org/10.47191/ijsshr/v6-i3-61

Cárcar, M. F. (2026). Clarifying the methodological differences between gamification and game based learning. *Discover Education*. https://doi.org/10.1007/s44217-026-01878-z

Chans, G. M., and Portuguez Castro, M. (2021). Gamification as a strategy to increase motivation and engagement in higher education chemistry students. *Computers, 10*(10), 132. https://doi.org/10.3390/computers10100132

Chen, C. H., Liu, J. H., and Shou, W. C. (2018). How competition in a game-based science learning environment influences students' learning achievement, flow experience, and learning behavioral patterns. *Journal of Educational Technology & Society, 21*(2), 164–176. https://www.jstor.org/stable/26388392

Chen, Y. C., Hou, H. T., and Wu, C. H. (2023). Design and development of a scaffolding-based mindtool for gamified learning classrooms. *Journal of Educational Computing Research, 61*(1), 3–29. https://doi.org/10.1177/07356331221101081

Cheng, S. C., Hwang, G. J., and Chen, C. H. (2024). Fostering students' scientific literacy by reflective questioning: An identification, summarization, self-reflective questioning, and application (ISSA)-based flipped learning approach. *Education and Information Technologies, 29*(6), 7081–7104. https://doi.org/10.1007/s10639-023-12121-9

Christopoulos, A., and Mystakidis, S. (2023). Gamification in education. *Encyclopedia, 3*(4), 1223–1243. https://doi.org/10.3390/encyclopedia3040089

Christopoulos, A., Mystakidis, S., Cachafeiro, E., and Laakso, M.-J. (2023). Escaping the cell: Virtual reality escape rooms in biology education. *Behaviour & Information Technology, 42*(9), 1434–1451. https://doi.org/10.1080/0144929X.2022.2079560

Demiray Arı, Ş. N.., Yıldız, S., ve Zengin, F. K. (2025). Sanal deneylerin ortaokul 5. sınıf öğrencilerinin fene yönelik tutumlarına etkisi. *The Journal of International Educational Sciences, 12*(44), 350–364. https://doi.org/10.29228/INESJOURNAL.869

Deterding, S. (2015). The ambiguity of games: Histories and discourses of a gameful world. In S. P. Walz and S. Deterding (Eds.), *The gameful world: Approaches, issues, applications* (pp. 23–64). The MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/9788.003.0004

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., and Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification." *In Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (pp. 9–15). ACM. https://doi.org/10.1145/2181037.2181040

Ding, A. C. E., and Yu, C. H. (2024). Serious game-based learning and learning by making games: Types of game-based pedagogies and student gaming hours impact students' science learning outcomes. *Computers & Education, 218*, 105075. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105075

Doolittle, P., Wojdak, K., and Walters, A. (2023). Defining active learning: A restricted systematic review. *Teaching & Learning Inquiry, 11*. https://doi.org/10.20343/teachlearninqu.11.25

Dzaiy, A. H. S., and Abdullah, S. A. (2024). The use of active learning strategies to foster effective teaching in higher education institutions. *Zanco Journal of Human Sciences, 28*(4), 328–351. https://doi.org/10.21271/zjhs.28.4.18

Edu, K. (2026). Effects and challenges of play-based learning on learner engagement and classroom participation. *Divine Word International Journal of Management and Humanities, 5*(3), 4266–4280. https://doi.org/10.62025/dwijmh.v5i3.427

Fante, C., Ravicchio, F., and Manganello, F. (2024). Navigating the evolution of game-based educational approaches in secondary STEM education: A decade of innovations and challenges. *Education Sciences, 14*(6), 662. https://doi.org/10.3390/educsci14060662

Funa, A. (2024). Digital badges as rewards in science education: Students' perceptions and experiences. *Dalat University Journal of Science, 14*(2). https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.14.2.1212(2024)

Haryandi, S., Misbah, M., Arlinda, R., Harto, M., Muhammad, N., and Qamariah, Q. (2025). Game-based learning in science education: Bibliometric analysis. *Online Learning in Educational Research, 5*(1), 113–128. https://doi.org/10.58524/oler.v5i1.626

Hashim, N. H., Harun, N. O., Ariffin, N. A., and Abdullah, N. A. C. (2023). Gamification using board game approach in science education—A systematic review. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 33*(3), 73–85. https://doi.org/10.37934/araset.33.3.7385

Hayes, D., Symonds, J. E., and Harwell, T. A. (2023). Preventing pollution: A scoping review of immersive learning environments and gamified systems for children and young people. *Journal of Research on Technology in Education, 55*(6), 1061–1079. https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2107589

Hussein, M. H., Sulaiman, N. L., Noroozi, O., Elaish, M. M., and Alhasan, A. (2025). Value-added digital game-based learning in K-12 science education: A systematic literature review. *Interactive Learning Environments, 33*(5), 3282–3316. https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2450652

Jiang, S., and Boulom, T. (2024). An interactive science lab game to help students learn more about science using Unity. *Computer Science & Information Technology, 14*(5), 207–215. https://doi.org/10.5121/csit.2024.140518

Jufrida, J., Kurniawan, W., Astalini, A., Darmaji, D., Kurniawan, D. A., and Maya, W. A. (2019). Students' attitude and motivation in mathematical physics. *International Journal of Evaluation and Research in Education, 8*(3), 401–408. https://doi.org/10.11591/ijere.v8i3.20253

Kalogiannakis, M., Papadakis, S., and Zourmpakis, A. I. (2021). Gamification in science education: A systematic review of the literature. *Education Sciences, 11*(1), 22. https://doi.org/10.3390/educsci11010022

Kashaka, N. D. (2024). Virtual laboratories in science education: Benefits and challenges. *Eurasian Experiment Journal of Scientific and Applied Research, 5*(2), 21–25. https://www.researchgate.net/publication/383551630_Virtual_Laboratories_in_Science_Education_Benefits_and_Challenges

Laid, S. M. T., and Adlaon, M. S. (2025). A systematic review of innovative teaching strategies in science: Exploring hands-on learning, technology integration, and student-centered

approaches. *Acta Pedagogia Asiana, 4*(2), 101–114. https://doi.org/10.53623/apga.v4i2.645

Landers, R. N. (2014). Developing a theory of gamified learning: Linking serious games and gamification of learning. *Simulation & Gaming, 45*(6), 752–768. https://doi.org/10.1177/1046878114563660

Lei, H., Chiu, M. M., Wang, D., Wang, C., and Xie, T. (2022). Effects of game-based learning on students' achievement in science: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research, 60*(6), 1373–1398. https://doi.org/10.1177/07356331211064543

Li, C., Liang, L., Fryer, L. K., and Shum, A. (2024). The use of leaderboards in education: A systematic review of empirical evidence in higher education. *Journal of Computer Assisted Learning, 40*(6), 3406–3442. https://doi.org/10.1111/jcal.13077

Li, M.C., and Tsai, C.C. (2013). Game-based learning in science education: A review of relevant research. *Journal of Science Education and Technology, 22*(6), 877–898. https://doi.org/10.1007/s10956-013-9436-x

Lin, Y.-C., and Hou, H.T. (2024). The evaluation of a scaffolding-based augmented reality educational board game with competition-oriented and collaboration-oriented mechanisms: Differences analysis of learning effectiveness, motivation, flow, and anxiety. *Interactive Learning Environments, 32*(2), 502–521. https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2091606

Madariaga, L., Allendes, C., Nussbaum, M., Barrios, G., and Acevedo, N. (2023). Offline and online user experience of gamified robotics for introducing computational thinking: Comparing engagement, game mechanics and coding motivation. *Computers & Education, 193*, 104664. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104664

Martinez, M. E., and Gomez, V. (2025). Active learning strategies: A mini review of evidence-based approaches. *Acta Pedagogia Asiana, 4*(1), 43–54. https://doi.org/10.53623/apga.v4i1.555

Meronda, D. A., Widarti, H. R., and Yahmin, Y. (2025). Virtual laboratories in science education: A systematic review of effectiveness on conceptual understanding and learning outcomes. *Jurnal Pendidikan MIPA, 26*(3), 2020–2042. https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp2020-2042

Mikrouli, P., Tzafilkou, K., and Protogeros, N. (2024). Applications and learning outcomes of game-based learning in education. *International Educational Review, 2*(1), 25–54. https://doi.org/10.58693/ier.212

Mozelius, P., and Hettiarachchi, E. (2017). Critical factors for implementing blended learning in higher education. *International Journal of Information and Communication Technologies in Education, 6*(2), 37–51. https://doi.org/10.1515/ijicte-2017-0010

Nousiainen, T., Kangas, M., Rikala, J., and Vesisenaho, M. (2018). Teacher competencies in game-based pedagogy. *Teaching and Teacher Education, 74*, 85–97. https://doi.org/10.1016/j.tate.2018.04.012

Othman, M. K., and Ching, S. K. (2024). Gamifying science education: How board games enhances engagement, motivate and develop social interaction, and learning. *Education and Information Technologies, 29*(18), 24525–24561. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12818-5

Pishchanska, V., Altukhova, A., Prusak, Y., Kovmir, N., and Honcharov, A. (2022). Gamification of education: Innovative forms of teaching and education in culture and art. *Revista Eduweb, 16*(2), 119–133. https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2022.16.02.8

Plass, J. L., Homer, B. D., and Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational Psychologist, 50*(4), 258–283. https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533

Qiao, S., Yeung, S. S. S., Zainuddin, Z., Ng, D. T. K., and Chu, S. K. W. (2023). Examining the effects of mixed and non-digital gamification on students' learning performance,

cognitive engagement and course satisfaction. *British Journal of Educational Technology, 54*(1), 394–413. https://doi.org/10.1111/bjet.13249

Reyes, R. L., Isleta, K. P., Regala, J. D., and Bialba, D. M. R. (2024). Enhancing experiential science learning with virtual labs: A narrative account of merits, challenges, and implementation strategies. *Journal of Computer Assisted Learning, 40*(6), 3167–3186. https://doi.org/10.1111/jcal.13061

Ríos-Muñoz, G. R., Fuster-Barcelo, C., and Muñoz-Barrutia, A. (2025). *The impact of gamification on learning outcomes: Experiences from a Biomedical Engineering course* [Preprint]. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.06126

Saputra, A., Hijriyah, U., Romlah, L. S., Susanti, A., Sunarto, and Shabira, Q. (2025). Trends and developments in gamification for science education: A bibliometric review from 2019 to 2023. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 11*(1), 30–44. https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i1.10169

Serice, L. (2023). Prisms of neuroscience: Frameworks for thinking about educational gamification. *AI, Computer Science and Robotics Technology, 2023*(2), 1–30. https://doi.org/10.5772/acrt.13

Smiderle, R., Rigo, S. J., Marques, L. B., Peçanha de Miranda Coelho, J. A., and Jaques, P. A. (2020). The impact of gamification on students' learning, engagement and behavior based on their personality traits. *Smart Learning Environments, 7*, Article 3. https://doi.org/10.1186/s40561-019-0098-x

Tuan, P. T., Phuong, N. T. H., and Nam, N. T. (2024). Engaging students in the learning process with game-based learning. *International Journal of English Language Studies, 6*(1), 54–60. https://doi.org/10.32996/ijels.2024.6.1.5

Ukgoda, H. (2025). Gamification in education: Its impact on engagement, motivation, and learning outcomes. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE), 18*(3), 41–66. https://doi.org/10.18785/jetde.1803.03

Vázquez-Cano, E., Ramírez-Hurtado, J. M., Díez-Arcón, P., and Pascual-Moscoso, C. (2023). Academic and social behaviour profile of the primary school students who possess and play video games. *Child Indicators Research, 16*, 227–245. https://doi.org/10.1007/s12187-022-09975-9

Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M. C. P. J., and van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review, 31*, Article 100364. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364

Wang, M., and Zheng, X. (2021). Using game-based learning to support learning science: A study with middle school students. *The Asia-Pacific Education Researcher, 30*(2), 167–176. https://doi.org/10.1007/s40299-020-00523-z

Weng, X., Ye, H., Dai, Y., and Ng, O. L. (2024). Integrating artificial intelligence and computational thinking in educational contexts: A systematic review of instructional design and student learning outcomes. *Journal of Educational Computing Research, 62*(6), 1640–1670. https://doi.org/10.1177/07356331241248686

Whitton, N. (2022). Games, play, and playfulness. In *Play and learning in adulthood: Reimagining pedagogy and the politics of education* (pp. 21–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-13975-8_2

Wichaidit, S., and Wichaidit, P. R. (2024). Beyond play: The interplay of analogy and enjoyment in game-based learning. *Journal of Pedagogical Research, 8*(2), 276–295. https://doi.org/10.33902/JPR.202425578

Wijaya, G. A., Tantowi, A. Z., Nurizzah, E. (2024). The effectiveness of gamification in enhancing student engagement in science learning. *International Journal of Mathematics and Science Education, 1*(2), 33–37. https://doi.org/10.62951/ijmse.v1i2.90

Willig, J. H., Croker, J., McCormick, L., Nabavi, M., Walker, J., Wingo, N. P., Roche, C. C., Jones, C., Hartmann, K. E., and Redden, D. (2021). Gamification and education: A pragmatic approach with two examples of implementation. *Journal of Clinical and Translational Science, 5*(1), e181. https://doi.org/10.1017/cts.2021.806

Wu, C. H., and Hou, H. T. (2026). A gamified science classroom model: Learning process analysis of a scaffolding-based gamified teaching model using card games, slides and learning sheets. *Research in Science & Technological Education*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/02635143.2025.2611963

Yachin, T., and Barak, M. (2024). Science-based educational escape games: A game design methodology. *Research in Science Education, 54*(2), 299–313. https://doi.org/10.1007/s11165-023-10143-4

Yıldız, S., ve Zengin, R. (2021). Dijital ve sınıf içi eğitsel oyunlarla gerçekleştirilen fen eğitiminin okul öncesi öğrencilerinin bilişsel gelişim düzeylerine etkisi. *Ekev Akademi Dergisi*, (86), 497–512.

Zairon, I. Y., Wook, T. S. M. T., Salleh, S. M., and Dahlan, H. A. (2025). Adaptive gamification in collaborative virtual classroom: A systematic review. *PeerJ Computer Science, 11*, e3146. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.3146

Zourmpakis, A. I., Kalogiannakis, M., and Papadakis, S. (2024). The effects of adaptive gamification in science learning: A comparison between traditional inquiry-based learning and gender differences. Computers, 13(12), 324. https://doi.org/10.3390/computers13120324

FEN EĞİTİMİNDE SİMÜLASYON VE SANAL LABORATUVARLARIN KULLANIMI

Zeynep Sena Gün[*], Raşit Zengin[**]

GİRİŞ

Fen bilimleri gibi özünde yaparak yaşayarak öğrenmenin olduğu bir ders için eğitim teknolojileri oldukça önem arz etmektedir (Özdemir ve Ünal, 2025). 2015 fen bilimleri öğretim programında, teknolojik araçlar ve STEM (Science (Fen), Technology (Teknoloji), Engineering (Mühendislik) ve Mathematics (Matematik)) kavramlarının vurgulandığı görülmektedir (MEB, 2015). 2018 fen bilimleri öğretim programında ise STEM etkinlikleri, ürün tasarımı ve günlük yaşam problemlerinin çözümüne yönelik teknolojik uygulamalar ön plana çıkarılmıştır (Yıldız ve Zengin 2023). Ayrıca, bu programda teknoloji kavramı karşımıza; teknolojik yetkinlikler, dijital vatandaş kavramı, fen-mühendislik ve girişimcilik uygulamaları ile çıkmaktadır (MEB, 2018). Fen eğitiminde simülasyonlar ve sanal laboratuvarlar gibi dijital teknolojilerden yararlanılması da önem kazanmıştır. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı'nda simülasyonlar ve sanal laboratuvarlar da öğretim sürecini destekleyen teknolojik araçlar arasında yer almaktadır. Programda öğrencilerin deney süreçlerini dijital ortamda sanal laboratuvarlar aracılığıyla gerçekleştirebilecekleri ve simülasyonlar üzerinden konuya ilişkin temel unsurları ve özellikleri inceleyebilecekleri belirtilmektedir (MEB, 2026). Bu kapsamda, fen bilimleri derslerinde teknolojinin etkin bir şekilde kullanılması öğrencilerin kavramsal başarılarının desteklenmesi açısından önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Mangır ve Özkan, 2025). Öğrenciye yönelik yaklaşımı temel alan, üst düzey simülasyonlardan oluşan ve bilgisayar destekli uygulamaların kullanıldığı alanlardan biri olan sanal laboratuvarlara, gelişen teknoloji ve değişen dünya doğrultusunda öğrencilerin ilgi ve ihtiyaçlarına karşılık verebilen teknolojik bir araç

[*]Yüksek Lisans Öğ., Fırat Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Ana Bilim Dalı, Elazığ, zeynepsenagun8@gmail.com, ORCID: orcid.org/0009-0003-7674-8672
[**]Prof. Dr., Fırat Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye/ Orcid: 0000-0002-1624-6406.

olarak giderek daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır (Şeref ve İpek Akbulut, 2024). Fen kavramları, zihinde somutlaştırılması oldukça zor olan kavramlardır. Bu sebeple özellikle fen bilimlerinde laboratuvar kullanımı oldukça önemlidir. Aynı zamanda eğitim teknolojileri uygulamalarından olan sanal laboratuvarlar da soyut fen kavramlarının somutlaştırılması ve fırsat eşitliği sağlayarak anlamlı öğrenmelerin artırılmasını sağlamaktadır (Özdemir ve Ünal, 2025). Fen bilimleri dersi içerisinde yer alan konuların soyut ve karmaşık olması, öğretimin somut materyallerle desteklenmesini gerekli kılmaktadır (Gümüş vd., 2008). Bilgisayar destekli fen öğretimine yönelik yeni yöntem ve teknikler geliştirilmesiyle ortaya çıkan teknoloji destekli eğitimin bir materyali olan simülasyonlar, yapılandırmacı öğrenme kuramını sınıf ortamında etkili kullanabilme ihtiyacını önemli ölçüde karşılayabilmektedir (Dağdalan ve Taş, 2017). Öğretim sürecinde daha fazla teknolojik kaynak ve araç kullanımına yönelik önerilerin geliştirilmesi, özellikle laboratuvar deneyleri ve simülasyonların eğitime entegrasyonu açısından önemli bir katkı sunmaktadır (Başar ve Demiral, 2019).

Fen Eğitiminde Simülasyonlar

Simülasyon gerçekliğin kendisini değil, gerçekliği temsil eden modelleri kullanarak yeni bir gerçeklik algısı oluşturma mekanizmasıdır (Kılınç, 2024). Simülasyonlar gerçek hayatta olanaksız olan bir durumun, deneysel yöntemlerle eğitim amaçlarına ulaşmak için yapay biçimde modellenmesini sağlayan bir süreçken hem soyut hem de kavramsal sistemler simülasyon aracılığıyla modellenebilmektedir (Saruhan Akgün ve Yurt, 2024). Bu doğrultuda simülasyonlar, ileri teknolojiler kullanılarak öğrenenlerin doğrudan kullanamadıkları cihaz, ekipman, ilke, süreç veya durumları güvenli bir ortamda deneyimlemelerini, öğrenmelerini ve farklı stratejileri denemelerini sağlayan gerçek sistemlerin modelleri ve temsilleri olarak tanımlanmaktadır (Karabatak ve Şengür, 2018).

Bilgisayarlar, akıllı tahtalar, mobil cihazlar gibi ilgili ekipmanların giderek yaygınlaşması ve bilgisayar simülasyonlarının çeşitli fen konuları için kullanılabilir hâle gelmesi, simülasyonların birçok fen müfredatının ayrılmaz bir parçası olarak görülmesine yol açmıştır (Rutten vd., 2012). Bu durumda, fen bilgisi programında yer alan birçok konunun öğretiminde faydalanılan modellerden biri olan simülasyonlar, dersleri daha ilgi çekici ve anlaşılır hâle getirmek amacıyla kullanılabilmektedir.

Bununla birlikte, günlük yaşamla bağlantı kurulmasını sağlayan simülasyon videolarının kullanılması, fen eğitimini kavrama konusunda da fayda sağlamaktadır (Mangır ve Özkan, 2025).

Teknoloji destekli eğitim, öğretim süreçlerinin yüz yüze etkileşim yoluyla gerçekleştirilmesinin yanında farklı uygulama olanakları sunmakta, öğrencilerde merak hissi oluşturarak öğrenme motivasyonunu artırmakta ve kavramların daha etkili bir şekilde öğrenilerek uzun süreli hatırlanmasına katkı sağlamaktadır (Kumaş, 2023). Teknolojinin sınıflarda kullanılmaya başlanmasıyla birlikte simülasyonlar da fen bilimleri derslerinde kullanılmaktadır (Ünal ve Şeker, 2020). Fen derslerinde uygulama yapma, anlamlı ve güvenilir sonuçlara ulaşma, daha fazla örnek üzerinde çalışma, laboratuvar ortamı dışında deneysel uygulamalar gerçekleştirme ve somut materyallere bağımlı olmadan öğrenmeyi destekleme açısından simülasyonlar, eksiklerin giderilmesine ve öğrenilen bilgilerin pekiştirilmesine imkân sağlamaktadır (Harman ve Yenikalaycı, 2019).

Simülasyonlar öğrenilmesi zor olan kavramların gerçek nesneler aracılığıyla gözlemlenerek öğrenilmesini sağlayan, öğrencilerin etkileşim içerisinde bulunmalarını destekleyen, sürece aktif biçimde katılmalarına ve anlamlı öğrenmeler gerçekleştirmelerine katkı sunan öğrenme ortamlarıdır (Ünal ve Şeker, 2020). Simülasyon, teorik veya gerçek dünyadaki bir sistemin işleyişini ya da sürecini daha iyi anlamak ve değerlendirmek amacıyla yapay bir model oluşturarak bu model üzerinde araştırma ve deneyler yapılmasını sağlayan bir yöntem olmasıyla birlikte öğrencilerin aktif katılımını destekleyen bir öğretme tekniği olarak da kullanılmaktadır (Kamışcıoğlu, 2024).

Fen Eğitiminde Sanal Laboratuvarlar

Bilim ve teknolojide yaşanan mevcut ilerlemelerin eğitim ortamlarına da yansımasıyla birlikte uzaktan eğitim sistemleri, akıllı tahta uygulamaları ve sanal laboratuvar ortamları geleceğin eğitim sisteminin vazgeçilmez unsurları hâline gelmektedir (Dönel Akgül vd., 2018). Bilim, teknoloji ve mühendislik alanlarında etkili beceri kazanımı ve uygulamalı deneyim kazanımı sağlamak amacıyla yeni teknolojik yaklaşımlardan olan sanal laboratuvarlardan yararlanılmaktadır (Potkonjak vd., 2016).Fen bilimlerinin soyut konular içermesi, öğrencilerin yaparak yaşayarak ve uygulama yoluyla öğrenmesini gerekli kılmaktadır. Bu süreçte laboratuvarlar, öğrencilerin deneyim

kazanmalarını sağlayan önemli öğrenme ortamlarıdır. Ancak araç-gereç ve laboratuvar olanaklarının kısıtlılığı ve deneylerin kalabalık gruplar hâlinde gerçekleştirilmesinin oluşturduğu yetersizlikler, sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvarlara alternatif olarak kullanılmasını gerekli hâle getirmektedir (Özdener, 2005).

Dijitalleşmenin hız kazandığı günümüzde sanal ortamların kullanımı günlük yaşamın birçok alanında yer almaya başlamıştır. Özellikle eğitim alanında çoğunlukla tercih edilen üç boyutlu sanal dünyaların yaparak yaşayarak öğrenme olanağı sayesinde yapılandırmacı öğrenme yaklaşımını desteklediği, öğrencilere nitelikli bir deneyim sunduğu ve ulaşılabilirliği ile uzaktan eğitimde işlevsel bir araç olarak kullanılabileceği öngörülmektedir (Demirbağ, 2020). Etkili bir fen eğitiminin gerçekleştirilebilmesi ancak öğrencilerin zihinsel ve fiziksel etkinlikler aracılığıyla bilgiyi aktif bir şekilde yapılandırmalarıyla mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda, yapılandırmacı öğrenme kuramı başta olmak üzere çağdaş öğrenme yaklaşımları, öğrencilerin öğrenme sürecinde aktif rol üstlendiği öğrenci merkezli laboratuvar ortamlarının kullanılmasını önermektedir (Danacı ve Aydemir, 2023; Güngör Seyhan ve Okur, 2020).

Sanal laboratuvarlar, öğrencilerin dijital bir ortamda deneyler yapmalarını ve bilimsel kavramları keşfetmelerini sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, geleneksel laboratuvar ortamlarında karşılaşılan çeşitli zorlukları ortadan kaldırarak fen eğitiminin kalitesini artırabilmektedir (Asere vd., 2023). Fen eğitiminin deney temelli bir alan olması nedeniyle, fen derslerinde laboratuvar uygulamalarına erişim olanaklarının yetersiz olması öğrencilerin kavramsal öğrenme düzeylerini olumsuz etkilemekte ve buna yönelik olarak sanal laboratuvar uygulamaları son yıllarda önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Baltacı ve Özsevgeç, 2026). Fen ve teknoloji alanında yer alan pek çok kazanıma uygun deneylerin tasarlanabilmesini sağlayan sanal laboratuvarlar, öğrencilerin kendilerine verilen yönergeleri takip ederek gerçek bir laboratuvardaki gibi deneylerini gerçekleştirebilmelerini sağlayabilmektedir (Duman ve Avcı, 2016).

Simülasyonlar ve Sanal Laboratuvarların Fen Eğitimine Katkıları ve Sınırlılıkları

Katkıları

- Sınıf içerisinde gerçekleştirilmesi mümkün olmayan deneylerin veya tehlikeli durumların öğretiminde kullanılan simülasyonlar, hem öğretmenlere hem de öğrencilere önemli katkılar sağlayabilmektedir. Örneğin kullanıcı etkileşimine olanak tanıması sayesinde öğrenciler öğrenme sürecinde aktif olarak yer alabilir ve anında geri bildirim alarak yaptıkları yanlışları düzeltebilirler (Dağdalan ve Taş, 2017).

- Sahin (2006), bilgisayar simülasyonlarının fen eğitimindeki kullanımını ve uzaktan eğitim açısından etkilerini incelemiştir. Bu doğrultuda bilgisayar simülasyonları, fen dersleri ve laboratuvar etkinliklerinin yerini tamamen alamasa da hem sınıf eğitimi hem de uzaktan eğitim için çeşitli avantajlar sunabilmektedir (Sahin, 2006). Örneğin simülasyon destekli öğretim, öğrencilerin öğretim sürecinin temelini oluşturan ana fikirleri ve kavramları etkili ve doğru bir şekilde zihinsel olarak yapılandırmalarına olanak sağlayarak öğrenmenin niteliğini artırmaktadır (Yılmaz ve Eren, 2014).

- Aynı zamanda bireylerin gerçek hayattaki süreçleri, olayları ve sistemleri bir model aracılığıyla canlandırmalarını sağlayan simülasyonlar, öğrencilere gerçek yaşam senaryolarını deneyimleme fırsatı sunarak, bilişsel, psikomotor ve duyuşsal bilgi ve yeteneklerini geliştirmede temel bir işlev üstlenmektedir (Özkara, 2024).

- Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimi, sanal laboratuvarlar gibi geleneksel öğrenme ortamlarına alternatif birçok yöntemin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Sanal laboratuvarların her zaman ve her yerde erişilebilir olması, laboratuvar imkânı olmayan okullarda öğrencilere fayda sağlamakla birlikte eğitim sürecine de katkı sağlamaktadır (Kızılay ve Saylan Kırmızıgül, 2022).

- Erişilebilir olmaları sanal laboratuvarların önemli bir avantajıdır. Bu laboratuvarlara uzaktan erişişim sağlanabilmesi, öğrencilerin zaman ve yer kısıtlamaları olmaksızın deney yapmalarına olanak tanır (Asere vd., 2023).

- Özellikle fen laboratuvarlarında geleneksel yüz yüze derslerin yanı sıra uzaktan öğrenimin ihtiyaçlarını da karşılamaktadır (Rohim, 2020).
- Sanal veya uzaktan laboratuvarlar, öğrencilere deneyleri kendi hızlarında yapabilme imkânı sağlamakta ve laboratuvarlara her zaman, her yerden erişme olanağı sunmaktadır (Budai ve Kuczmann, 2018).
- Sanal deneyler, öğrencilerin kavramsal öğrenmelerini ve fen dersine yönelik tutumlarını geliştirmektedir. Sanal deneylerin her öğrenciye eşit erişim sağlaması, zaman ve maliyet açısından avantajlı olması ve tekrar edilebilmesi, öğrencilerin fen dersine yönelik tutumlarının artmasında etkili olmaktadır (Arı Demiray vd., 2025).
- Sanal laboratuvar uygulamaları fen eğitiminde öğrencilerin akademik başarılarının artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Öğrencilerin derslere yönelik olumlu tutum geliştirmelerinde ve kavramları anlamlı bir şekilde öğrenmelerinde sanal laboratuvarlar etkili bir araç olarak kullanılabilir. Gerçek yaşam ortamında gerçekleştirilmesi uzun zaman alan etkinlikler, sanal laboratuvarlar aracılığıyla daha kısa sürede gerçekleştirilebilir (Karagöz Mircik ve Saka, 2018).

Sınırlılıkları

- Öğrenmenin sanal ve üç boyutlu ortamlarda gerçekleştirilmesinin zorluklarından bazıları; uygulama maliyetlerinin yüksek olması, herkesin gelişmiş teknolojik cihazlara erişememesi ve teknik altyapının yetersizliği olarak karşımıza çıkmaktadır (Yağcı ve Şentürk, 2023).
- Simülasyon için kullanılan ekipmanların yüksek maliyetli olması, uygulamanın önemli sınırlılıklarından biri olurken öğrencilerin teknolojik uygulamalara yönelik yeterli deneyime sahip olmamaları da simülasyon uygulamalarının etkililiği açısından bir sınırlılık oluşturmaktadır (Nirgiz, 2026).
- Sanal laboratuvar uygulamalarına yönelik yazılımların yeterli düzeyde olmaması, internet altyapısının ve teknolojik araç gereçlerin yetersiz olması ile sınıf mevcudunun fazla olması gibi

durumlar öğretmenlerin de sanal laboratuvar uygulamalarını kullanmalarını sınırlayan başlıca nedenler arasında yer almaktadır (Yavuz ve Tüysüz, 2025).

- Bununla birlikte sanal laboratuvar ortamındaki deney düzeneklerinin gerçek deney düzeneklerine yeterince benzememesi, öğrencilerin deneyleri gerçekçi bir biçimde algılamalarını sınırlayabilmektedir (Özdemir, 2019).
- Temel düzeydeki bilgisayarlarla ileri düzey sanal laboratuvar uygulamaları da etkin bir şeklide gerçekleştirilemeyebilir (Velev ve Zlateva, 2017).
- Fen derslerinin öğretim sürecinde laboratuvar etkinliklerinin kullanılması, ders kapsamında belirlenen hedeflere ulaşılması açısından önemli ve gereklidir. Ancak laboratuvar uygulamalarının barındırabileceği tehlikeler nedeniyle bu etkinliklerin dikkatli bir şekilde planlanması ve düzenlenmesi gerekmektedir (Aydın vd., 2011). Soyut fen kavramlarının somutlaştırılmasında önemli bir yer tutan laboratuvar uygulamaları, öğrenmede kalıcılığı artırması ve etkili öğrenme deneyimleri sağlamasının yanı sıra birçok tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Dikkat edilmediği taktirde yanık, zehirlenme gibi ciddi sorunlarla karşılaşılabilmektedir (Özcan ve Kaçar, 2021).
- Fen dersleri gibi laboratuvar uygulamalarının ağırlıklı olarak kullanıldığı derslerde, laboratuvar güvenliği konusunda uygulamaya dayalı eğitimler verilebilir. Ayrıca güvelik sembolleri, öğrencilerin deney süreci boyunca görebilecekleri şekilde laboratuvar ortamında görünür alanlara asılabilir. Bu sayede laboratuvar ortamında olası kazaların önlenmesi sağlanabilmektedir (Özcan ve Kaçar, 2021).

Fen Eğitiminde Kullanılan Simülasyon Uygulamaları

Fen öğretiminde kullanılan bazı simülasyon uygulamaları Tablo 1.' de verilmiştir.

Tablo 1. Sanal Simülasyon Uygulamaları

Uygulama Adı	*İçerik ve Özellikleri*	*Erişim Adresi*
Science By Simulation	Kullanıcıların kendi kimyasal reaksiyonlarını modellemesine, kimyasal denge, asit-baz tepkimeleri ve termodinamik hesaplamaları sanal laboratuvarlar aracılığıyla uygulamalarını sağlayan, kimya eğitimi için geliştirilmiş bir eğitim aracıdır.	https://www.sciencebysimulation.com
PhET Interactive Simulations	Colorado Üniversitesi tarafından geliştirilen, fizik, kimya, biyoloji ve matematik alanlarında binlerce ücretsiz, etkileşimli ve Türkçe dil destekli simülasyon barındıran yaygın bir platformdur.	https://phet.colorado.edu/tr
Algodoo	Fizik eğitiminde mekanik, optik, dalgalar ve sıvıların dinamiği gibi konuları iki boyutlu bir ortamda, tamamen özgün tasarımlar oluşturup simüle etmeyi sağlayan eğlenceli ve ücretsiz bir platformdur.	https://www.algodoo.com
Tinkercad	Autodesk tarafından geliştirilen bu platform, fen ve teknoloji eğitiminde elektrik devreleri, Arduino programlama ve temel	https://www.tinkercad.com

	robotik simülasyonları için kullanılan, dijital olarak kurulan devreleri anında simüle edebilen bir araçtır.	
Concord Consortium	Fen ve matematik eğitimi için açık kaynaklı yazılımlar ve bilimsel simülasyonlar geliştiren STEM alanında etkileşimli etkinlikler, simülasyonlar ve eğitim araçları sunan bir platformdur.	https://concord.org
Stellarium	Astronomi ve yer bilimleri konularında kullanılan, gökyüzünü 3D olarak simüle eden; yıldızları, gezegenleri ve takımyıldızlarını incelemeyi sağlayan gerçekçi bir gökyüzü simülasyonu sunan astronomi uygulamasıdır.	https://stellarium.org/tr
ExploreLearning Gizmos	İlkokuldan lise son sınıfa kadar fen ve matematik konularını kapsayan, değişkenleri değiştirerek grafiksel sonuçları inceleyebileceğiniz etkileşimli simülasyonlarla öğrenmeyi sağlayan bir platformdur.	https://www.explorelearning.com
BioDigital Human	Biyoloji ve anatomi dersleri için kullanılan, insan vücudunu, organları, sistemleri ve hastalıkların vücut	https://www.biodigital.com

	üzerindeki etkilerini tamamen etkileşimli ve 3D boyutlu bir simülasyon üzerinden incelemenizi sağlar.	
CK-12 Simulations	Tüm dünyada K-12 (ilkokul-lise) seviyesinde yaygın kullanılan ücretsiz bir STEM platformudur. Fizik ve kimya ağırlıklı simülasyonlarında, gerçek hayattan senaryolar üzerinden değişkenlerle oynayarak konunun mantığı öğretilir.	https://interactives.ck12.org
eduMedia	İlkokul, ortaokul ve lise düzeyindeki fen bilimleri öğretimi için 3D etkileşimli animasyonlar ile simülasyonlar sunar.	https://www.edumedia.com/en
Physion	Fizik yasalarını test etmek için iki boyutlu fizik simülasyon yazılımıdır. Kullanıcılar kendi mekanik düzeneklerini, dişlilerini, motorlarını ve bağlarını kurarak yer çekimi, sürtünme ve esneklik gibi kuvvetlerin bu nesneler üzerindeki etkisini canlı simüle edebilirler.	https://physion.net
NetLogo	Sosyal bilimler, matematik, kimya biyoloji ve fizik alanlarında karmaşık sistemleri simülasyonlarla	https://www.netlogo.org

	modellemeyi sağlayan bir programdır. Fen eğitiminde; ekosistemlerdeki av-avcı ilişkileri, virüslerin yayılımı, moleküllerin kinetik teorisi ve gaz davranışları gibi binlerce hazır modeli tarayıcı üzerinden simüle etmeyi sağlar.	
Concord Consortium	Fen Bilimleri öğretimi ve öğrenimi için görsel simülasyon altyapısı sunan bir platformdur. Atomların etkileşimi, kimyasal bağların kopması, DNA replikasyonu, fotosentez ışık reaksiyonları ve yarı iletkenler gibi gözle görülmeyen moleküler süreçleri interaktif olarak simüle eder.	https://mw.concord.org
SpaceEngine	Uzay ve astronomi konuları için hazırlanmış üç boyutlu bir planetaryum yazılımıdır. Kara deliklerin etrafındaki ışık bükülmelerinden, galaksilerin dönüşüne ve ötegezegenlerin yüzey yapılarına kadar astrofiziksel olayları gerçekçi şekilde modelleyen evren simülatörüdür.	https://spaceengine.org
Falstad Circuit Simulator	Elektrik ve elektronik konularını anlamak için	https://www.falstad.com/circuit

	tasarlanmış, tarayıcı tabanlı bir devre simülasyon platformudur. Akımın yönünü ve voltaj dalgalanmalarını görsel animasyonlarla göstererek devre elemanlarının mantığını kavramayı kolaylaştırır.	
BioInteractive	Fen Bilimleri dersinde biyolojik süreçlerin etkileşimli simülasyonlar aracılığıyla incelenmesini sağlayan dijital bir eğitim platformudur.	https://www.biointeractive.org

Fen Eğitiminde Kullanılan Sanal Laboratuvar Uygulamaları

Fen öğretiminde kullanılan bazı sanal laboratuvar uygulamaları Tablo 2.' de verilmiştir.

Tablo 2. Sanal Laboratuvar Uygulamaları

Uygulama Adı	*İçerik ve Özellikleri*	*Erişim Adresi*
TrySpyral	Robotik ve STEM çalışmalarını üç boyutlu ortamda deneyimlemeyi sağlayan 3D robotik sanal laboratuvar platformudur.	https://tryspyral.com/workbench
Labster	Özellikle lise ve üniversite düzeyine hitap eden, 3D ve oyunlaştırılmış senaryolarla zenginleştirilmiş bir sanal laboratuvardır. Genetik, moleküler biyoloji ve ileri kimya deneyleri için uygundur. Kullanıcıların gerçek bir laboratuvar	https://www.labster.com

	ortamını dijital olarak deneyimlemelerini sağlar.	
VRLab Academy	İnteraktif sanal laboratuvarlar ile fen eğitimini dönüştüren, VR ve PC'de kullanılabilen 240'dan fazla bilim deneyi içeren sanal laboratuvar platformudur. Türkiye merkezli geliştirilen ve yerli müfredata da uyumlu olan bu platform, fizik, kimya, biyoloji ve popüler bilim alanlarında formülleri ve deneyleri tamamen sanal gerçeklik (VR) veya bilgisayar ortamında deneyimleme imkanı sunar.	https://www.vrlabacademy.com/tr
ChemCollective	ChemCollective, lise ve üniversite genel kimya derslerinde kullanılan, çözelti hazırlama, asit-baz titrasyonları ve termokimya gibi konularda sanal laboratuvar ortamı sağlayan ücretsiz bir platformdur.	https://chemcollective.org
PraxiLabs	Fen bilimleri öğrencileri için kimya, fizik ve biyoloji laboratuvarlarını üç boyutlu ve etkileşimli olarak sunan, öğrencilerin uygulama yaparak öğrenmesini destekleyen sanal bir platformdur	https://praxilabs.com
OLabs	Ortaokul ve lise düzeyindeki fizik, kimya ve biyoloji müfredatlarına yönelik	https://www.olabs.edu.in

	geliştirilmiş; kullanıcıların sanal ortamda deneyler yaparak uygulamalı öğrenme deneyimi kazanmalarına olanak sağlayan çevrim içi laboratuvar platformudur.	
Virtual Labs	Bilim ve mühendisliğin çeşitli disiplinlerindeki simülasyon tabanlı laboratuvarlara uzaktan erişim sağlamak ve öğrencilerin merakını uyandırarak deney yapmaya teşvik etmek amacıyla geliştirilen geniş kapsamlı ve ücretsiz bir yazılım platformudur.	https://www.vlab.co.in
LabXchange	Harvard Üniversitesi tarafından geliştirilen, ücretsiz sanal laboratuvarlarla fen bilimleri dersini dönüştüren bir eğitim platformudur. Uygulamalı deneylerle bilim eğitimini daha erişilebilir ve keyifli hale getirmek üzere tasarlanmıştır.	https://about.labxchange.org
Arkeron Labs	Türkiye'de geliştirilen, 1-12. sınıflar için hazırlanmış etkileşimli bir dijital fen ve matematik laboratuvarıdır.	https://www.arkeronlabs.com
Sanal.Academy	Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) müfredatıyla uyumlu olan, fen bilgisi, fizik, kimya ve biyoloji konularında 160'tan fazla	https://sanal.academy

	sanal laboratuvar, etkileşimli deney ve eğitsel oyun barındıran yerli bir eğitim platformudur.	
VLaby	Fizik, kimya ve biyoloji alanlarında ulusal ve uluslararası müfredatlara göre hazırlanmış 600'den fazla etkileşimli deneyi barındıran; öğrencilerin güvenli bir ortamda reaksiyonları gözlemlemesine ve kuvvet, elektrik veya hücre yapılarını incelemesine olanak tanıyan sanal araçtır.	https://vlaby.com
Fengo	Yeni nesil sanal deney setleri ve etkileşimli araçlarla fen bilimleri eğitimini dijital ortama taşıyan platformlardan biridir. Fengo dijital laboratuvarı, gerçeğe yakın simülasyonlar ve interaktif veri setleri ile öğrenmeyi sağlayan bir sanal laboratuvardır.	https://fengo.com.tr
EBA (Eğitim Bilişim Ağı)	Milli Eğitim Bakanlığı'nın resmi eğitim platformu içerisinde yer alan EBA sanal laboratuvar, sanal ortamda deney yapmayı ve konuları uygulamalı olarak öğrenmeyi sağlayan dijital bir öğrenme aracıdır.	https://eba.gov.tr

SONUÇ VE ÖNERİLER

Okullarda etkili bir eğitim öğretim yolu oluşturmanın önemli şartlarından biri materyal kullanımıdır çünkü derslerde materyal kullanımı sayesinde öğretimde istenilen hedeflere daha kolay ulaşılabilir. Günümüzde okullarda etkileşimli tahtalar aracılığıyla kolaylıkla kullanılabilecek simülasyonlar fen bilimleri dersi için önemli bir araçtır (Şimşek, 2017). Bununla birlikte eğitimde alternatif bir öğretim yöntemi ve etkili bir araç olarak değerlendirilen simülasyonların, geleneksel öğretim yöntemleriyle giderilemeyen anlama ve kavramsallaştırma güçlüklerinin yanı sıra kavram yanılgılarının da ortadan kaldırılmasında etkili olabileceği düşünülmektedir (Pekdağ, 2010).

Sanal laboratuvarlar edinilmesi gereken becerilerden en iyi şekilde yararlanmayı sağlamak amacıyla tasarlanmış olup, simüle edilmiş deneylerin oluşturulmasına ve yürütülmesine olanak sağlayan etkileşimli ortamlar olarak tanımlanabilir (Salmerón-Manzano ve Manzano-Agugliaro, 2018). Laboratuvar uygulamaları geleneksel olarak bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) eğitiminde merkezi bir konumda yer almakta ve bu alanda gerçek deneyler, anlamlı öğrenmenin bir bileşeni olarak kabul edilmektedir (Abbaspour vd., 2026). Dönel Akgül vd. (2018)'e göre, fen eğitiminin niteliğinin artırılması ve öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin gelişebilmesi, laboratuvar ortamlarının etkin kullanımıyla mümkündür (Dönel Akgül vd., 2018). Fen eğitimi verilirken etkileşimli akıllı tahta uygulamaları, bilgisayar ile gerçekleştirilen 3D uygulamaları ve sanal laboratuvar uygulamalarının kullanımının yaygınlaştırılması gerektiği söylenmektedir (Kardeş ve Aydoğdu, 2024). Sonuç olarak dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte sanal laboratuvarlar, fen eğitiminin dönüşümüne katkı sağlayarak öğrencilere etkileşimli ve güvenli öğrenme ortamları sunmaktadır (Dwiastuti ve Widowati 2026).

KAYNAKÇA

Abbaspour, E., Hamza Jassim, S. ve Ridha, B. J. (2026). Virtual laboratories in science education: A mechanism-based evidence synthesis. *Emerging Technologies and Governance, 1*(3), 33–64.

Arı Demiray, Ş. N., Yıldız, S. ve Kırbağ Zengin, F. (2025). Sanal deneylerin ortaokul 5. sınıf öğrencilerinin fene yönelik tutumlarına etkisi. *Uluslararası Eğitim Bilimleri Dergisi, 12*(44), 350–364.

Asare, S., Amoako, S. K., Biilah, D. K. ve 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.

Aydın, S., Diken, E. H., Yel, M. ve Yılmaz, M. (2011). Fen ve teknoloji ile biyoloji öğretmen adaylarının laboratuvar güvenliği hakkındaki bilgi düzeylerinin belirlenmesi. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 31*(2), 583–604. URL: https://izlik.org/JA29BE98CS

Baltacı, A. ve Özsevgeç, T. (2026). Sanal ve gerçek laboratuvar uygulamalarının öğrencilerin akademik başarı ve tutumlarına etkisi. *Journal of Computer and Education Research, 14*. DOI: https://doi.org/10.18009/jcer.1743303

Başar, T. ve Demiral, Ü. (2019). 2013, 2017 ve 2018 fen bilimleri dersi öğretim programlarının karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi, 33*(1), 261–292.

Budai, T. ve Kuczmann, M. (2018). Towards a modern, integrated virtual laboratory system. *Acta Polytechnica Hungarica, 15*(3), 191–204.

Dağdalan, G. ve Taş, E. (2017). Simülasyon destekli fen öğretiminin öğrencilerin başarısına ve bilgisayar destekli fen öğretimine yönelik tutumlarına etkisi. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi, 5*(2), 160–172. URL: https://izlik.org/JA95FG53CX

Danacı, E. ve Aydemir, B. (2023). Geleceğin laboratuvarları ve laboratuvarların geleceği üzerine öngörüler. *International Marmara Sciences Congress (IMASCON Spring 2023)*, Kocaeli, Türkiye, 9–10 Haziran 2023.

Demirbağ, İ. (2020). Üç boyutlu sanal dünyalar. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi, 6*(4), 97–112. URL: https://izlik.org/JA46SD84JY

Dönel Akgül, G., Geçikli, E., Konan, F. ve Konan, E. (2018). Fen eğitiminde sanal laboratuvar kullanımı hakkında öğretmen adaylarının görüşleri. *Kesit Akademi Dergisi*, (14), 61–74. URL: https://izlik.org/JA58EK68SM

Duman, M. Ş. ve Avcı, G. (2016). Sanal laboratuvar uygulamalarının öğrenci başarısına ve öğrenilenlerin kalıcılığına etkisi. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 18*(1), 13–33. DOI: https://doi.org/10.17556/jef.08804

Dwiastuti, E. ve Widowati, A. (2026). Virtual laboratories meet eco-critical literacy: A bibliometric mapping of science education landscapes. *Assyfa Learning Journal, 4*(1), 187–200. DOI: https://doi.org/10.61650/alj.v4i1.1071

Gümüş, İ., Demir, Y., Koçak, E., Kaya, Y. ve Kırıcı, M. (2008). Modelle öğretimin öğrenci başarısına etkisi. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 10*(1), 65–90. URL: https://izlik.org/JA87NN26YU

Güngör Seyhan, H. ve Okur, M. (2020). Fen bilimleri laboratuvarlarında mobil teknoloji desteğinin önemi hakkında öğretmen görüşlerinin incelenmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 17*(1), 1242–1271. DOI: https://doi.org/10.33711/yyuefd.809127

Harman, G. ve Yenikalaycı, N. (2019). Renk kodları ile direnç okumanın öğretiminde simülasyon kullanımının öğrenme üzerindeki etkisi ve öğrencilerin görüşleri. *Trakya Eğitim Dergisi, 9*(3), 415–436. DOI: https://doi.org/10.24315/tred.454318

Kamışcıoğlu, Ç. (2024). *Modelleme ve simülasyon*. Sınırsız Eğitim ve Araştırma Derneği Yayınları.

Karabatak, S. ve Şengür, D. (2018). Okul yöneticilerinin yetiştirilmesinde alternatif bir yöntem: Simülasyonlar. *Journal of Theoretical Educational Sciences, 11*(4), 748–771. DOI: https://doi.org/10.30831/akukeg.389822

Karagöz Mircik, Ö. ve Saka, A. Z. (2018). Virtual laboratory applications in physics teaching. *Canadian Journal of Physics, 96*(7), 745–750.

Kardeş, H. ve Aydoğdu, C. (2024). 3D sanal laboratuvar uygulamalarının 8. sınıf öğrencilerinin bilişsel erişilerine etkisi. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi, 12*(2), 397–420. DOI: https://doi.org/10.56423/fbod.1477857

Kılınç, E. P. (2024). Simülasyon evreni ve medyanın gösterge değeri. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 24*(3), 1051–1064. DOI: https://doi.org/10.18037/ausbd.1495520

Kızılay, E. ve Saylan Kırmızıgül, A. (2022). Investigation of the pre-service classroom teachers' views about virtual laboratories in distance education. *Muallim Rıfat Eğitim Fakültesi Dergisi, 4*(1), 60–73. URL: https://izlik.org/JA28WA47CN

Kumaş, A. (2023). Fen bilimleri derslerinde hibrit eğitim kapsamında aktif öğrenme aracı olarak teknolojinin kullanımı. *Trakya Eğitim Dergisi, 13*(2), 943–961. DOI: https://doi.org/10.24315/tred.1100907

Mangır, E. S. ve Özkan, G. (2025). Ortaokul altıncı sınıf öğrencilerinin fen bilimleri sindirim sistemi konusundaki kavram yanılgılarının simülasyonlarla giderilmesi. *Yıldız Eğitim Araştırmaları Dergisi, 10*(1), 42–53. DOI: https://doi.org/10.14744/yjer.2025.004

Millî Eğitim Bakanlığı. (2015). *Fen bilimleri dersi öğretim programı*.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2018). *Fen bilimleri dersi öğretim programı*.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2026). *Fen bilimleri dersi (3-8) öğretim programı*.

Nirgiz, C. (2026). Hemşirelik eğitiminde simülasyon: Avantajlar, dezavantajlar ve uygulama örnekleri. *Türk Hemşireler Derneği Dergisi, 7*(1), 59–69. DOI: https://doi.org/10.70479/thdd.1796775

Özcan, E. ve Kaçar, S. (2021). Fen eğitiminde laboratuvar güvenliğine yönelik çalışmaların incelenmesi. *Fen Matematik Girişimcilik ve Teknoloji Eğitimi Dergisi, 4*(2), 91–99. URL: https://izlik.org/JA54YA48PS

Özdemir, E. (2019). Sanal deneylerin modern fizik dersinde öğrenme etkinliği olarak kullanımı: Katot ışın tüpü sanal deneyi örneği. *Studies in Educational Research and Development, 3*(2), 43–61.

Özdemir, G. ve Ünal, İ. (2025). Fen eğitiminde sanal laboratuvar kullanımının öğrencilerin akademik başarılarına etkisi: Meta-analiz çalışması. *Uluslararası Eğitim Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11*(1), 66–86. URL: https://izlik.org/JA74FT93ZP

Özdener, N. (2005). Deneysel öğretim yöntemlerinde benzetişim (simulation) kullanımı. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology, 4*(4).

Özkara, Z. (2024). Dijital dönüşüm çağında gerçekçi senaryoların kullanımı: Modern eğitim yöntemi olarak simülasyon tabanlı eğitimler üzerine bir inceleme. *International Journal of Media Culture and Literature, 9*(2), 169–189. URL: https://izlik.org/JA37KG79PG

Pekdağ, B. (2010). Kimya öğreniminde alternatif yollar: Animasyon, simülasyon, video ve multimedya ile öğrenme. *Türk Fen Eğitimi Dergisi, 7*(2), 79–110.

Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M. ve Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education, 95*, 309–327. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002

Rohim, F. (2020). Need analysis of virtual laboratories for science education in Jambi, Indonesia. *Jurnal Sains Sosio Humaniora, 4*(2), 744–755.

Rutten, N., Van Joolingen, W. R. ve Van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education, 58*(1), 136–153. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017

Sahin, S. (2006). Computer simulations in science education: Implications for distance education. *Turkish Online Journal of Distance Education, 7*(4).

Salmerón-Manzano, E. ve Manzano-Agugliaro, F. (2018). The higher education sustainability through virtual laboratories: The Spanish university as case of study. *Sustainability, 10*(11), Article 4040. DOI: https://doi.org/10.3390/su10114040

Saruhan Akgün, F. ve Yurt, S. (2024). Simülasyonun tanımı, tarihçesi ve hemşirelik alanında kullanımı. *Istanbul Kent University Journal of Health Sciences, 3*(2), 35–41. URL: https://izlik.org/JA83CW84CM

Şeref, C. ve İpek Akbulut, H. (2024). Türkiye'de eğitim alanında sanal laboratuvar ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin içerik analizi: 2003–2023. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, 61, 2017–2039. DOI: https://doi.org/10.53444/deubefd.1410659

Şimşek, F. (2017). Fen bilimleri dersinde animasyon ve simülasyon kullanımının öğrencilerin akademik başarısı ve bilgilerin kalıcılığı üzerine etkisi. *Uluslararası Eğitim Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3*(3), 112–124. URL: https://izlik.org/JA22AL92CM

Ünal, İ. K. ve Şeker, R. (2020). Sanal laboratuvar uygulamalarının öğrenci akademik başarıları üzerine etkisinin incelenmesi: Elektrik ünitesi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi, 21*(1), 504–543. DOI: https://doi.org/10.29299/kefad.2020.21.01.014

Velev, D. ve Zlateva, P. (2017). Virtual reality challenges in education and training. *International Journal of Learning and Teaching, 3*(1), 33–37.

Yağcı, A. ve Şentürk, C. (2023). Fen bilimleri (fizik-kimya-biyoloji) eğitiminde metaverse. *EDUCATIONE, 2*(2), 262–288. DOI: https://doi.org/10.58650/educatione.1299434

Yavuz, C. ve Tüysüz, M. (2025). Fen bilimleri öğretmenlerinin sanal laboratuvar kullanımına yönelik görüşleri: Van örneği. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 27*(2), 165–182. DOI: https://doi.org/10.17556/erziefd.1446036

Yılmaz, M. ve Eren, A. (2014). Sınıf öğretmen adaylarına basit elektrik devreleri konusunun simülasyon ve laboratuvar uygulaması teknikleriyle öğretimi. *Trakya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 4*(2), 84–99. URL: https://izlik.org/JA63XR22AX

Yıldız, S., ve Zengin, R. (2023). Fen eğitiminde STEM uygulamaları. İçinde F. K. Zengin ve G. Keçeci (Ed.), *Fen eğitiminde teknoloji uygulamaları* (ss. 45–58). İKSAD Yayınevi.

FEN EĞİTİMİNE ROBOTİK KODLAMA ENTEGRASYONU

Furkan Soku [*], Fikriye Kırbağ Zengin [**]

GİRİŞ

Bilimsel ve teknolojik kulvarda yaşanan ivmeli dönüşümler, bireylerden beklenen yetkinlik ve donanımların da niteliksel olarak evrilmesini zorunlu kılmaktadır. Günümüz eğitim anlayışında, öğrencilerin hazır bilimsel bilgileri pasif bir şekilde alımlamaları yeterli görülmemekte; bunun ötesinde bilimsel gelişmeleri kavramaları, bu edinimleri gündelik hayatla ilişkilendirebilmeleri ve dinamik koşullara adaptasyon sağlamaları hedeflenmektedir. Bu doğrultuda; sorgulama, araştırma yapma, veriye dayalı mantık yürütme, problem çözme ve teorik birikimi özgün durumlara aktarma gibi üst düzey zihinsel becerilerin geliştirilmesi ön plana çıkmaktadır. Söz konusu becerilerin kazandırılmasında ve bilimsel tutumların içselleştirilmesinde fen eğitimi kilit bir rol oynamaktadır. Nitekim fen eğitiminin; gözlem ve deney yapabilen, analitik ve yaratıcı düşünebilen, karşılaştığı sorunlara bilimsel metotlarla özgün çözümler getirebilen bireylerin yetişmesindeki kritik işlevi literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Ayas vd.,2002). Fen öğretiminin beklenen nitelikli çıktıları sağlayabilmesi, öğretim programının teorik kapsamı kadar öğretim sürecinin nasıl kurgulandığı ile de doğrudan ilintilidir. Öğrencilerin edilgen konumdan çıkarılarak sürece bizzat dâhil edildikleri, yaşantısal tecrübeler kazandıkları ve soyut kavramları somutlaştırabildikleri öğrenme ortamları, etkili bir fen öğretiminin temel şartıdır (Bybee, 2013; Çepni ve Çil, 2011). Bu noktada eğitim teknolojileri, öğrenme ekosistemini zenginleştiren ve süreci destekleyen stratejik araçlar olarak belirmektedir. Teknolojik bileşenlerin pedagojik süreçlere entegrasyonu, öğrencilerin alternatif bilgi kaynaklarına erişimini kolaylaştırarak öğrenmeyi çok yönlü ve deneyimsel bir boyuta taşımaktadır **(**Mishra ve Koehler, 2006). Yüzyılla birlikte teknolojinin toplumsal yaşamın merkezine yerleşmesi, eğitim ortamlarında da bu araçların kullanımını bir gereklilik hâline getirmiştir

1 Furkan SOKU Yüksek lisans öğrencisi, Fen Bilimleri Eğitimi, Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, furkansokuu@gmail.com, ORCİD: 0009-0009-4345-4153
2 Prof. Dr. Fikriye KIRBAĞ ZENGİN, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bolum, Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi,fzengin@firat.edu.tr, ORCİD: 0000-0002-0547-8746

(Ananiadou ve Claro, 2009**)**. Öğrencinin merkeze alındığı ve bilginin zihinsel süreçlerde aktif olarak yapılandırıldığı yapılandırmacı yaklaşımın benimsenmesiyle birlikte, teknoloji destekli öğrenme tasarımlarına verilen önem belirgin şekilde artmıştır (Jonassen, 1999; Yurdakul, 2007). Teknolojinin ders süreçlerine dâhil edilmesi; bilgiye erişimi çabuklaştırma, çoklu öğrenme stillerine hitap etme, öznel bilgi inşasına imkân tanıma ve öğrenme motivasyonunu yükseltme gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Mayer, 2014; Roblyer ve Hughes, 2019). Bunun yanı sıra, teknolojiyle zenginleştirilmiş ortamların, öğrenme sürecinde ek desteğe ihtiyaç duyan öğrencilerin derse katılımını ve uyumunu kolaylaştırıcı bir işlev gördüğü de ifade edilmektedir (Edyburn, 2010; Woodard, 2003). Teknolojinin gündelik yaşamın ayrılmaz bir parçası olması, yeni nesil öğrencilerin bilgi edinme biçimlerini ve öğrenme alışkanlıklarını radikal biçimde değiştirmiştir. Erken yaşlardan itibaren dijital araçlarla çevrili bir dünyada büyüyen bu kitle, Prensky (2001) tarafından "dijital yerliler" olarak tanımlanmaktadır. Teknolojik altyapıyı ve dijital kültürü doğal ortamları olarak benimseyen bu bireyler; klasik metin tabanlı ve anlatıma dayalı yöntemlerden ziyade görsel, işitsel ve etkileşimli içeriklerle öğrenmeyi tercih etmektedir. Ayrıca dijital ortamlarda eş zamanlı çoklu görev yürütme, bilgiye anında ulaşma ve deneme-yanılma yoluyla öğrenme, bu kuşağın öne çıkan temel öğrenme davranışları arasında yer almaktadır (Günüç, 2017). Öğrenci profilindeki bu değişim ve teknolojideki hızlı ilerleme, eğitimde yararlanılabilecek yenilikçi araç ve uygulamaların çeşitlenmesine zemin hazırlamıştır. Günümüzde artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, mobil öğrenme platformları, simülasyonlar ve çevrimiçi öğrenme ağları öğretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bulut teknolojileri, sosyal medya araçları, dijital/eğitsel oyunlar, dijital hikâye anlatımı, yapay zekâ entegrasyonları, giyilebilir cihazlar, QR kod uygulamaları ve 3D yazıcılar eğitimsel dönüşümün önemli bileşenleri hâline gelmiştir (Adams vd.,2016; Johnson vd.,2015 Yıldız ve Zengin, 2025). Bu araçlara ek olarak; eğitsel robotik ve kodlama eğitimleri de öğrencilerin algoritmik düşünme, problem çözme ve bilişimsel üretim yeteneklerini geliştirmedeki yüksek potansiyelleri nedeniyle eğitim gündeminde öncelikli bir yer edinmiştir (Benitti, 2012; Beran, vd. 2011; Johnson vd, 2015; Mubin, vd., 2013).

Tüm bu teknolojik gelişmeler fen eğitimi özelinde değerlendirildiğinde, dersin doğasına uygun son derece değerli imkânlar

sunmaktadır. Fen bilimleri derslerinde soyut ve karmaşık yapıdaki kavramların somutlaştırılması, bilimsel süreçlerin simüle edilerek görselleştirilmesi ve etkileşimli öğrenme ortamlarının kurgulanması teknolojik araçlar sayesinde kolaylaşmaktadır. Dolayısıyla, eğitim teknolojilerinin fen öğretimine bütüncül ve pedagojik esaslara uygun biçimde entegre edilmesi, öğrencilerin sadece bilimsel bilgiye ulaşmalarını değil, aynı zamanda bilimsel okuryazarlık ve eleştirel düşünme becerilerini geliştirmelerini de destekleyecektir. Bu çerçevede, teknolojik yeniliklerin fen eğitimi ile nasıl etkili bir şekilde bütünleştirilebileceğinin derinlemesine incelenmesi, çağdaş eğitim anlayışının önemli bir gerekliliği olarak ortaya çıkmaktadır.

Fen Öğretimine Robotik Kodlama Entegrasyonu

Kodlama, belirli bir problemin çözümüne ulaşabilmek amacıyla izlenecek işlemlerin algoritmik bir yapıya dönüştürülmesi ve bu işlemlerin bilgisayar tarafından gerçekleştirilebilmesini sağlayacak komutların oluşturulması olarak ele alınabilir (Popat ve Starkey, 2019). Bu süreç yalnızca teknik komutların oluşturulmasından ibaret olmayıp bireyin bir problemi analiz etmesini, çözüm yolları geliştirmesini ve geliştirdiği çözümü sistematik bir biçimde uygulamasını gerektiren bilişsel bir etkinliktir. Dolayısıyla kodlama bilgisine sahip olan bireylerin, teknolojik sistemleri belirli amaçlar doğrultusunda yönlendirebilmesi aynı zamanda özgün düşünce ve çözüm üretme becerilerinin kullanılmasını da beraberinde getirmektedir (Aksu, 2019). Özellikle hareket edebilen mekanik sistemlerin programlanması sırasında öğrencilerin neden-sonuç ilişkilerini gözlemlemeleri ve oluşturdukları komutların sonuçlarını değerlendirmeleri, bu ilişkileri daha kolay fark etmelerine katkı sağlayabilmektedir (Fanchamps vd., 2023). Bu özellikleri nedeniyle robotik ve kodlama eğitimine yönelik ilgi son yıllarda uluslararası düzeyde önemli ölçüde artmış; bazı Avrupa Birliği ülkelerinde kodlama eğitimi öğretim programlarının sistematik bir bileşeni hâline getirilmiştir (Barak ve Assal, 2018; Chaudhary vd., 2016; Ching vd., 2019; Yolcu, 2018; Ülger, 2021). Eğitim süreçlerinin robotik kodlama teknolojileriyle zenginleştirilmesi, öğrencileri geleceğin küresel istihdam şartlarına uygun becerilerle donatmak adına kritik bir hamledir.

Eğitim ortamlarında robotik ve kodlama teknolojilerinden yararlanılması, öğrencilerin öğrenme sürecine aktif biçimde katılmalarını sağlayan önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Lindh ve

Holgersson, 2007; Varnado, 2005). Bu kapsamda Scratch, Arduino, mBlock, Lego Mindstorms, Code.org, İDEA ve Minecraft gibi farklı yazılım ve donanım araçlarından yararlanılmaktadır. Robotik temelli etkinliklerde öğrenciler genellikle bir problemi belirlemekte, çözüm için çeşitli varsayımlar geliştirmekte, oluşturdukları sistemi uygulamakta ve elde ettikleri sonuçları değerlendirerek gerektiğinde tasarımlarında değişiklik yapmaktadır. Başka bir ifadeyle öğrenme, tek seferde doğru sonuca ulaşmaktan ziyade deneme, hata yapma, değerlendirme ve yeniden düzenleme döngüsü içerisinde gerçekleşmektedir. Bu özellik, öğrencinin hem zihinsel hem de fiziksel olarak öğrenme sürecine katılmasını sağlayarak öğrenci merkezli öğrenme ortamlarının oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Alimisis ve Kynigos, 2009).

Robotik ve kodlama etkinliklerinin eğitim ortamlarına sağladığı katkılar alan yazında farklı boyutlarıyla ele alınmıştır. Araştırmalar, bu uygulamaların öğrencilerin derse yönelik ilgilerini ve motivasyonlarını artırabildiğini; problem çözme, yaratıcı düşünme ve yenilikçi fikir geliştirme becerilerini destekleyebildiğini ortaya koymaktadır (Kılınç, 2014; Koç Şenol, 2012; Okkesim, 2014; Kozcu Çakır ve Güven, 2019). Bununla birlikte öğrencilerin kendi tasarımlarını oluşturmaları, ortaya çıkan problemleri çözmeleri ve ürünlerini geliştirmeleri özgüvenlerinin güçlenmesine katkı sağlayabilmektedir. Robotik çalışmaların çoğunlukla grup içerisinde gerçekleştirilmesi ise öğrenciler arasında iletişim ve iş birliğinin gelişmesini desteklemektedir. Ayrıca robotik ve kodlama etkinliklerinin matematik, teknoloji ve tasarım gibi farklı alanlarla ilişkilendirilebilmesi, disiplinler arası öğrenme açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır (Barak ve Assal, 2016; Catlin, 2012; Cejka vd., 2006; Chebotareva ve Gavrilova, 2019; Ching vd., 2019; Eguchi, 2017; Jung vd., 2019; Oh ve Lawson, 2020; Peixoto vd., 2018; Taylor ve Baek, 2017).

Robotik ve kodlama uygulamalarının öğrencilerin aktif katılımını desteklemesi, farklı duyulara hitap eden öğrenme yaşantıları oluşturması ve karmaşık süreçlerin modellenmesine olanak tanıması, bu teknolojilerin fen bilimleri eğitimindeki kullanımını da önemli hâle getirmiştir (Şimşek, 2019). Fen bilimleri derslerinde öğrencilerin karşılaştıkları birçok kavram ve olay doğrudan gözlemlenemeyen, soyut veya birden fazla değişkenin etkileşimini içeren özelliklere sahiptir. Bu durum, özellikle öğrencilerin zihinsel modeller oluşturmasını gerektiren konuların öğretiminde çeşitli güçlüklerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Gülçiçek ve Güneş,

2004; Yiğit ve Özmen, 2006). Robotik uygulamalar ise öğrencilerin soyut kavramları fiziksel modeller ve gözlemlenebilir çıktılar üzerinden incelemelerine imkân sağlayarak bu güçlüklerin azaltılmasına katkıda bulunabilmektedir. Nitekim robotik teknolojilerin fen öğretiminde kullanılmasının, öğrencilerin anlaşılması güç ve soyut fen konularını daha kolay anlamalarına yardımcı olabileceği belirtilmektedir (Büyük, 2015).

Fen bilimleri derslerine robotik kodlamanın dâhil edilmesiyle öğrenciler yalnızca hazır bir teknolojik ürünü kullanmakla kalmamakta, aynı zamanda belirli bir bilimsel olguyu modellemek veya açıklamak amacıyla kendi sistemlerini tasarlayabilmektedir. Tasarlanan mekanik sistemlerin davranışlarının öğrenciler tarafından programlanması, öğrencilerin verdikleri komutlar ile sistemin ortaya koyduğu sonuçlar arasındaki ilişkiyi doğrudan gözlemlemelerine olanak tanımaktadır (Hacker, 2003; Grubbs, 2013). Bu durum, bilimsel sorgulama sürecinin teknoloji destekli bir ortamda yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle sıcaklık, nem, ışık, ses, basınç, ivme, gaz, renk, manyetik alan ve mesafe gibi farklı değişkenlerin ölçülmesinde kullanılabilen sensörler, öğrencilerin çevrelerinde meydana gelen olayları yalnızca nitel özellikleriyle değil, ölçülebilir veriler üzerinden de incelemelerine fırsat sunmaktadır (Güven, 2020). Böylece öğrenciler çevresel bir değişkeni belirleyebilmekte, elde ettikleri verileri inceleyebilmekte ve bu veriler doğrultusunda çeşitli çıkarımlarda bulunabilmektedir. Robotik kodlama temelli fen etkinliklerinin bir diğer önemli özelliği, öğrencilerin öğrenme sürecinde doğrudan üretici konumuna geçmeleridir. Öğrencinin bir problemi fark etmesi, çözüm için tasarım oluşturması, kod geliştirmesi, sistemini çalıştırması, ortaya çıkan sonuçları değerlendirmesi ve gerektiğinde yeniden düzenleme yapması; öğrenmenin aktif ve deneyimsel bir yapıda gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu tür öğrenme yaşantılarının öğrencilerin akademik gelişimlerinin yanı sıra yaratıcılıklarını desteklediği, çevrelerindeki olayları farklı yönleriyle değerlendirmelerine yardımcı olduğu ve öğrenilen bilgilerin günlük yaşamla ilişkilendirilmesini kolaylaştırdığı ifade edilmektedir (Alimisis ve Kynigos, 2009; Lindh ve Holgersson, 2007; Varnado, 2005; Williams, Ma, Prejean, Ford, ve Lai, 2007).

Robotik kodlama eğitimine ilişkin araştırmalar genel olarak değerlendirildiğinde, bu uygulamaların öğrencilerin yalnızca teknolojik araçları kullanma becerilerini geliştirmekle sınırlı olmadığı

görülmektedir. Kodlama sürecinde karşılaşılan problemlerin çözüme kavuşturulması; öğrencilerin problem çözme, analitik düşünme, bilgi işlemsel düşünme ve uzamsal düşünme gibi bilişsel becerilerini destekleyebilmektedir. Bunun yanında öğrencilerin birlikte çalışarak ortak bir ürün ortaya koymaları, iş birliğine dayalı öğrenme becerilerinin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Öğrencinin tasarladığı sistemi doğrudan uygulaması ve sonuçlarını gözlemleyerek yeniden düzenlemesi ise yaparak-yaşayarak öğrenme deneyimini güçlendirmektedir. Bu yönüyle robotik kodlama, öğrencilerin yalnızca teknoloji tüketicisi olmalarının ötesine geçerek teknolojiyi belirli amaçlar doğrultusunda tasarlayan, yönlendiren ve üreten bireyler olarak yetişmelerine katkı sağlayabilecek bir eğitim yaklaşımı olarak değerlendirilebilir.

Robotik Kodlama Eğitiminde Kullanılan Araçlar

Öğretim ortamlarında kodlama öğretimi; metin tabanlı veya blok tabanlı yazılım araçları vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bunlardan metin tabanlı kodlama, öğrencilerin bilgisayar klavyesi üzerinden belirli dizimsel kurallara uyarak komut satırlarını metin biçiminde kurgulamasını gerektirmektedir. Görsel bir nitelik taşıyan blok tabanlı kodlamada ise öğrenciler, metin yazma ihtiyacı duymadan görsel komut bloklarını sürükleyip bırakarak ve yapboz parçaları gibi birbiriyle ilişkilendirerek kodlama süreçlerini tamamlamaktadır.

Literatürde farklı öğretim kademelerine hitap eden zengin bir blok tabanlı yazılım çeşitliliği göze çarpmaktadır (Güven ve Kozcu Çakır, 2020). Bu doğrultuda okul öncesinden ortaokul seviyesine kadar yararlanılabilecek farklı öğretim kademelerine yönelik blok tabanlı kodlama araçları aşağıda verilmiştir.

Okul öncesinde kullanılabilecek blok tabanlı kodlama araçları	İlkokulda kullanılabilecek blok tabanlı kodlama araçları	Ortaokulda kullanılabilecek blok tabanlı kodlama araçları
• Code .org • Coding For Kids • Scratch Jr. • Coding Safari • Bee-Bot app • The Foos • Tynker • Daisy the Dinosaur	• Kodable • Code .org • Compute İt • Tynker • The Foos • mBlock • Kodu Game Lab • Scratch • Google Blockly • Hackety Hack • Lightbot • HopScotch	• Code Combat • RoboMind • Green Foot • Kodris • Scratch • Alice • Compute İt • Cargo Bot • GameBlox • Small Basic • Kodu Game Lab • App Inventor • mBlock

Şekil 7 *Öğretim kademelerine uygun blok tabanlı kodlama araçları (Güven ve Kozcu Çakır, 2020 s.13).*

Blok tabanlı kodlama ortamlarının öğrencilerin gelişim düzeylerine uygun biçimde yapılandırılması, öğrenme sürecinin etkili ve sürdürülebilir olması açısından önemlidir. Öğrencilerin kendi hazırbulunuşluk düzeylerine ve öğrenme hızlarına göre ilerleyebilmelerine olanak sağlayan araçlar, bireysel farklılıkların dikkate alınmasına ve öğrencilerin kodlama sürecine daha etkin katılım göstermelerine katkıda bulunabilir. Bu nedenle eğitim ortamında kullanılacak kodlama aracının belirlenmesi yalnızca teknik özellikleri üzerinden değerlendirilmemeli; aracın öğrencilerin gelişimsel ihtiyaçlarına, öğrenme hedeflerine ve öğretim sürecinin amaçlarına uygunluğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Uygun kodlama araçlarının tercih edilmesi, öğrencilerin belirlenen kazanımlara ulaşmalarını desteklemenin yanı sıra kodlama öğrenme sürecinin daha anlamlı ve etkili hâle gelmesine de katkı sağlayacaktır.

Robotik kodlama Platformları

Programlama eğitiminin somut nesnelerle ilişkilendirilerek yürütülmesi, teorik kodlama ilkelerinin fiziksel ortama aktarılmasını sağlayan etkileşimli bir öğrenme zemini sunmaktadır (Benitti, 2012). Bu doğrultuda robotik kodlama, öğrencilerin zihninde canlandırmakta zorlandığı soyutyazılımsal süreçleri nesnel araçlar üzerinden gözlemlemelerine imkân tanımaktadır (Alimisis, 2013). Öğretim süreçlerinde bu somutlaştırmayı gerçekleştirmek adına hem yazılımsal

hem de donanımsal altyapıya sahip muhtelif araçlardan yararlanılmaktadır.

Söz konusu araçların başında gelen Scratch benzeri sürükle-bırak esaslı platformlar, kodlama pedagojisinin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Metin tabanlı dillerin getirdiği karmaşık yazım kuralı yükünü hafifleten bu ortamlar, öğrencilerin doğrudan sistemsel mantık kurma ve algoritmik kurgu oluşturma kapasitelerini desteklemektedir (Resnick vd., 2009). Bütünleşik bir eğitim seti olarak öne çıkan Lego Education SPIKE Prime ise STEM disiplinlerini bir araya getirerek öğrencilere mekanik yapı kurgulama, devre elemanlarını entegre etme ve yazılım geliştirme becerilerini bir arada kazandırmaktadır (Eguchi, 2016). Öğrenicilerin temel düzeyden profesyonel kodlama aşamasına geçişinde ise Python gibi metin tabanlı sistemler önemli bir işlev üstlenmektedir. Ücretsiz erişim imkânı ve açık kaynak altyapısıyla dikkat çeken Python, öğrencilerin ileri düzey yazılım mantığını kavramalarına ve daha kompleks problemleri çözmelerine zemin hazırlamaktadır.

Özetle; blok tabanlı araçlardan metin tabanlı programlama dillerine ve bütünleşik robotik setlere uzanan bu geniş yelpaze, eğitimcilere öğrencinin gelişimsel seviyesine uygun esnek bir öğretim tasarımı sunmaktadır. Fen eğitiminde bu araçların aşamalı bir hiyerarşiyle (örneğin görsel bloklardan donanımsal setlere ve ardından metin tabanlı dillere doğru) konumlandırılması; öğrencilerin soyut fen kavramlarını somutlaştırmalarını kolaylaştırmakla kalmayıp, onları erken yaşta algoritmik ve bütüncül düşünme becerileriyle donatmaktadır. Bu durum, teknolojiyi yalnızca tüketen değil, fen bilimlerinin mantığını kullanarak teknoloji üretebilen bireylerin yetişmesi açısından stratejik bir pedagojik dönüşüme işaret etmektedir.

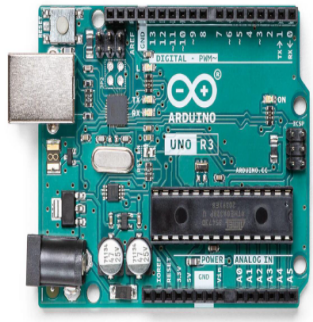
Robotik Kodlama Süreçlerinde Yararlanılan Donanımsal Bileşenler: Kontrol Kartları ve Sensörler

Eğitsel robotik uygulamaları; öğrencilere analitik sorgulama, problem çözme ve bilişimsel üretim gibi temel 21. yüzyıl becerilerini kazandırmada kritik bir işlev üstlenmektedir (Toytok ve Gürel, 2019). Robotik sistemlerin dinamik ve işlevsel bir yapıda çalışabilmesi ise temel olarak algılayıcılar (sensörler) ve mikrodenetleyici denetim kartlarının entegrasyonuna dayanmaktadır. Çevresel uyaranların algılanmasında anahtar rol oynayan sensörler, sistemlerin dış dünyayla temas kurmasını sağlayan donanımsal bileşenlerdir. Işık, sıcaklık veya basınç gibi fiziksel

nicelikleri tespit ederek bunları işlenebilir elektriksel sinyallere dönüştüren bu bileşenler, robotik sistemlerin ortam koşullarına tepki vermesine olanak tanır (Pohanka vd, 2007). Sensörler vasıtasıyla toplanan bu verilerin analiz edilmesi ve sistemin nihai eylemlerine dönüştürülmesi ise kontrol kartları aracılığıyla gerçekleştirilir. Adeta sistemin komuta merkezi (beyni) olarak işlev gören kontrol kartları, algılayıcılardan gelen veri akışını işleyerek tanımlanan görevlerin yürütülmesini sağlar (Crane vd,, 2000). Esnek ve programlanabilir mimarileri sayesinde bu kartlar; otomasyondan tıp teknolojilerine, otomotiv sektöründen eğitsel robotik tasarımlara kadar oldukça geniş bir alanda özelleştirilerek kullanılabilmektedir. Mimarilerinde temel olarak bir ana işlemci, bellek birimleri, giriş-çıkış (I/O) portları ve güç yönetim devreleri barındıran bu elektronik sistemler, gelen sinyalleri işleyerek çıkış elemanlarını yönlendirir. Günümüz robotik projelerinde ve eğitim ortamlarında Arduino ile Raspberry Pi gibi popüler kontrol kartları yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Kullanım amacına göre projelerde farklı işlevlere sahip sensör türlerine yer verilmektedir; örneğin mesafe ölçümünde ultrasonik sensörler, iklimsel parametrelerde ise sıcaklık ve basınç sensörleri öne çıkmaktadır. Otonom robot süpürgelerin ultrasonik algılayıcılar vasıtasıyla mekândaki engelleri tespit edip alan haritalaması yapabilmesi, bu etkileşimin günlük yaşamdaki somut bir örneğidir. Öğrencilerin bu donanımsal yapıları kodlama öğretimiyle bütünleştirmeleri, ihtiyaç odaklı ve özgün robotik tasarımlar ortaya koymalarına imkân tanımakta; aynı zamanda onları geleceğin mühendislik ve teknoloji disiplinlerine hazırlamada stratejik bir rol oynamaktadır.

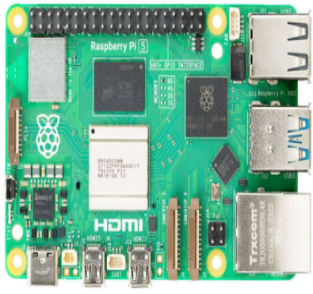
Robotik kodlama çalışmalarında kullanılan kontrol kartları; sahip oldukları işlemci özellikleri, programlama olanakları, bağlantı seçenekleri ve destekledikleri sensör ya da modüllere göre farklılık göstermektedir. Bu çeşitlilik, öğrencilerin yaş düzeylerine, hazırbulunuşluklarına ve gerçekleştirilecek projenin amaçlarına uygun donanımın seçilmesine olanak sağlamaktadır. Eğitim ortamlarında yaygın olarak kullanılan bazı kontrol kartları aşağıda verilmiştir.

Arduino: Arduino, açık kaynaklı bir elektronik geliştirme platformu olup özellikle mikrodenetleyici temelli robotik ve kodlama uygulamalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kullanımının görece kolay olması ve çok sayıda sensör, modül ve elektronik bileşenle uyumlu çalışabilmesi, eğitim amaçlı projelerde tercih edilmesini desteklemektedir. Arduino geliştirme ortamında temel olarak C/C++ tabanlı programlama kullanılmaktadır. Arduino Uno, Arduino Mega ve Arduino Nano gibi farklı modelleri bulunan platform, öğrencilerin sensörlerden veri alma, motor kontrolü, ışık ve ses sistemleri oluşturma gibi çeşitli uygulamalar gerçekleştirmesine imkân vermektedir. Açık kaynak yapısı sayesinde farklı düzeylerdeki kullanıcılar tarafından geliştirilen çok sayıda proje ve eğitim materyaline de ulaşılabilmektedir.



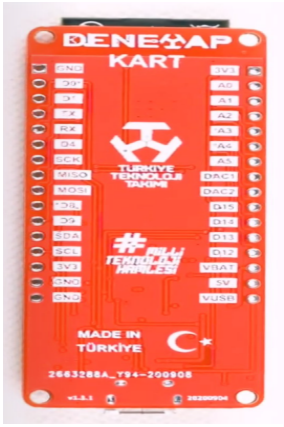
Şekil 8 *Arduino Uno R3 geliştirme kartı*

Raspberry Pi: Raspberry Pi, küçük boyutlu ve düşük maliyetli tek kart bilgisayar olarak tasarlanmış bir platformdur. Arduino'dan farklı olarak daha kapsamlı bir bilgisayar sisteminin özelliklerini sunması, görüntü işleme, yapay zekâ, veri işleme ve internet bağlantısı gerektiren projelerde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Python başta olmak üzere C, C++ ve Java gibi çeşitli programlama dilleriyle çalışabilmektedir. Özellikle Python'un görece anlaşılır sözdizimi, eğitim ortamlarında Raspberry Pi ile gerçekleştirilen uygulamaların öğrenilmesini kolaylaştırabilmektedir. Wi-Fi, Bluetooth, USB ve HDMI gibi bağlantı seçeneklerinin bulunması ise cihazın farklı donanımlarla ve ağ ortamlarıyla etkileşim kurmasını kolaylaştırmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle Raspberry Pi, yalnızca temel robotik uygulamalarda değil, daha karmaşık ve çok bileşenli projelerde de kullanılabilmektedir.



Şekil 9 *Raspberry Pi 4 Model B geliştirme kartı*

Deneyap Kartı: Deneyap Kartı, Türkiye'de eğitim, robotik ve elektronik uygulamalarına yönelik geliştirilen mikrodenetleyici tabanlı bir geliştirme kartıdır. Yerli donanım ve yazılım ekosisteminin geliştirilmesine katkı sağlayan kart, farklı sensör ve modüllerle birlikte kullanılabilmektedir. Programlanabilir yapısı sayesinde robotik, nesnelerin interneti (IoT), kablosuz iletişim ve veri toplama gibi çeşitli uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Deneyap Kartı'nın farklı programlama ortamlarıyla kullanılabilmesi, kullanıcıların kendi bilgi ve deneyim düzeylerine uygun yöntemleri tercih etmesine imkân sağlamaktadır. Özellikle eğitim amacıyla gerçekleştirilen çizgi izleyen robot, sensörlerden veri toplama, kablosuz haberleşme ve uzaktan kontrol gibi projelerde kullanılabilmektedir. Böylece öğrenciler elektronik bileşenleri tanımanın yanı sıra kodlama bilgilerini fiziksel sistemler üzerinde uygulama fırsatı bulabilmektedir.



Şekil 10 *DENEYAP Kart 1A geliştirme kartı*

Pinoo Kontrol Kartı: Pinoo, Türkiye'de geliştirilen ve özellikle eğitim amaçlı robotik kodlama uygulamalarında kullanılan mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol kartıdır. Eğitim kademelerindeki öğrencilerin yaş ve gelişim özellikleri dikkate alınarak farklı sensör ve elektronik modüllerle kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Pinoo Studio aracılığıyla programlanabilen sistem, blok tabanlı kodlama yaklaşımının yanı sıra metin tabanlı programlama olanakları da sunmaktadır. Bu özellik, başlangıç düzeyindeki öğrencilerden daha ileri düzeyde çalışma gerçekleştiren kullanıcılara kadar farklı grupların aynı ekosistem içerisinde uygulama yapabilmesine yardımcı olmaktadır. Mesafe sensörü, sıcaklık ve nem sensörü, LED modülleri ve LCD ekran gibi çeşitli bileşenlerin kullanılabilmesi sayesinde öğrenciler farklı amaçlara yönelik robotik projeler geliştirebilmektedir. Ayrıca günümüzde yapay zekâ destekli araçların kodlama süreçlerinde kullanılabilmesi, öğrencilerin kod



Şekil 11 *Pinoo robotik kodlama kontrol kartı*

üretme, geliştirme ve hata ayıklama süreçlerinde yeni öğrenme olanakları elde etmelerine katkı sağlayabilmektedir.



Şekil 12 *ESP32-DevKitC V4 geliştirme kartı*

ESP32 Kontrol Kartı: ESP32, özellikle kablosuz iletişim gerektiren elektronik ve robotik uygulamalarda kullanılan, Wi-Fi ve Bluetooth özelliklerine sahip mikrodenetleyici ailesidir. Düşük güç tüketimi ve kablosuz bağlantı yetenekleri, bu kartın nesnelerin interneti (IoT), uzaktan kontrol, akıllı cihazlar ve batarya ile çalışan projelerde tercih edilmesini sağlamaktadır. ESP32 ailesi içerisinde ESP32-WROOM-32, ESP32-S2, ESP32-C3 ve ESP32-S3 gibi farklı özelliklere sahip modeller bulunmaktadır. Model seçimine bağlı olarak işlem gücü, bağlantı özellikleri, enerji tüketimi ve çevre birimleri açısından farklı olanaklar sunulabilmektedir. Çeşitli geliştirme ortamları ve programlama dilleriyle kullanılabilmesi sayesinde ESP32, hem eğitim amaçlı uygulamalarda hem de daha gelişmiş elektronik ve IoT projelerinde değerlendirilebilmektedir.



Şekil 13 *LEGO Education SPIKE Prime Büyük Hub*

LEGO Hub: LEGO'nun eğitim amaçlı robotik sistemlerinde kullanılan Hub'lar, motor, sensör ve diğer elektronik bileşenlerin kontrol edilmesini sağlayan bütünleşik kontrol birimleridir. LEGO yapı parçalarıyla uyumlu biçimde tasarlanmaları, öğrencilerin robotik sistemleri fiziksel olarak oluşturup aynı zamanda programlamalarına olanak tanımaktadır. LEGO'nun farklı eğitim ve robotik ürünlerinde kullanılan Mindstorms EV3, SPIKE Prime, SPIKE Essential ve WeDo 2.0 gibi sistemler farklı Hub seçeneklerine sahiptir. Kullanılan ürün ve yazılım ekosistemine bağlı olarak blok tabanlı programlama ile birlikte Python gibi metin tabanlı programlama olanaklarından da yararlanılabilmektedir. LEGO Hub'ların yapılandırma ve programlama süreçlerinin bir arada yürütülmesi, öğrencilerin tasarım, mühendislik ve kodlama becerilerini uygulamalı etkinlikler aracılığıyla geliştirmelerine katkı sağlamaktadır.

VEX Cortex Kontrol Kartı: VEX Cortex, eğitim ve robotik uygulamalarında kullanılan programlanabilir bir kontrol sistemidir. Çok sayıda giriş ve çıkış birimini desteklemesi, farklı sensör ve motorlarla birlikte çalışabilmesi ve robotik sistemlerin kontrolüne yönelik çeşitli programlama seçenekleri sunması, eğitim amaçlı robot tasarımlarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kablosuz iletişim özelliklerinden yararlanılabilmesi de robotların uzaktan kontrol edilmesine yönelik uygulamaların gerçekleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. VEX sistemleri özellikle STEM eğitiminde öğrencilerin tasarım, mekanik, elektronik ve programlama bilgilerini bir arada kullanabilecekleri uygulamalı öğrenme ortamları oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu yönüyle VEX Cortex, öğrencilerin oluşturdukları robotik sistemleri programlayarak belirli görevleri yerine getirmelerini ve tasarımlarını test ederek geliştirmelerini desteklemektedir.



Şekil 14 *VEX Cortex kontrol kartı*

Farklı özelliklere sahip kontrol kartlarının robotik kodlama eğitiminde kullanılması, öğrencilerin yalnızca kod yazma becerilerini değil, aynı zamanda elektronik sistemlerin çalışma mantığını anlamalarını da desteklemektedir. Sensörlerden alınan verilerin işlenmesi, motorların veya diğer çıkış birimlerinin kontrol edilmesi ve geliştirilen programın fiziksel bir sistem üzerinde test edilmesi, öğrencilerin soyut kodlama kavramlarını somut uygulamalarla ilişkilendirmelerine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle kullanılacak kontrol kartının seçiminde öğrencilerin yaş ve gelişim düzeylerinin yanı sıra projenin amacı, kullanılacak sensör ve modüller, programlama düzeyi ve uygulamanın gerektirdiği teknik özelliklerin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Sensör Teknolojileri ve Sınıflandırılması

Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0) ile birlikte nesneler arası veri akışının ve otomasyonun merkezine yerleşen sensörler, teknolojik dönüşümün en kritik bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Bu durum, küresel sensör pazarının Endüstri 4.0 uygulamalarının ivmesiyle hızlı bir büyüme trendine girmesini sağlamıştır. Günümüzde sensör teknolojileri; tıbbi tanı ve görüntüleme sistemlerinden akıllı tarım uygulamalarına,

otomotiv endüstrisinden savunma sanayisine ve havacılık-uzay çalışmalarına kadar pek çok alanda stratejik işlevler üstlenmektedir.

Çalışma prensipleri ve ürettikleri sinyal türlerine göre sensörler temel olarak analog ve dijital olmak üzere iki ana kategoride değerlendirilmektedir:

- **Analog Sensörler:** Çevreden algıladıkları fiziksel niceliklerle orantılı biçimde sürekli (kesintisiz) bir voltaj veya akım değişimi üreten bileşenlerdir. Bu tür algılayıcılardan elde edilen analog veri akışının, dijital işlemciler ve mikrodenetleyiciler tarafından anlamlandırılabilmesi için analog-dijital dönüştürücüler (ADC) vasıtasıyla sayısal sinyallere çevrilmesi gerekmektedir.
- **Dijital Sensörler:** Modern robotik ve denetim sistemlerinde sıklıkla kullanılan mikrodenetleyici veya bilgisayar tabanlı mimarilere uygun olarak ikili sinyal üreten yapılardır. Mantıksal veri yapısı "0" ve "1" değerleri üzerine kurulu olan bu sistemlerde; "1" durumu durumun varlığını, "0" durumu ise yokluğunu temsil etmektedir (Gök, Uzun, ve Yakın, 2023).

Robotik Kodlamada Kullanılan Sensör Çeşitleri

Robotik sistemlerin çevreden bilgi toplayabilmesi için farklı fiziksel değişkenleri algılayabilen sensörlerden yararlanılmaktadır. Kullanılacak sensörün türü, gerçekleştirilecek projenin amacı ve ölçülmek istenen fiziksel büyüklüğe göre belirlenmektedir. Mesafe, hareket, renk, ışık, sıcaklık, nem, ses, gaz ve benzeri değişkenlerin algılanmasına yönelik çok sayıda sensör bulunmaktadır. Robotik kodlama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bazı sensör türleri aşağıda açıklanmaktadır.

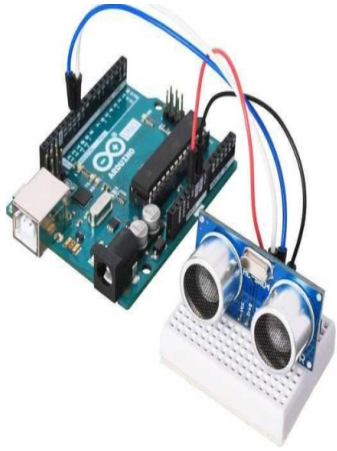


Şekil 15 *Çizgi İzleyen Sensör Modülü (TCRT5000)*

Kızılötesi (IR) sensörler: Kızılötesi sensörler, kızılötesi ışınımın özelliklerinden yararlanarak nesnelerin algılanması, mesafenin belirlenmesi veya çevredeki değişimlerin tespit edilmesi amacıyla kullanılabilmektedir. Kullanılan sensörün yapısına bağlı olarak kızılötesi ışığın yansıması ya da algılanan ışınım miktarındaki değişimler üzerinden ölçüm gerçekleştirilebilmektedir. Hızlı tepki verebilmesi, küçük boyutlu olması

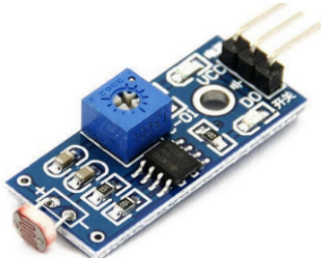
ve çeşitli uygulamalara kolaylıkla uyarlanabilmesi nedeniyle robotik sistemlerde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kızılötesi teknolojiler aynı zamanda savunma, otomotiv, elektronik ve güvenlik gibi farklı alanlarda da değerlendirilmektedir. Kızılötesi ışınımın keşfi 1800 yılında İngiliz astronom William Herschel tarafından gerçekleştirilmiştir.

Ultrasonik sensörler: Ultrasonik sensörler, yüksek frekanslı ses dalgalarından yararlanarak çevrede bulunan nesnelerin uzaklığını belirlemeye yarayan sensörlerdir. Sensör tarafından gönderilen ultrasonik dalgalar bir nesneye çarptığında geri yansımakta ve gönderilen sinyal ile geri dönen sinyal arasındaki süre ölçülerek nesne ile sensör arasındaki mesafe hesaplanabilmektedir. Elde edilen ölçüm, elektronik sistem tarafından işlenebilecek bir veriye dönüştürülerek robotun çevresindeki engelleri algılamasına olanak sağlamaktadır. Bu sensörler robotik sistemlerde mesafe ölçümü ve engel tespitinin yanı sıra otomobillerde park destek sistemlerinde, endüstriyel seviye ölçümlerinde ve çeşitli denizcilik uygulamalarında kullanılabilmektedir.



Şekil 16 *Ultrasonik mesafe sensörü*

Işık sensörleri: Işık sensörleri, bir ortamda bulunan ışık miktarının belirlenmesi ve değişimlerinin izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. LDR, fotodiyot ve fototransistör gibi ışığa duyarlı bileşenler, farklı ışık sensörü uygulamalarında kullanılabilmektedir. Sensör tarafından algılanan ışık seviyesindeki değişimler elektriksel bir sinyale dönüştürülerek kontrol sistemine aktarılmaktadır. Günlük yaşamda kullanılan akıllı telefonların ekran parlaklığının çevredeki aydınlık düzeyine göre otomatik olarak değiştirilmesi, ışık algılama teknolojilerinin kullanımına örnek olarak verilebilir. Robotik kodlama uygulamalarında ise ışığa bağlı olarak çalışan otomatik aydınlatma, çizgi takip ve çeşitli çevresel algılama projeleri geliştirilebilmektedir.



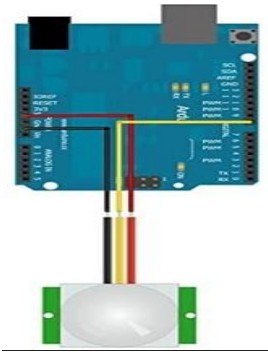
Şekil 17 *LDR ışık sensörü modülü*

Renk sensörleri: Renk sensörleri, bir yüzeyden veya ortamdan yansıyan ışığın özelliklerini analiz ederek renklerin belirlenmesini sağlayan sensörlerdir. Sensör içerisinde bulunan ışığa duyarlı bileşenler aracılığıyla farklı dalga boylarındaki ışık algılanmakta ve özellikle kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) bileşenlerin yoğunlukları değerlendirilerek renk bilgisi elde edilmektedir. Bu sensörler robotik uygulamalarda renk ayrımı ve nesne sınıflandırma gibi amaçlarla kullanılabilmektedir. Bunun yanı sıra tarımda ürünlerin gelişim ve olgunlaşma durumlarının değerlendirilmesi ile endüstriyel otomasyon uygulamalarında da renk sensörlerinden yararlanılmaktadır.



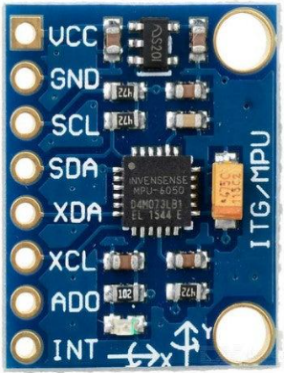
Şekil 18 *TCS34725 RGB renk sensörü modülü*

Hareket sensörleri: Hareket sensörleri, bir ortamda veya belirli bir bölgede meydana gelen hareketliliğin tespit edilmesini sağlayan sensörlerdir. Bu amaçla kullanılan yaygın teknolojilerden biri pasif kızılötesi (PIR) sensörlerdir. PIR sensörler, özellikle canlıların yaydığı kızılötesi ışınımdaki değişimleri algılayarak hareketin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Algılanan değişim elektronik bir sinyale dönüştürülerek mikrodenetleyiciye aktarılabilmektedir. Hareket sensörleri; akıllı ev sistemleri, güvenlik uygulamaları, otomatik aydınlatma sistemleri, bazı hasta takip cihazları ve otomotiv teknolojileri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 19 *Arduino Uno ve PIR hareket sensörü bağlantı şeması*

Jiroskop (gyro) sensörleri: Jiroskop sensörleri, bir nesnenin dönme hareketini ve açısal hızını belirlemek amacıyla kullanılan algılama bileşenleridir. Bu sensörler, bir cismin kendi ekseni etrafındaki dönüş hareketini ve yönelimindeki değişimleri algılayabilmektedir. Özellikle üç eksenli jiroskopların kullanıldığı sistemlerde nesnenin farklı eksenlerdeki açısal hareketleri değerlendirilebilmektedir. Jiroskop



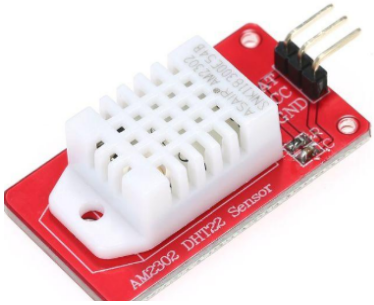
Şekil 20 *GY-521 MPU-6050 sensör modülü*

sensörleri; robotlar, insansız hava araçları, otonom sistemler, sanal gerçeklik cihazları, akıllı telefonlar ve tabletler gibi birçok teknolojik üründe kullanılmaktadır. Ayrıca denizcilik ve havacılık uygulamalarında yönelim ve hareket bilgilerinin belirlenmesinde de bu sensörlerden yararlanılmaktadır.



Şekil 21 *Su seviyesi sensör modülü*

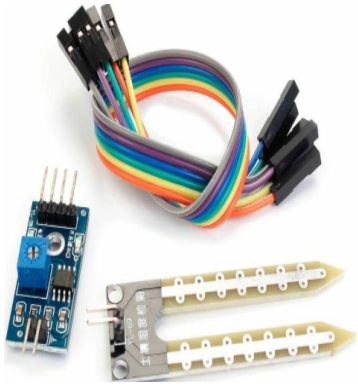
Su seviyesi sensörleri: Su seviyesi sensörleri, tank, depo, havuz veya benzeri yapılarda bulunan sıvının seviyesinin belirlenmesi ve izlenmesi için kullanılmaktadır. Sensörün çalışma prensibi kullanılan teknolojiye göre değişiklik göstermektedir. Şamandıralı sistemlerde sıvının kaldırma kuvvetinden yararlanılırken, ultrasonik sistemlerde ses dalgalarının yüzeyden yansıma süresi değerlendirilmektedir. Hidrostatik sensörlerde sıvının derinliğine bağlı olarak oluşan basınç değişimi, kapasitif sensörlerde ise sıvının miktarına bağlı olarak ortaya çıkan elektriksel özellik değişimleri kullanılmaktadır. Su seviyesi sensörleri arıtma tesisleri, su depoları, endüstriyel otomasyon sistemleri ve sıvı yönetiminin gerekli olduğu çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 22 *DHT22 (AM2302) sıcaklık ve nem sensörü modülü*

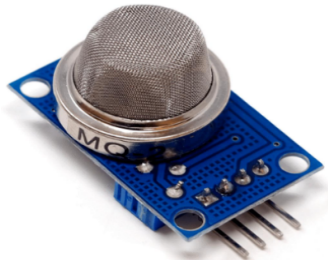
Sıcaklık ve nem sensörleri: Sıcaklık ve nem sensörleri, bir ortamın sıcaklık değerinin ve bağıl nem düzeyinin ölçülmesine yönelik olarak kullanılmaktadır. Sıcaklığın belirlenmesinde termistör veya termokupl gibi bileşenlerden yararlanılabilirken, nem ölçümünde sensörün yapısına bağlı olarak kapasitif veya rezistif algılama yöntemleri kullanılabilmektedir. Elde edilen veriler mikrodenetleyici veya bilgisayar tabanlı sistemlere aktarılarak ortam koşullarının izlenmesi ve gerektiğinde otomatik olarak kontrol edilmesi sağlanabilmektedir. Bu sensörler tarımsal üretim ve depolama, sera sistemleri, akıllı ev uygulamaları, iklimlendirme sistemleri, veri merkezleri ve çeşitli endüstriyel süreçlerde kullanılmaktadır.

Toprak nem sensörleri: Toprak nem sensörleri, toprak içerisindeki nem miktarının belirlenmesi ve izlenmesi amacıyla kullanılan sensörlerdir. Özellikle basit uygulamalarda iki iletken prob aracılığıyla toprak içerisindeki elektriksel özelliklerin değişiminden yararlanılarak nem düzeyi hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Sensörden alınan veriler mikrodenetleyiciye aktarılarak toprağın nem durumuna göre otomatik sulama sistemlerinin çalıştırılması sağlanabilmektedir. Bu nedenle toprak nem sensörleri; akıllı tarım, seracılık ve otomatik sulama projelerinde suyun daha verimli kullanılmasına yönelik uygulamalarda önemli bir işlev üstlenmektedir.



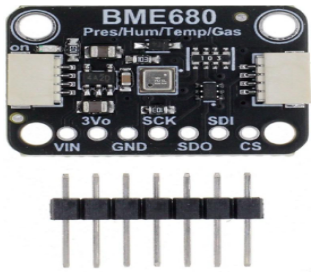
Şekil 23 *Toprak Nem Sensör Seti ve Bileşenleri (YL-69)*

Gaz sensörleri: Gaz sensörleri, belirli gazların ortam içerisindeki yoğunluğunun veya konsantrasyonunun algılanmasına yönelik olarak kullanılmaktadır. Sensörün yapısına bağlı olarak ortamda bulunan gaz molekülleriyle etkileşim sonucunda elektriksel direnç, akım veya gerilim gibi özelliklerde meydana gelen değişimler ölçülmekte ve bu değişimler elektronik sistemler tarafından değerlendirilebilmektedir. Gaz sensörleri özellikle gaz kaçağının tespit edilmesi, ortam güvenliğinin sağlanması ve belirli gazların izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Evlerde, madenlerde, laboratuvarlarda ve çeşitli endüstriyel tesislerde bu sensörlerden yararlanılmaktadır.



Şekil 24 *MQ-2 gaz sensör modülü*

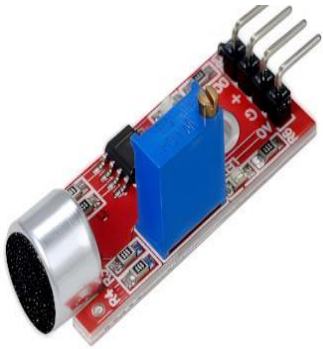
Hava kalitesi sensörleri: Hava kalitesi sensörleri, bir ortamda bulunan belirli gazların, uçucu bileşiklerin veya partikül maddelerin miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Sensörün türüne bağlı olarak karbonmonoksit, karbondioksit, ozon, metan ve çeşitli uçucu organik bileşikler gibi maddelerin



Şekil 25 *Hava kalitesi ve çevre koşullarını ölçen BME680 çevresel sensör modülü*

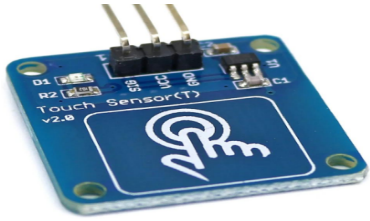
yanı sıra havadaki partikül yoğunluğu da ölçülebilmektedir. Bu sensörlerden elde edilen veriler, ortamın hava kalitesinin izlenmesine ve gerekli durumlarda havalandırma sistemlerinin kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır. Hava kalitesi sensörleri endüstriyel tesislerde, akıllı bina ve ev sistemlerinde, çevresel izleme uygulamalarında ve otomotiv teknolojilerinde kullanılabilmektedir.

Ses sensörleri: Ses sensörleri, ortamda meydana gelen ses kaynaklı titreşimlerin algılanarak elektriksel sinyallere dönüştürülmesini sağlayan sensörlerdir. Mikrofon tabanlı sistemlerde ses dalgalarının oluşturduğu titreşimler bir diyafram aracılığıyla algılanmakta ve transdüser yardımıyla elektriksel sinyale dönüştürülmektedir. Kullanım amacına ve tasarımına göre mikrofon tabanlı, piezoelektrik ve farklı ses algılama teknolojilerine dayalı sensörler bulunmaktadır. Robotik kodlama uygulamalarında ses sensörlerinden belirli bir ses seviyesinin algılanması veya ses değişimine bağlı olarak sistemin tepki vermesi amacıyla yararlanılabilmektedir. Örneğin akıllı ev uygulamalarında belirli bir sesin algılanması sonucunda aydınlatma sisteminin çalıştırılması gibi uygulamalar geliştirilebilir. Bunun yanında güvenlik, endüstriyel otomasyon ve etkileşimli robotik sistemlerde de ses algılama teknolojilerinden yararlanılmaktadır.



Şekil 26 *KY-038 mikrofon ses sensör modülü*

Dokunma sensörleri: Dokunma sensörleri, bir yüzeye uygulanan fiziksel temasın algılanmasını ve bu etkinin elektronik bir sinyale dönüştürülmesini sağlayan sensörlerdir. Kullanılan teknolojiye göre kapasitif ve rezistif olmak üzere farklı çalışma prensiplerine sahip dokunmatik algılama sistemleri bulunmaktadır. Kapasitif sistemlerde temasın oluşturduğu elektriksel kapasite değişimi algılanırken, rezistif sistemlerde temas sonucunda meydana gelen basınç ve direnç değişimlerinden yararlanılmaktadır. Dokunma sensörleri



Şekil 27 *Kapasitif Dokunmatik Sensör Modülü (Touch Sensor v2.0)*

özellikle insan-makine etkileşimi, robotik sistemler, elektronik cihazlar ve kontrol panelleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Farklı sensör türlerinin robotik kodlama uygulamalarına dâhil edilmesi, öğrencilerin fiziksel çevreden veri toplama ve bu verileri program aracılığıyla anlamlandırma süreçlerini deneyimlemelerine olanak sağlamaktadır. Öğrenciler bir sensörden elde edilen veriyi kontrol kartına aktararak belirli koşulların gerçekleşmesi durumunda motor, LED, buzzer veya başka bir çıkış birimini çalıştırabilmektedir. Böylece **algılama → veri işleme → karar verme → tepki oluşturma** şeklinde ifade edilebilecek süreç somut bir uygulama üzerinden öğrenilebilmektedir. Bu yönüyle sensörler, robotik kodlama eğitiminde kodlama ile gerçek yaşam arasındaki bağlantının kurulmasına katkı sağlayan temel bileşenlerden biri olarak değerlendirilebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ve bilgiye erişim olanaklarının çeşitlenmesi, eğitim süreçlerinde öğrencilerin aktif katılımını ve üst düzey düşünme becerilerini destekleyen yaklaşımların önem kazanmasına zemin hazırlayabilmektedir. Bu doğrultuda çağdaş eğitim anlayışının; öğrencilerin yalnızca hazır bilgiyi alan alıcılar olmalarından ziyade, soru sorabilen, araştıran, veriye dayalı değerlendirmeler yapabilen ve karşılaştıkları problemlere bilimsel yöntemlerle çözümler üretebilen bireyler olarak yetişmelerine katkı sağlamayı amaçladığı söylenebilir. Fen eğitiminde robotik kodlama uygulamaları da soyut ve karmaşık kavramların somutlaştırılmasında, teorik bilgilerin günlük yaşamla ilişkilendirilmesinde ve deneyimsel öğrenme ortamlarının kurgulanmasında değerlendirilebilecek işlevsel araçlar arasında yer alabilmektedir. Bu kitap bölümünde ele alınan kuramsal çerçeve, teknolojik araçlar ve fen eğitimindeki kullanım alanları bütüncül bir anlayışla ele alındığında, robotik kodlama entegrasyonunun öğretim süreçlerine farklı açılardan olumlu katkılar sunabileceği düşünülmektedir.

Öncelikle, fen bilimleri derslerinde yer alan sıcaklık, basınç, nem, ışık, manyetik alan, ses ve ivme gibi doğrudan gözlemlenmesi güç kavramların; sensörler (DHT22, LDR, PIR, MPU-6050, ultrasonik sensörler vb.) ve kontrol kartları (Arduino, Deneyap, Pinoo, Raspberry Pi, ESP32 vb.) aracılığıyla ölçülebilir verilere dönüştürülmesi ve böylece teorik bilgiler ile fiziksel dünya arasında anlamlı bağlar kurulması

kolaylaşabilmektedir. Bunun yanı sıra bu tür uygulamaların, öğrencileri teknolojiyi yalnızca tüketen konumdan çıkarıp kendi çözümlerini tasarlamaya ve yönlendirmeye teşvik ederek aktif öğrenme ve üretkenliği destekleyebileceği öngörülmektedir. Nitekim algılama, veri işleme, karar verme ve tepki oluşturma süreçleri üzerinden kurgulanan etkinlikler, öğrencilerin kod yazma, deneme, hata ayıklama ve yeniden düzenleme adımlarına katılım göstermelerine fırsat verebilir. Söz konusu çalışmalar bilişsel düzeyde bilgi işlemsel düşünme, analitik düşünme, problem çözme, algoritma geliştirme ve uzamsal akıl yürütme becerilerine destek sağlama potansiyeli taşırken; grup içinde yürütülen etkinliklerin ise iletişim, sorumluluk alma ve iş birliği gibi sosyal becerilerin gelişimine katkıda bulunabileceği ifade edilebilir. Son olarak; görsel blok tabanlı programlama araçlarından (Scratch, mBlock vb.) metin tabanlı dillere (Python, C/C++) ve entegre robotik setlere (Lego SPIKE Prime, VEX Cortex vb.) uzanan geniş teknoloji yelpazesinin, öğretim süreçlerinin öğrencilerin yaş, hazırbulunuşluk ve gelişim seviyelerine esnek bir biçimde uyarlanabilmesine imkân sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Bu değerlendirmeler doğrultusunda, fen eğitiminde robotik kodlama uygulamalarının daha etkili ve amaca uygun biçimde kullanılabilmesi için öğretim sürecinin planlanması, uygun teknolojik araçların seçilmesi, öğrenme etkinliklerinin yapılandırılması ve değerlendirme süreçlerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda, robotik kodlamanın fen eğitimine entegrasyonuna yönelik aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

1. Robotik kodlama etkinliklerinin fen bilimleri dersi öğretim programında yer alan kazanımlarla ilişkilendirilerek planlanması önerilmektedir. Etkinliklerin, öğrencilerin bilimsel kavramları günlük yaşamla ilişkilendirmelerini ve bu kavramları somut örnekler üzerinden incelemelerini destekleyecek biçimde yapılandırılması önem taşımaktadır.
2. Robotik kodlama uygulamalarında kullanılacak yazılım, kontrol kartı ve sensörlerin seçiminde öğrencilerin yaş düzeyleri, hazırbulunuşlukları ve önceki deneyimleri dikkate alınmalıdır. Uygulamaların basitten karmaşığa doğru aşamalı olarak yapılandırılması, öğrencilerin robotik kodlama süreçlerine uyum sağlamalarını ve bilgi ve becerilerini geliştirmelerini destekleyebilir.
3. Fen konularının öğretiminde sıcaklık, ışık, nem ve mesafe sensörleri gibi araçlardan yararlanılarak ölçme, gözlem ve veri yorumlama

etkinliklerine yer verilmesi önerilmektedir. Bu etkinlikler aracılığıyla öğrencilerin elde ettikleri verileri incelemeleri ve sonuçları ilgili fen kavramlarıyla ilişkilendirmeleri desteklenebilir.

4. Robotik kodlama çalışmalarının günlük yaşamda karşılaşılan problemlere çözüm üretmeyi amaçlayan tasarım görevleriyle ilişkilendirilmesi yararlı olabilir. Öğrencilerin geliştirdikleri çözümleri test etmeleri, karşılaştıkları hataları belirlemeleri ve tasarımlarını yeniden düzenlemeleri, problem çözme ve tasarım süreçlerine aktif katılımlarını destekleyebilir.
5. Robotik kodlama etkinliklerinde iş birliğine dayalı öğrenme ortamlarına yer verilmesi önerilmektedir. Öğrencilerin grup çalışmaları sırasında görev paylaşımı yapmaları, farklı çözüm önerilerini tartışmaları ve ortak kararlar almaları, teknik becerilerin yanı sıra iletişim ve iş birliği becerilerinin gelişmesine de katkı sağlayabilir.
6. Robotik kodlama uygulamalarının fen eğitiminde etkili biçimde kullanılabilmesi için öğretmenlerin teknik bilgi ve pedagojik yeterliklerinin desteklenmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda uygulamalı eğitimlere ve ders tasarımı çalışmalarına yer verilmesi; etkinliklerin planlanmasında ise okulların teknolojik altyapısı ve ekonomik koşulları dikkate alınarak erişilebilir, düşük maliyetli ve yeniden kullanılabilir materyallerin tercih edilmesi önerilmektedir.
7. Robotik kodlama etkinliklerinin değerlendirilmesinde yalnızca ortaya çıkan ürünün niteliğine odaklanılmaması, öğrencilerin uygulama sürecindeki gelişimlerinin de dikkate alınması önerilmektedir. Problem belirleme, çözüm geliştirme, veri yorumlama, hata ayıklama ve tasarımı iyileştirme gibi aşamaların değerlendirme sürecine dâhil edilmesi, öğrencilerin öğrenme süreçlerinin daha bütüncül biçimde ele alınmasına yardımcı olabilir.
8. Robotik kodlama uygulamalarının fen bilimlerinin farklı konu alanlarıyla ilişkilendirilmesi ve uygun etkinliklerde matematik, mühendislik ve teknoloji disiplinleriyle bütünleştirilmesi önerilmektedir. Bu tür disiplinler arası çalışmalar, öğrencilerin farklı alanlarda edindikleri bilgileri ortak bir problem üzerinde kullanmalarına ve disiplinler arasındaki ilişkileri fark etmelerine yönelik öğrenme fırsatları sunabilir.

9. Fen eğitiminde robotik kodlama kullanımına ilişkin gelecekteki araştırmalarda farklı sınıf düzeylerinin, fen konu alanlarının ve uygulama sürelerinin dikkate alınması önerilmektedir. Öğrencilerin fen kavramlarını öğrenmeleri, bilimsel süreç becerileri ve problem çözme yaklaşımlarının incelenmesi, robotik kodlama uygulamalarının hangi koşullarda daha işlevsel olabileceğine ilişkin daha kapsamlı sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Adams Becker, S., Freeman, A., Giesinger Hall, C., Cummins, M., ve Yuhnke, B. (2016). NMC/COSN horizon report: 2016 K-12 edition. Austin, Texas:The New Media Consortium. Retrieved September 29, 2026 from https://www.learntechlib.org/p/173568/.

Aksu, F. N. (2019). *Bilişim teknolojileri öğretmenleri gözünden robotik kodlama ve robotik yarışmaları* (Tez No. 613670) [Yüksek lisans tezi, BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. Themes in Science and Technology Education, 6(1), 63-71.

Alimisis, D. ve Kynigos, C. (2009). Constructionism and robotics in education. D. Alimisis (Ed.), Teacher education on robotics-enhanced constructivist pedagogical methods. (pp. 11-26). ASPETE: Athens.

Ananiadoui, K., ve Claro, M. (2009). 21st century skills and competences for new millennium learners in OECD countries. https://doi.org/10.1787/218525261154

Ayas, A., Karamustafaoğlu, S., Sevim, S., ve Karamustafaoğlu, O. (2002). Genel kimya laboratuvar uygulamalarının öğrenci ve öğretim elemanı gözüyle değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23, 50-56.

Barak, M., ve Assal, M. (2018). Robotics and STEM learning: Students' achievements in assignments according to the P3 Task Taxonomy-practice, problem solving, and projects. International Journal of Technology and Design Education, 28(1), 121-144. https://doi.org/10.1007/s10798-016-9385-9

Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers ve education*, *58*(3), 978-988.

Beran, T., Ramirez Serrano, A., Kuzyk R., Fior M., ve Nugent S. (2011).Understanding how children understand robots: Percieved animism in child-robot interaction. International Journal of Human-Computer Studies, 69, 539-550.

Büyük, U. (2015). Robotik destekli fen ve teknoloji laboratuvar uygulamaları: Robolab. *Journal of Turkish Studies*, *10*(3), 213-213. https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.7953

Bybee, R. W. (2013). The case for STEM education: Challenges and opportunities.

Cakir, N. K., ve Guven, G. (2019). Arduino-Assisted robotic and coding applications in science teaching: Pulsimeter activity in compliance with the 5E learning model. *Science Activities*, *56*(2), 42-51. https://doi.org/10.1080/00368121.2019.1675574

Catlin, D. (2012). Maximising the effectiveness of educational robotics through the use of assessment for learning methodologies. Proceedings of 3rd International workshop teaching Robotics, Teaching with Robotics, Integrating Robotics in School Curriculum, (s. 2-11). Riva del Garda (Trento, Italy).

Cejka, E., Rogers, C., ve Portsmore, M. (2006). Kindergarten robotics: Using robotics to motivate math, science, and engineering literacy in elementary school. International Journal of Engineering Education, 22(4), 711.

Chaudhary, V., Agrawal, V., Sureka, P., ve Sureka, A. (2016). An experience report on teaching programming and computational thinking to elementary level children using lego robotics education kit. In T. Fukuda (Ed.), 2016 IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E) (pp. 38-41). Institute of Electrical and Electronics Engineers. https://doi.org/10.1109/T4E.2016.016

Chebotareva, E., ve Gavrilova, L. (2019, October). Educational mobile robotics project" ros-controlled balancing robot" based on Arduino and Raspberry Pi. In 2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE) (pp. 209-214). IEEE. https://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00047

Ching, Y. H., Yang, D., Wang, S., Baek, Y., Swanson, S., ve Chittoori, B. (2019). Elementary school student development of STEM attitudes and perceived learning in a STEM integrated robotics curriculum. TechTrends, 63(5), 590-601. https://dx.doi.org/10.1007/s11528-019-00388-0

Crane, E., Kinney, E., ve Jeffrey, B. (2000). Industrial tests of electronic cards. Mesures (1983), no.729, p. 89-91.

Çepni, S. A. L. İ. H. (2013). Fen ve teknoloji programı (Tanıma, planlama, uygulama ve SBS'yle ilişkilendirme): İlköğretim 1. ve 2. kademe öğretmen el kitabı.

Edyburn, D. L. (2010). Would you recognize universal design for learning if you saw it? Ten propositions for new directions for the second decade of UDL. *Learning Disability Quarterly*, *33*(1), 33-41.

Eguchi, A. (2016). RoboCupjunior for promoting STEM education. 21st century skills, and technological advancement through robotics competition. Robotics and Autonomous Systems, 75, 692-699. https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.05.013

Eguchi, A. (2017). Bringing robotics in classrooms. In Robotics in STEM education (pp. 3-31). Springer, Cham.

Fanchamps, N., Slangen, L., Specht, M., ve Hennissen P. (2023). Effect of SRA-programming on computational thinking through different output modalities. Journal of Computers in Education., 10, 433-462. https://doi.org/10.1007/s40692-022-00236-w.

Gök, A., Uzun, E., ve Yakın, I. (2023). *Elektronik programlama ve nesnelerin interneti (EPNİ): Deneyap Teknoloji Atölyelerine yönelik lise EPNİ modülleri*. TÜBİTAK Yayınları. https://www.deneyap.org/tr/egitim/elektronik-programlama-ve-nesnelerin-interneti/

Grubbs, M. (2013). Robotics intrigue middle school students and build STEM skills. *Technology and engineering Teacher*, *72*(6), 12.

Gülçiçek, C. ve Güneş, B. (2004). Concretizing of concepts in science teaching: Modelling strategy, computer simulations and analogies. Education and Science, 29(134), 36-48.

Günüç, S. (2017). Eğitimde teknoloji entegrasyonunun kuramsal temelleri. Anı Yayıncılık: Ankara.

Güven, G., ve Çakır, N. (2020). *Fen eğitiminde robotik kodlama*. Eğiten Kitap.

Güven, G., ve Kozcu Çakır, N. (2020). *Fen eğitiminde robotik kodlama serüveni*. Eğiten Kitap.

Hacker, L. (2003). Robotics in education: ROBOLAB and robotic technology as tools for learning science and engineering. *Unpublished Senior Thesis, Department of Child Development, Tufts University*.

Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., ve Freeman, A. (2015). NMC horizon report: 2015 higher education edition. Austin, Texas: The New Media Consortium.

Jonassen, D. H., ve Rohrer-Murphy, L. (1999). Activity theory as a framework for designing constructivist learning environments. *Educational technology research and development*, *47*(1), 61-79.

Jung, S. E., Lee, K., Cherniak, S., ve Cho, E. (2019). Non-sequential learning in a robotics class: insights from the engagement of a child with autism spectrum disorder. Technology, Knowledge and Learning, 25(1), 63-81. https://doi.org/10.1007/s10758-018-9394-8

Kılınç, A. (2014). *Robotik teknolojisinin 7. sınıf ışık ünitesi öğretiminde kullanımı* (Tez No. 382061) [Yüksek lisans tezi, ERCİYES ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Koç Şenol, A. (2012). Robotik destekli fen ve teknoloji laboratuvar uygulamaları: ROBOLAB (Tez No. 323455) [Yüksek lisans tezi, ERCİYES ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Lindh. J. ve Holgersson H. (2007). Does Lego training stimulate pupils' ability to solve logical problems? Computers ve Education, 49(4), 1097-1111.

Mayer, R. E., ve Fiorella, L. (2014). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and

Temporal Contiguity Principles. Içinde R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. bs., ss. 279-315). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.015

Mishra, P., ve Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, *108*(6), 1017-1054.

Mubin, O., Stevens, C.J., Shahid, S., Al Mahmud, A., ve Dong, J.J. (2013). A review of the applicability of robots in education. Journal of Technology in Education and Learning, 1, 1-7.

Oh, M., ve Lawson, F. (2020). The engineering ed project: dealing with failure and the robotic future– engaging students in multidisciplinary STEM learning. School Science Review, 101(376), 51-56.

Okkesim, B. (2014). *Fen ve teknoloji eğitiminde robotik uygulamaları* (Tez No. 368164) [Yüksek lisans tezi, ERCİYES ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Peixoto, A., Castro, M., Blazquez, M., Martin, S., Sancristobal, E., Carro, G., ve Plaza, P. (2018, April). Robotics tips and tricks for inclusion and integration of students. In 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 2037-2041). IEEE.

Pohanka, M., Pavliš, O., ve Skládal, P. (2007). Rapid Characterization of Monoclonal Antibodies using the Piezoelectric Immunosensor. *Sensors*, *7*(3), 341-353. https://doi.org/10.3390/s7030341

Popat S., ve Starkey, L. (2019). Learning to code or coding to learn? A systematic review. Computers & Education, 128, 365-376.

Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants. On the Horizon, 9(5), 1-5.

Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., ... & Kafai, Y. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, *52*(11), 60-67.

Roblyer, MD ve Hughes, JE (2019). Eğitim teknolojisini öğretime entegre etmek: Disiplinler arası öğrenmeyi dönüştürmek. *(Başlıksız)* .

Şimşek, K. (2019). *Fen bilimleri dersi madde ve ısı ünitesinde robotik kodlama uygulamalarının 6. sınıf öğrencilerinin akademik başarı ve bilimsel süreç becerileri üzerine etkisinin incelenmesi* (Tez No. 608796) [Yüksek lisans tezi, MARMARA ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Taylor, K., ve Baek, Y. (2017). Collaborative robotics, more than just working in groups. Journal of Educational Computing Research, 56(7), 979-1004. https://doi.org/10.1177/0735633117731382

Toytok, E. H., ve Gürel, S. (2019). Does Project Children's University Increase Academic Self-Efficacy in 6th Graders? A Weak Experimental Design. *Sustainability*, *11*(3), 778. https://doi.org/10.3390/su11030778

Ülger, K. (2021). Uzaktan eğitim modelinde karşılaşılan sorunlar-fırsatlar ve çözüm önerileri. *Uluslararası Güncel Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 393-412.

Varnado, TE (2005). *Teknolojik bir problem çözme etkinliğinin FIRST™ LEGO™ Ligi katılımcılarının problem çözme tarzı ve performansı üzerindeki etkileri* (Doktora tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University).

Williams, D.C., Ma, Y., Prejean, L., Ford, M.J., ve Lai, G. (2007). Acquisition of physics content knowledge and scientific inquiry skills in a robotics summer camp. Journal of Research on Technology in Education, 40(2), 201-216.

Woodard, B.S. (2003). Technology and the constructivist learning environment: Implications for teaching information literacy skills. Research Strategies, 19(3-4), 181-192.

Yıldız, S., ve Zengin, R. (2025). *Eğitimde yapay zeka: Temelleri, kullanım alanları ve yapay zeka okuryazarlığı*. İKSAD Yayınevi. https://doi.org/10.5281/zenodo.15207187

Yiğit, N. ve Özmen, H. (2006). Examining the models prepared fort he science teaching in terms of educational objectives aimed. Ondokuz Mayis University Journal of Education Faculty, 21, 1-14.

Yolcu, V. (2018). *Programlama eğitiminde robotik kullanımının akademik başarı, bilgi-işlemsel düşünme becerisi ve öğrenme transferine etkisi* (Tez No. 509835) [Yüksek lisans tezi, SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ]. Ulusal Tez Merkezi.

Yurdakul, B. (2007). Yapılandırmacılık. Ö. Demirel (Ed.), *Eğitimde yeni yönelimler* (3. baskı, ss. 39–68) içinde. Pegem A Yayıncılık.

Yüksel, İ., Şahin, E., ve Düzgün, S. (Ed.). (2024). *Robotik kodlama ve akıl yürütme*. Nobel Akademik Yayıncılık.

OKUL DIŞI STEM DENEYİMLERİ VE 21. YÜZYIL BECERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Şafak Yucasu*, Raşit Zengin**

GİRİŞ

Günümüzün gerektirdiği şartlara uyum sağlayabilmek için çok yönlü bireylerin yetişmesi önemli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda uluslararası düzeyde rekabet gücüne sahip olmada, sadece fen alanına değil, kişilerin gelişimini her açıdan destekleyecek bütüncül eğitim anlayışına öncelik verilmesi önem arz etmektedir. Fen bilimlerinde başarılı olduğu ölçüde sosyal açıdan da başarılı, işbirliği yapabilen, eleştirel düşünebilen, dil becerileri aracılığı ile iletişim kuran, teknolojik becerilere sahip, fen- mühendislik ilişkisini kuran, yeni fikir üretebilen bireylerin yetiştirilmesine dayanan eğitimin sağlanması için gerekli olan ortamların hazırlanması gerekmektedir (Karademir ve Karademir, 2021). Dünyada gerçekleşen değişimlere uyum sağlayabilmek amacıyla öğretim programlarında yeni yaklaşımlar yer almaya başlamıştır. Bu yaklaşımlardan biri de STEM yaklaşımıdır (Fındık vd., 2023). STEM, okul öncesinden başlanmak üzere yükseköğretime kadar bütün öğretim sürecini ele alan disiplinlerarası yaklaşım olarak belirtilmektedir (Gonzalez ve Kuenzi, 2012). Günümüzde eğitim-öğretim okul duvarları dışına çıkan, öğretmenin rehber, öğrencinin merkezde olduğu ve yaşam ile iç içe ortamlarda yapılan bir hal almaktadır (Oktay, 2023). 21. yüzyıl (yy) da hızlı bir şekilde gelişen teknoloji etkisi, 21. Yy bireylerinin farklı gereksinimlerinin olması, kişilerin farklı ortamda öğrenebilmesinin yapılan araştırmalar ile raporlanmasıyla birlikte "okul dışı öğrenme" (ODÖ) eğitim- öğretimde yapılan araştırmaların önemli alt alanı durumuna gelmiştir (Aydın Günbatar, 2021). Okul bahçeleri, milli parklar, doğa ve doğa okulları, sanal ve kodlama atölyeleri, spor merkezleri, akvaryumlar, sanat galerileri, bilim kafeler, planetaryumlar,

* Doktor, Fırat Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye/ Orcid: 0009-0009-4328-1344.

** ** Prof. Dr., Fırat Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye/ Orcid: 0000-0002-1624-6406.

sanayi kurum ve kuruluşları gibi ortamlar okul dışı ortamları olarak belirtilmektedir (Karamustafaoğlu, 2021). Ayrıca bilim merkezleri ve müzeler de ODÖ ortamlarına örnek verilebilir (Eshach, 2007).

Son yıllarda STEM ve ODÖ yaklaşımları dünyada yaygın olarak kullanılmasıyla ODÖ ortamlarında STEM etkinliklerinin gerçekleştirilmesi önem kazanan, öne çıkan bir konu olmuştur (Özdem Yılmaz, 2018). STEM temelli ODÖ programları, öğrencilerin sosyal becerilerini geliştirmesinin yanında öğrencilerin fen başarısını ve STEM alanlarına ilgilerini olumlu olarak etkilemektedir (Karamustafaoğlu, 2021). Ayrıca okul dışı STEM etkinlikleri bireylerin 21. yy becerilerinin gelişmesine katkı sağladığı yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur (Ayaydın vd., 2026; Bozkurt Altan vd., 2019). Bu bölüm; 'Okul Dışı Öğrenme Nedir?', 'STEM Eğitimi ve 21. Yüzyıl Becerileri', 'Okul Dışı STEM ve 21. Yüzyıl Becerileri' ni incelemektedir.

Okul Dışı Öğrenme (ODÖ) Nedir?

İçinde bulunduğumuz dönemde eğitim- öğretim sadece okul ortamı ile sınırlı olmayıp, okulun dışarısında da planlı olarak devam etmektedir. Okul ortamı dışında planlı olarak bilgi edinme gereksinimi okul dışı öğrenme ortamları (ODÖO) ile sağlanmaktadır (Bakioğlu ve Karamustafaoğlu, 2020). Okulun dışında gerçekleştirilen öğrenmeler, sınıfta gerçekleştirilen formal öğretimden tümüyle bağımsız değildir. Sınıfın dışında gerçekleştirilen öğrenci kazanımlarının sağlanmaya çalışıldığı öğretim çabalarıdır. ODÖ, sınıfın dışında gerçekleştirilen bütün öğretim etkinliklerini içermektedir. Bu anlamda, okulun bahçesi, çevrede bulunan bahçe ve park gibi alanlar ODÖO'dır (Karamustafaoğlu, 2021). ODÖO olarak, bilim merkezleri, milli parklar, gökevleri, sanat galerileri, doğal müzeler, hayvanat bahçeleri, spor merkezleri, sanayi ve sağlık kuruluşları, botanik bahçeleri vb. ifade edilmektedir (Şen, 2023). Müzeler, okul dışı laboratuvarlar ve bilim merkezleri gibi ODÖO, birçok ülkede okul da verilen eğitimi zenginleştirmektedir (Neher Asylbekov ve Wagner, 2023).

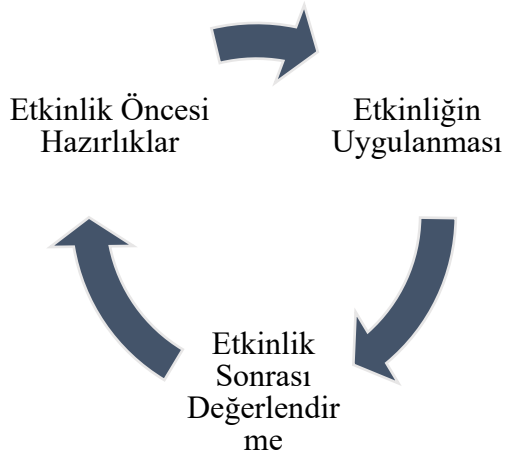
ODÖ, öğrencileri aktif olarak uygulama yapmaları ve öğrenmeleri için teşvik etmesiyle birlikte öğrencilerin akademik öğrenmelerini gündelik yaşamla ilişkilendirmelerine imkân sunabileceği belirtilmiştir (Tarcan Karabulut ve Salar, 2025). ODÖ; doğa gezileri, botanik bahçeleri ve müzeler gibi ortamlarda yapılabildiği gibi, planlı bir içerik ile bilim okulları ve kamplarda da yapılabilir (Bozkurt Altan vd. 2019).

Okul dışı etkinliklerde temel nokta okulda yapılacak olan dersin seçilen informal ortamda gerçekleştirilmesidir. Yani dersin okul dışı bir ortamda işlenmesidir. Bu bağlamda yapılacak olan etkinlikler yalnızca bir gezi olarak değerlendirilmemektedir. ODÖO ifadesi sınıfta dört duvar arasında mevcut olarak yapılan eğitimden "*kaçış*" olarak belirtilebilir. Farklı bir ifade olarak "*okulun dünyaya açılan kapısıdır*". Bu bağlamda mahallede bulunan park gibi kurumsal olmayan şartlar da okul dışı ortamlardır. Böylece zaman, maliyet veya uzaklık gibi zorluklarda ortadan kalkmış olacaktır (Şen, 2023).

Öğrenme faaliyetlerinin okul ve sınıf sınırlarının dışına çıkarak toplumun eğitim sürecine katılması, "Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM)"nin önem verdiği noktalardandır (MEB, 2025). "Türkiye'nin Geleceği İçin Özgün Bir Tasarım: Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli" raporunda ODÖ'ye şu şekilde yer verilmiştir; " *Modelde öğrencilerin toplum bilincine sahip, aktif vatandaşlar olmaları için okul dışı öğrenme deneyimleri sunan program dışı etkinliklere yer verilmiştir. Program dışı etkinlikler ile zihinsel, sosyal, duygusal, fiziksel ve ahlaki gelişimi desteklemek; kazanılan becerilerin gerçek hayatta uygulanmasına olanak tanımak, okullarda yürütülen akademik çalışmaları zenginleştirmek, zamanı etkili kullanmak ve estetik duyarlılığı artırmak amaçlanmıştır. Program dışı etkinlikler, belirtilen amaç doğrultusunda bütüncül eğitimin destekleyicisi olarak görülmüştür. Öğrencilerin kendilerini tanımalarına yardımcı olan program dışı etkinlikler, öğrencilere yaşam becerilerini keşfetmeleri ve geliştirmeleri için fırsatlar sunar"* (MEB, 2025 s.85).

Günümüzde öğrenme ortamları, okul dışındaki pek çok farklı ortamı da kapsamaktadır. Okul bahçesinden mahallede bulunan oyun parkı, hastaneler ve müzelere kadar olan her yer okul dışı ortam olarak kullanılabilmektedir. Okuldaki formal eğitime zenginleştirici, tamamlayıcı olarak katkı sağlayan ODÖ'dir. ODÖ öğretim programını içerik olarak temel alması nedeni ile okuldan bağımsız olarak ele alınmamaktadır. Ele alınan içerik sınıf içerisindeki eğitimdeki gibi belli bir yöntem ile işlenir. ODÖ'de etkinlik öncesi hazırlık, etkinliğin uygulanması ve değerlendirilmesi olmak üzere üç aşamada etkinliklerin uygulanması gerçekleştirilmektedir (Şen, 2023).

ODÖ'de etkinliklerin uygulama aşamaları bulunmaktadır. Bu aşamalara ait şekil aşağıda sunulmuştur (Şen, 2023);



Şekil 1. Okul Dışı Etkinliklerin Uygulanmasındaki Aşamalar (Şen, 2023)

Etkinlik öncesi hazırlıkların yapıldığı aşamada bazı noktalar dikkate alınmalıdır (Şen, 2023);

- Akış, zaman, gidiş ve dönüş ulaşımının planlanması yapılmalıdır.
- Ailelerin ve okul yönetiminin izni alınmalıdır.
- Gidilecek olan ortamda görüşülecek kişi belirlenmelidir.
- Gerektiğinde öğretmenin yanında yardımcı personel sağlanmalıdır.
- Açık alan etkinlikleri düzenlendiğinde kötü hava koşullarına karşın alternatifler belirlenmelidir.
- Ortamda kullanılabilecek materyal belirlenerek bilgi alınmalıdır.
- Öğrencilere gidilecek ortamda yapılacak etkinlik ile ilgili bilgi verilmelidir.
- Öğrencilerin uyması gereken kurallar belirtilmelidir.
- Ailelere gidilecek olan ortam ile ilgili bilgilendirme yazısı hazırlanabilir.
- Öğrencilere ortam ile ilgili resim çekebilmeleri için imkân sağlanabilir.
- Öğrencilerin gördüklerini not alabilmeleri amacıyla kâğıt/kalem yanlarında bulundurmaları söylenmelidir.
- ODÖ etkinlikleri bir ders saati içerisine sınırlanamayacak süredir. Bu bağlamda ders saati temini sağlanmalıdır.

- Acil durumlarda öğrenci ve ailelerinin telefon numaraları not edilmelidir.
- Engeli olan öğrencilerin gereksinimlerini giderecek önlemler önceden alınmalıdır.
- Kısa süreli etkinliklerde su, uzun süreli etkinliklerde su ile birlikte yemek ihtiyaçların planı yapılmalıdır (Şen, 2023).

Etkinliğin uygulamasının yapıldığı aşamada içerik, yöntem, ortam ilişkisine bağlı olarak hazırlanan planın uygulanması gerçekleşmektedir (Şen, 2023). Bu aşamada;

- Öğrenciler organizasyonun kuralları ile ilgili bilgilendirilmelidir.
- Grup olarak çalışma yapılması durumunda bunlar belirlenmelidir.
- Etkinliğin belli zamanlarında öğrencilere çalışma kâğıtlarını doldurmaları için süre verilmelidir.
- Öğrencilerin ortamı gezebilecekleri serbest zaman dilimi verilmelidir (Şen, 2023).

Etkinlik sonrası değerlendirme aşamasında değerlendirme etkinlik gerçekleştirildikten sonra faaliyetin yapıldığı ortamda yapılabileceği gibi ziyaret sonrasında sınıf veya okulda da yapılabilir. Soru- cevap yöntemi ile sürecin özetlenmesi ve anlaşılmayan, eksik kalan kısımların tartışma yöntemi ile netleştirilmesi en kolay değerlendirme yoludur. Ayrıca alan yazında yer alan kavram haritaları, kompozisyon-mektup yazma, metin çözümlemesi, fotoğraf sergisi, zihin haritaları, gazete/poster/broşür, bulmacalar gibi tamamlayıcı ölçme değerlendirme yöntemleri kullanılabilir (Şen, 2023).

ODÖO, öğrencilerin duyuşsal ve bilişsel gelişimleri ile birlikte onların yaşam becerilerinin de gelişmesi için deneyimler sunan öğrenme yaklaşımıdır (Mann, 2018). Hayatın içinden bilgileri araştıran-sorgulayan, problem çözebilen öğrencilerin var olabilmesinde ODÖO'ya gereksinim duyulmaktadır (Karamustafaoğlu ve Bakioğlu, 2023). Bu ortamlar ile öğrenciler, gözlem, veri toplama çıkarım yapma gibi bilimsel süreç becerilerini günlük yaşamlarında deneyimlerken; iş birliği, yaratıcılık, iletişim ve problem çözme gibi 21. yy becerilerini de geliştirme fırsatı elde ederler (Ayvazoğlu, 2025).

STEM Eğitimi ve 21. Yüzyıl Becerileri

STEM (Science) Fen, (Techonology) Teknoloji, (Engineering) Mühendislik ve (Matmematics) Matematik kelimelerinin baş harflerinin

bir araya gelmesi ile oluşmuştur (Karataş, 2018; Yıldız ve Zengin, 2023). STEM fen, teknoloji, matematik ve mühendislik disiplinlerinin entegrasyonudur (Bybee, 2010). STEM'in temeli yapılandırmacı felsefeye dayanmaktadır (Thomas ve Watters, 2015; Glancy ve Moore, 2013). STEM eğitimi fen ve matematik bilgilerinin teknoloji ve mühendisliğin pratik ve uygulamalarıyla bütünleştirilmesidir (Akgündüz vd., 2015a, Akgündüz vd., 2015b).

Öğrenenlerin, 21. yy da günümüzün ihtiyaçlarına yanıt verebilmesi, yaşanan dünyada var olmak için ve dünyaya faydalı olabilmek için problem çözme, iletişim, iş birliği ve eleştirel düşünme gibi becerileri edinmeleri gerekir (The Partnership for 21st Centry Skills, 2009). Teknolojideki yaşanan değişimler yanında toplumda gereksinim olan insan gücü niteliğinde değişimleri getirmiştir. Bu değişimler ile eğitim sisteminde de düzenlemeleri getirmiştir. 21. yy becerileri olarak ifade edilen ve STEM eğitiminin önem verdiği iş birliği yapabilme, eleştirel düşünme, problem çözme ve yaratıcılık becerilerinin geliştirilmesi gerektiği oluşmuştur (Pekşen Süslü, 2022).

Okul Dışı STEM ve 21. Yüzyıl Becerileri

ODÖO'da uygulanmakta olan birçok öğrenme yaklaşımı yer almaktadır. Öğrencilerin 21. yy becerilerinin gelişmesinde de etkili olan STEM bunlardan biridir (Ayaydın vd. 2026). ODÖO'nun öğrencilerin bilgilerinin artmasını ve böylelikle gündelik yaşamdaki problemleri çözme becerisi kazanmalarını hedeflediği (Türkmen, 2010), bu durumunda STEM'in felsefesi ile uygunluğu düşünüldüğünde ODÖO'nın STEM bağlamında önemi daha iyi anlaşılabilir (Atabek Yiğit ve Balkan Kıyıcı, 2022).

Fen bilimlerinin, teknolojinin, matematik ve mühendisliğin temelinin doğaya dayandığı bilinmektedir. Bu bağlamda belirtilen disiplin alanlarının doğal ortamlarda öğretilmesi uygun görülmektedir. Gereksinim duyulan materyaller, süreçler, olgular ve çözüm bekleyen problemler doğada kolay bir şekilde bulunabilir. Doğal ortamlar ile birlikte diğer okul dışı öğrenme ortamları da STEM farkındalığı geliştirilmesi ve 21. yy becerilerinin geliştirilmesi açısından zenginleştirilmiş öğrenme imkânı vermektedir (Çevik vd. 2024).

Okul dışında yapılan etkinlikler, öğrenenlerin derse ilgisini artırmaktadır (Bogner ve Wiseman, 2004). ODÖO'daki STEM etkinlikleri, bireylerin STEM ve 21. yy becerileri konusundaki

farkındalıklarını artırdığı belirtilmiştir (Çevik vd. 2024). Ayrıca yapılan bir çalışmada okul dışı STEM etkinlikleri, deney grubundaki öğrencilerde karar verme becerisini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Kayabaş ve Aydın, 2018). STEM'in ana amaçlarından biri olarak kişilerin 21.yy gerekliliklerine uygun olarak gelişmelerine katkıda bulunmak olduğu ve bu gereklilikler arasında çözüm üretme, yaratıcı ve eleştirel düşüme, iletişim kurabilme ve problem çözme becerilerinin olduğu (Çepni, 2017; Akt; Atabek Yiğit ve Balkan Kıyıcı, 2022) dikkate alındığında ODÖO'nun STEM etkinliklerine önemli fırsatlar sunduğu söylenebilir (Atabek Yiğit ve Balkan Kıyıcı, 2022).

ODÖO'da gerçekleştirilen STEM etkinliklerini çeşitli değişkenler açısından inceleyen çalışmalar mevcuttur (Avan vd., 2019; Baran vd. 2016; Boz, 2023; Kalik, 2022; Kayabaş, 2019; Üçüncüoğlu vd. 2023; Tarcan Karabulut ve Salar, 2025; Şahin, 2020). Okul dışı ortamlarda STEM eğitiminin 21. yy becerilerine etkisini farklı yaş gruplarında inceleyen çalışmalarda literatür de mevcuttur. Örneğin; Bozkurt Altan vd. (2019) araştırmalarında ODÖO'da gerçekleştirilen STEM eğitiminin ortaokul öğrencilerinin STEM çalışma alanlarına ilgisini, bu alanlara yönelik farkındalıklarını artırdığını ve 21. yy becerilerinin gelişmesinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı bir çalışmada da okul dışı ortamlarda gerçekleştirilen STEM eğitiminin lise öğrencilerinin 21. yy becerilerini geliştirdiği sonucu elde edilmiştir ve okul dışı STEM etkinliklerinin yaygınlaştırılması önerilmiştir (Ayaydın vd., 2026). Çevik vd. (2024) yaptıkları çalışmada okul dışı ortamda gerçekleştirdikleri STEM etkinlikleri ile öğretmenlerin STEM farkındalıklarını ve 21. yy becerine etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre öğretmenler, edindikleri beceri ve bilgileri kendi öğrencilerinin problem çözme becerilerini, özgüvenlerini, analitik düşünmelerini ve motivasyonlarını desteklemede kullanacakları yönündedir. Ayrıca STEM ve 21. yy becerileri eğitiminde ODÖO'nun daha çok kullanılması araştırmada önerilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan okul dışı STEM etkinlikleri bireylerin 21. yy becerilerini geliştirdiği yöndedir (Ayaydın vd., 2026; Çevik vd. 2024). ODÖO'da STEM ile ilgili yapılan çalışmalar öğrencilerin beceri gelişimini STEM alanlarına ilgilerini, bu alanlara ait kariyer düşüncelerini olumlu etkilediği de belirtilmektedir (Atabek Yiğit ve Balkan Kıyıcı, 2022).

Sonuç olarak okul dışı STEM etkinlikleri bireylerin çeşitli yönlerini geliştirdiği araştırmaların sonuçlarına bağlı olarak söylenebilir. Ayrıca STEM eğitiminin erken yaşlardan itibaren ele alınması belirtilmektedir (Çetin ve Demircan, 2020). Bununla birlikte okul öncesi dönemde ODÖO, çocukların beceriler kazanmalarını, gelişimlerini ve meraklarını keşfetmelerini desteklemektedir (Karbeyaz vd., 2023). ODÖO'nın okul öncesi dönemden itibaren kullanılması gerektiğinin düşünüldüğü ifade edilmiştir (Yucasu ve Kırbağ Zengin, 2025). Bu bağlamda okul dışı STEM etkinliklerine okul öncesinden yükseköğretime kadar tüm kademelerde yer verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca STEM'e dayalı okul dışı ortamlarda gerçekleştirilen çalışmalar "TÜBİTAK 4004 ve 4006" projeler ile gerçekleştirilmiştir (Karamustafaoğlu, 2021). Örneğin Avan vd. (2019) "*TÜBİTAK 4004 Doğa Eğitimi ve Bilim Okulları" kapsamında* gerçekleştirdikleri proje sonucunda okul dışı STEM etkinlikleri sonrasında öğrencilerin bilimsel süreç, problem çözme ve eleştirel düşünme becerilerinin, astronomiye ilgilerinin olumlu olarak geliştiğini elde etmişlerdir. Bu bağlamda okul dışı STEM etkinliklerine yer verilerek tüm kademelere yönelik projeler hazırlanabilir ve 21. yy becerilerine okul dışı STEM deneyimlerinin etkisi incelenebilir.

KAYNAKÇA

Akgündüz, D., Aydeniz, M., Çakmakçı, G., Çavaş, B., Çorlu, M. S., Öner, T. ve Özdemir, S. (2015a). *STEM eğitimi Türkiye raporu* https://www.aydin.edu.tr/tr-tr/arastirma/arastirmamerkezleri/stem/Documents/STEM%20e%C4%9Fitimi%20T%C3%BCrkiye%20raporu%20g%C3%BCn%C3%BCn%20modas%C4%B1%20m%C4%B1%20yoksa%20gereksinim%20mi.pdf. (E.T.:12.10.2026).

Akgündüz, D., Ertepınar, H., Ger, A. M., Kaplan Sayı, A. ve Türk, Z. (2015b). *STEM eğitimi çalıştay raporu: Türkiye STEM eğitimi üzerine kapsamlı bir değerlendirme.* İstanbul Aydın Üniversitesi: STEM Merkezi ve Eğitim Fakültesi. http://etkinlik.aydin.edu.tr/dosyalar/IAU_STEM_Egitimi_Calistay_Raporu_2015.pdf. (E.T.:12.10.2026).

Atabek Yiğit, E.ve Balkan Kıyıcı, F. (2022). STEM Eğitiminde okul dışı öğrenme ortamları. H. Nuhoğlu (Ed). *Eğitimcinin STEM öğrenme yolculuğu* içinde (2. Baskı, s.304-326). Ankara: Pegem Akademi.

Avan, Ç., Gülgün, C., Yılmaz, A. ve Doğanay, K. (2019) STEM eğitiminde okul dışı öğrenme ortamları: Kastamonu Bilim Kampı. *Bilim, Teknoloji, Mühendislik, Matematik ve Sanat (J-STEAM) Eğitim Dergisi, 2*(1), 39-51.

Ayaydın, Y., Acar Şeşen, B., Usta Gezer, S., Sıbıç, O., Şahin Topalcengiz, E. ve Deliktaş, S. (2026). Okul dışı öğrenme ortamlarında gerçekleştirilen STEM etkinliklerinin lise öğrencilerinin 21. yüzyıl becerilerine etkisi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 9(1), 296-318. http://doi.org/10.33400/kuje.1735549.

Aydın Günbatar, S. (2021).Kahve-kitap ortamlarında STEM+ eğitimi. M. Çevik ve B. Bakioğlu (Ed.). *Okul dışı ortamlarda STEM eğitimi* içinde (1. Baskı, s.345-373). Nobel Akademik Yayıncılık.

Ayvazoğlu, Ş. (2025). *Okul dışı öğrenme ortamlarının öğrencilerin 21. yüzyıl ve bilimsel süreç becerilerine etkisi* (Doktora Tezi), Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.

Bakioğlu, B. ve Karamustafaoğlu, O. (2020). Okul dışı öğrenme ortamlarının öğretim sürecinde kullanımına yönelik öğrenci görüşleri. *İnformal Ortamlarda Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 80-94.

Baran, E., Bilici, S. C., Mesutoglu, C. ve Ocak, C. (2016). Moving STEM beyond schools: Students'perceptions about an out-of-school STEM education program. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology, 4*(1), 9–19.

Bogner, F. X. ve Wiseman, M. (2004). Outdoor ecology education and pupils' environmental perception in preservation and utilization. *Science Education International, 15,* 27-48.

Boz, F. (2023). *Okul dışı öğrenme ortamlarında verilen FeTeMM eğitiminin öğrencilerin yirmi birinci yüzyıl becerilerine etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi), Çankırı Karatekin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çankırı.

Bozkurt Altan, E., Üçüncüoglu, I. ve Öztürk, N. (2019). Preparation of out-of-school learning environment based on science, technology, engineering, and mathematics education and ınvestigating ıts effects. *Science Education International*, *30*(2), 138-148.

Bybee, R.W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher,* 70 (1), 30-35.

Çetin, M. ve Demircan H.Ö. (2020). Erken çocukluk döneminde STEM eğitimi anlayışı. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21(1), 102-117. DOI: 10.17679/inuefd.437445

Çevik, M., Bakioğlu, B. ve Temiz, Z. (2024). The effects of out-of-school learning environments on STEM education: Teachers' STEM awareness and 21st-century skills. *Journal of Theoretical Educational Sciences*, *17*(1), 57-79.

Eshach, H. (2007). Brindging ın-school and out-of-school learning: formal, non-formal and ınformal education. *Journal of Science Education and Technology*, 16, 171-190.

Fındık, N., Ültay, N. ve Ültay, E. (2023). Türkiye'deki ilkokullarda yapılan STEM eğitimi uygulamaları betimsel içerik analizi. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(28), 163-176. https://doi.org/10.38155/ksbd.1241470.

Glancy, A. W. ve Moore, T. J. (2013). Theoretical foundations for effective STEM learning environments. *School of Engineering Education Working Papers*. Paper 1. https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=enewp (E.T.: 11.10.2026).

Gonzalez, H. B. ve Kuenzi, J. J. (2012). Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: A primer. Congressional Research Service, CRS Report for Congress Prepared for Members and Committees of Congress.

Kalik, G. (2022). *Okul dışı STEM etkinliklerinin BİLSEM öğrencilerinin STEM tutumu ve girişimcilik becerilerine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi), Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Karademir, E. ve Karademir E. (2021). Okul bahçesinde STEM eğitimi. M. Çevik ve B. Bakioğlu (Ed.). *Okul dışı ortamlarda STEM eğitimi* içinde (1. Baskı, s.51- 70). Nobel Akademik Yayıncılık.

Karamustafaoğlu, O.(2021). Okul dışı öğrenme ortamları ve STEM eğitimi. M. Çevik ve B. Bakioğlu (Ed.). *Okul dışı ortamlarda STEM eğitimi* içinde (1. Baskı, s.3- 11). Nobel Akademik Yayıncılık.

Karamustafaoğlu, O. ve Bakioğlu, B. (2023). Sanayi kurum ve kuruluşları. A. İlhan Şen (Ed.), *Okul dışı öğrenme ortamları* içinde (3. Baskı, s.332- 356). Ankara: Pegem Akademi.

Karataş, F. Ö. (2018). Eğitimde geleneksel anlayışa yeni bir S(İ)TEM. S. Çepni, (Ed.), *Kuramdan uygulamaya STEM eğitimi* içinde (4. Baskı, s. 53-65) Ankara: Pegem Akademi.

Karbeyaz, A., Karslı, G. ve Kurt, M. (2023). Okul öncesi öğretmenlerinin okul dışı öğrenme ortamlarında karşılaştığı sorunlar ve çözüm yolları. *Socıal Scıences Studıes Journal (SSSJournal)*, 9(117), 9327-9339.

Kayabaş B. T. ve Aydın G. (30 Ekim- 3 Kasım Antalya 2018). Okul dışı STEM etkinliklerinin öğrencilerin karar verme becerilerine etkisi. *4. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi Özet Kitabı.* (s.90). Çizgi Kitabevi.

Kayabaş B. T. (2019). *Probleme dayalı okul dışı STEM etkinliklerinin öğrencilerin akademik başarılarına ve karar verme becerilerine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Mann, J. (2018). Is school working for teenage boys? Outdoor learning and real-life skills could be the keys to re-engagement. *Curriculum Perspectives*, 38, 169-174. https://doi.org/10.1007/s41297-018-0051- 0

MEB (2025). Türkiye'nin geleceği için özgün bir tasarım: Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli. MEB: Ankara. https://tymm.meb.gov.tr/assets/pdf/rapor-1.pdf (E.T.: 11.10.2026).

Neher Asylbekov, S. ve Wagner, I. (2023). Effects of out-of-school STEM learning environments on student interest: A critical systematic literature review. *Journal for STEM Education Research*, *6*(1), 1-44.

Oktay, Ö. (2023). Akvaryumlar. A. İlhan Şen (Ed.), Okul dışı öğrenme ortamları içinde (3. Baskı, s.162- 185). Ankara: Pegem Akademi.

Özdem Yılmaz, Y.(2018). Bilim merkezleri ve STEM eğitimi uygulamaları. D. Akgündüz. (Ed). *Okul öncesinden üniversiteye kuram ve uygulamada STEM eğitimi*, (s. 255-284). Ankara: Anı Yayıncılık.

Üçüncüoğlu, İ., Bozkurt Altan E. ve Öztürk N. (18- 21 Mayıs, 2023). STEM Eğitiminde Okul Dışı Öğrenme Ortamları: Sinop Çocuk Üniversitesi. *4. Uluslararası Fen, Matematik,*

Girişimcilik ve Teknoloji Eğitimi Kongresi (FMGTEK 2023) Tam Metin Kitabı. (s. 232-245). OrEgDa Yayıncılık, Denizli.

Pekşen Süslü, D. (2022). Yaşam boyu gelişim ve STEM. H. Nuhoğlu (Ed). *Eğitimcinin STEM öğrenme yolculuğu* içinde (2. Baskı, s.31-65). Ankara: Pegem Akademi.

Şahin, B. (2020). *FeTeMM yaklaşımına dayalı okul dışı etkinliklerin öğretmen adaylarının bitkiler konusu ile ilgili akademik başarı ve okul dışı öğretime yönelik görüşleri üzerine etkileri* (Yüksek Lisans Tezi), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Şen, A. (2023). Okul dışı öğrenme nedir? A.İ. Şen (Ed.) O*kul dışı öğrenme ortamları*. (3. Baskı, s.2-18). Ankara: Pegem Akademi.

Tarcan Karabulut, F. ve Salar, R. (2025). Okul dışı öğrenme ortamlarında STEM eğitiminin ortaokul öğrencilerinin bilimsel süreç becerilerine ve mesleki ilgilerine etkisi. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *27*(4), 633-647.

The Partnership for 21st Centry Skills, (2009).*P21 framework definitions*, https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED519462.pdf (E.T.: 14.10.2026).

Thomas, B. ve Watters, J. J. (2015). Perspectives on Australian, Indian and Malaysian approaches to STEM education. *International Journal of Educational Development*, *45*, 42-53. https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2015.08.002.

Türkmen, H. (2010). İnformal (sınıf-dışı) fen bilgisi eğitimine tarihsel bakış ve eğitimimize entegrasyonu. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *3*(39), 46-59.

Yıldız, S., ve Zengin, R. (2023). Fen eğitiminde STEM uygulamaları. İçinde F. K. Zengin ve G. Keçeci (Ed.), *Fen eğitiminde teknoloji uygulamaları* (ss. 45–58). İKSAD Yayınevi.

Yucasu, Ş. ve Kırbağ Zengin, F. (2025). Okul öncesi dönemde okul dışı öğrenme ortamlarının kullanımı ve önemi. V. Bayraktar (Ed.), *Okul öncesi eğitimi alanında uluslararası akademik araştırma ve çalışmalar* içinde (s. 29-46). Serüven Yayınevi.

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ FEN ÖĞRETİMİNDE ÖĞRETMEN ROLLERİ VE PEDAGOJİK YETERLİLİKLER

Tuba Güler*

GİRİŞ

Tarihsel süreçteki zihinsel, bilimsel ve teknolojik dönüşümler, eğitimin dijitalleşmesiyle birlikte öğretmen yetkinliklerinin yeniden tanımlanmasını zorunlu kılmıştır; bu durum geleneksel bilgi aktarıcılığının ötesine geçilerek alan, pedagoji ve teknoloji bilgilerinin karmaşık bir bütünlükle kullanılmasını gerektirmektedir (Shulman, 1986; Mishra ve Koehler, 2006). Shulman (1986) tarafından temelleri atılan Alan Bilgisi (AB), Pedagojik Bilgi (PB) ve bunların kesişimi olan Pedagojik Alan Bilgisi (PAB), içeriğin anlaşılır kılınmasında alana özgü pedagojik kararların önemini ortaya koymuştur. Teknolojinin sürece dâhil olmasıyla bu yapı kavramsallaştırılarak Teknolojik Pedagojik Alan Bilgisi (TPAB) modeline dönüştürülmüştür (Koehler ve Mishra, 2005; Koehler ve Mishra, 2008). Akarsu ve Güven (2014) tarafından fen ve teknoloji öğretmen adaylarının TPAB bilgilerinin incelenmesi de bu yaklaşımın fen eğitimi açısından önemini gösteren çalışmalar arasındadır. TPAB modeli; içerik, pedagoji ve teknolojinin dinamik etkileşimini ifade eder ve teknolojik araçların belirli bir fen içeriği ile pedagojik amaç doğrultusunda öğretimi nasıl dönüştürdüğüne odaklanır. Soyut kavramlar, deneysel süreçler, model oluşturma ve sorgulamaya dayalı öğrenme barındıran fen eğitiminde teknoloji; sonradan eklenen bağımsız bir donanım değil, disipline özgü pedagojik stratejilerin ayrılmaz bir bileşenidir (Shulman, 1986; Mishra ve Koehler, 2006). Sonuç olarak yapay zekâ destekli fen öğretiminde kavramsal derinlik sağlamak, sorgulama odaklı düşünmeyi desteklemek ve kavram yanılgılarını azaltmak, tekil teknoloji becerileriyle değil; birbiriyle bütünleşen bu bilgi alanlarının nitelikli uyumuyla mümkündür (Shulman, 1986; J. Koehler, 2005; Mishra, 2008).

1.TPAB'dan Yapay Zekâ Destekli Fen Öğretimine Geçiş

* Doktora öğrencisi, Fırat Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye/Orcid: 0000-0001-7365-8581

Yapay zekânın eğitim ortamlarına girmesi, TPAB çerçevesindeki teknoloji bileşeninin kapsamını genişletmektedir. Çelik (2023), TPACK çerçevesini öğretmenlerin pedagojik yapay zekâ bilgisi açısından genişleten Intelligent-TPACK yaklaşımını tartışmaktadır. Bu genişleme, öğretmenin yalnızca dijital araçları kullanabilmesini değil, yapay zekâ sistemlerinin çalışma biçimleri, üretimleri, sınırlılıkları ve pedagojik sonuçları hakkında eleştirel bir bilgi geliştirmesini gerekli kılmaktadır (Çelik, 2023; Samala vd., 2025). YZ destekli fen öğretiminde öğretmenin alan bilgisi, pedagojik bilgisi ve teknoloji bilgisi birbirinden kopuk düşünülemez. Örneğin bir yapay zekâ sistemi bir fen kavramı hakkında açıklama ürettiğinde öğretmen, açıklamanın fen bilimleri açısından doğruluğunu değerlendirebilmelidir. Benzer şekilde sistemin öğrenciye verdiği bir geri bildirimin pedagojik açıdan uygun olup olmadığını ve öğrencinin öğrenme sürecini destekleyip desteklemediğini değerlendirebilmelidir. Bu nedenle YZ okuryazarlığı, öğretmen yeterliliklerinin ayrı ve bağımsız bir parçası olmaktan çok, alan bilgisi ve pedagojik bilgiyle bütünleşen bir yeterlilik olarak ele alınmalıdır. Öğretmen, YZ sisteminin ürettiği içeriği doğrudan doğru kabul etmek yerine, bu içeriği fen bilimleri açısından incelemeli, gerektiğinde doğrulamalı, öğrencinin yaş ve gelişim düzeyine uygunluğunu değerlendirmeli ve öğretim amacına hizmet edip etmediğini sorgulamalıdır (Çelik, 2023; Mishra ve Koehler, 2006).

2.Yapay Zekâ Destekli Fen Eğitiminde Bilgi Bileşenleri Ve Öğretmen Yeterlilikleri

Yapay zekâ destekli fen öğretiminde yeterlilik kavramının yalnızca araç kullanma becerisiyle sınırlandırılması, alanın güncel araştırma yönelimlerini açıklamak için yeterli değildir. Akpınar'ın (2025) fen eğitimi alanındaki meta-sentez ve bibliyometrik analizinde, yapay zekâ uygulamalarının akıllı öğretim sistemleri, otomatik değerlendirme, öğrenme analitiği, artırılmış/sanal gerçeklik ve doğal dil işleme tabanlı araçlar gibi farklı kümelerde geliştiği görülmektedir. Bu çeşitlilik, öğretmenin tek bir uygulamaya ilişkin teknik bilgi edinmesinden ziyade farklı yapay zekâ teknolojilerinin hangi öğrenme amacına hizmet edebileceğini ayırt edebilmesini gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla öğretmen yeterliliği; araç bilgisi, alan bilgisi, pedagojik tasarım, veri yorumlama, etik değerlendirme ve öğrencinin düşünme sürecini destekleme becerilerinin birlikte işletilmesini gerektiren bütünleşik bir yapı olarak ele alınmalıdır (Akpınar, 2025; Çelik, 2023). Yapay zekâ

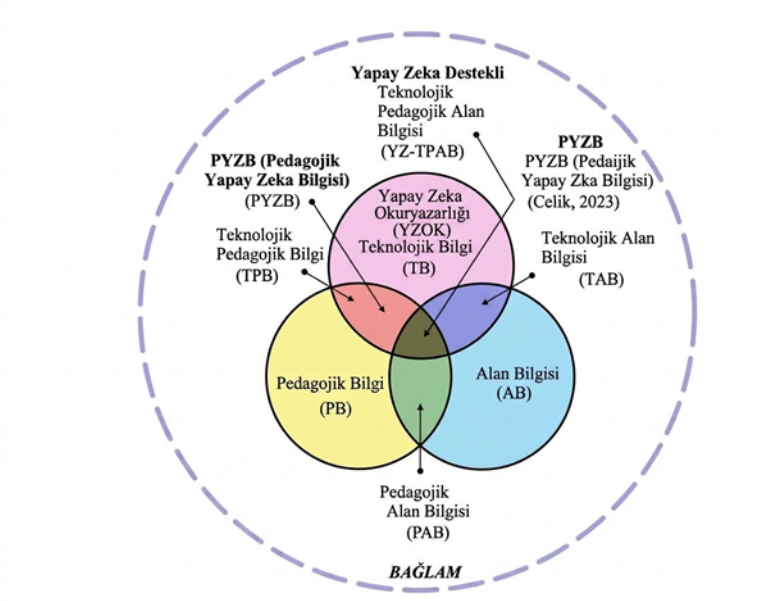
destekli fen eğitiminde öğretmenlerin sergilemesi gereken pedagojik ve teknolojik yeterlilikler TPAB çatısı altında yeniden yorumlanabilir. Bu yorumlama, geleneksel TPAB bileşenlerini ortadan kaldırmak yerine, yapay zekânın getirdiği yeni karar alanlarını bu bileşenlerin içine yerleştirmektedir (Shulman, 1986; Çelik, 2023).

2.1. Alan Bilgisi (AB) ve Yapay Zekâ Okuryazarlığı

Fen öğretmeninin fizik, kimya ve biyoloji gibi disiplinlere ilişkin kuramsal ve kavramsal hâkimiyeti, yapay zekâ entegrasyonunun temelini oluşturur. YZ destekli fen öğretiminde alan bilgisi yalnızca kavramları bilmekle sınırlı değildir. Öğretmenin, YZ sistemlerinin fen içeriklerini sunarken üretebileceği yanlış kavramaları, eksik açıklamaları veya bilgi kirliliklerini fark edebilmeside gerekir. Bu yeterlilik özellikle öğrencinin yapay zekâ tarafından oluşturulan bir açıklamayla karşı karşıya kaldığı durumlarda önem kazanır. Öğretmen, öğrencinin üretilen cevabı sorgulamasını sağlayacak sorular oluşturmalı; cevabın hangi kanıtlara dayandığını, hangi varsayımları içerdiğini ve fen bilimlerindeki mevcut açıklamalarla ne ölçüde uyumlu olduğunu değerlendirmeye yönlendirmelidir. Böylece yapay zekâ, hazır cevap veren bir kaynak olmaktan çıkarılarak bilimsel düşünmenin incelenebileceği bir öğrenme nesnesine dönüşebilir (Shulman, 1986; Çelik, 2023).

2.2. Pedagojik Bilgi (PB) ve Dönüşen Öğretmen Rolleri

Pedagojik bilgi; öğretim yöntemleri, öğrenme kuramları, sınıf yönetimi, ölçme-değerlendirme ve öğrencilerin öğrenme süreçlerini desteklemeye yönelik stratejileri kapsamaktadır. Yapay zekâ destekli öğrenme ekosistemlerinde öğretmen, tek yönlü bilgi aktarıcısı konumundan çıkarak öğrenme sürecini kolaylaştıran, yönlendiren ve öğrencilerin bilişsel süreçlerini destekleyen bir öğrenme mimarı ve rehber rolünü üstlenmektedir. Bu dönüşüm, öğretmenin sınıftaki sorumluluğunu azaltmaktan çok değiştirmektedir. Öğretmen artık yalnızca ne anlatacağını değil, öğrencinin hangi veriyi toplayacağını, hangi soruyu soracağını, yapay zekâ ile hangi etkileşimi kuracağını, elde edilen çıktıyı nasıl değerlendireceğini ve öğrenme sürecinin hangi noktalarında insan rehberliğinin gerekli olduğunu planlamaktadır (Shulman, 1986; Çelik, 2023).



Şekil 1. Çelik 2023 TBAB uyarlamasından alınmıştır.

3.Yapay Zekâ Destekli Fen Öğretiminde Öğretmenin Değişen Rolleri

Yalçın'ın (2026) fen bilgisi öğretmen adaylarıyla yürüttüğü araştırma, yapay zekâ destekli öğrenme ortamlarının bilişsel, otonom, iş birliğine dayalı, esneklik ve yenilikçilik becerileriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Çalışmada özellikle yapay zekâ tarafından sunulan bilgilerin doğruluğunu sorgulama, farklı çözüm yollarını karşılaştırma, fikir üretme ve araştırma süreçlerini daha yapılandırılmış biçimde yürütme gibi davranışların öne çıkması, öğretmenin rolünün yalnızca teknoloji kullanımını öğretmek olmadığını göstermektedir. Öğretmen, öğrencinin yapay zekâdan aldığı çıktıyı bilimsel kanıtla karşılaştırmasını, alternatif açıklamaları tartmasını ve gerekçeli bir sonuca ulaşmasını sağlayan pedagojik düzenlemeleri kurmalıdır (Yalçın, 2026).

3.1. Rehber ve Kolaylaştırıcı Rolü

Öğretmen, bilgiyi doğrudan sunan otorite olmaktan çıkarak öğrencilerin bilgiye ulaşma, veriyi analiz etme ve problem çözme süreçlerine rehberlik eden bir kolaylaştırıcı konumuna gelmektedir. Bu rol özellikle sorgulamaya dayalı fen öğretiminde belirgindir. Öğrencinin soruyu oluşturması, hipotez geliştirmesi, veri toplaması, veriyi yorumlaması ve kanıta dayalı sonuca ulaşması sırasında öğretmen

doğrudan cevabı vermek yerine süreci yapılandırır (Akarsu ve Güven, 2014). YZ araçları bu süreçte öğretmenin yerini alan bir mekanizma olarak değil, öğrencinin düşünme sürecini görünür hâle getiren ve öğretmenin rehberlik kapasitesini destekleyen araçlar olarak kullanılabilir. Öğretmen, öğrencinin YZ ile kurduğu etkileşimi izlemeli ve gerektiğinde sorularla müdahale etmelidir (Akkoç ve diğ., 2011).

3.2. Bilişsel İskele Kurucu Rolü

YZ ve akıllı öğretim sistemlerinin sağladığı geri bildirimler, öğrencilerin farklı öğrenme hızlarına ve bilişsel düzeylerine uygun desteklerin oluşturulmasına imkân sağlayabilir. Ancak geri bildirimin öğrenmeyi desteklemesi için öğretmenin bu çıktıyı pedagojik açıdan yorumlaması gerekir. Öğretmen, öğrencinin hangi aşamada desteğe ihtiyaç duyduğunu belirleyerek uygun bilişsel iskeleyi kurmalıdır (Akarsu ve Güven, 2014,Koehler ve Mishra, 2005).

Bilişsel iskele, öğrencinin yerine düşünmek değil, öğrencinin düşünmesini mümkün kılacak geçici destekler sunmaktır. Bu nedenle YZ tarafından verilen doğrudan cevaplar yerine öğrenciyi yeniden düşünmeye, karşılaştırmaya, kanıt aramaya ve açıklamasını geliştirmeye yönelten dönütlerin tercih edilmesi gerekir (Shulman, 1986).

3.3. Sorgulama Kültürünün Geliştiricisi

Sorgulamaya dayalı fen öğretiminde yapay zekânın işlevi özellikle dikkatle sınırlandırılmalıdır. Ramnarain ve arkadaşlarının (2024) çalışması, öğretmen adaylarının üretken yapay zekâyı sorgulamaya dayalı öğretimde kullanma niyetlerini doğrudan ele alması bakımından önemlidir. Bu çerçevede yapay zekâ, öğrencinin araştırma sorusunu ortadan kaldıran veya hipotezin yerine geçen bir cevap üreticisi olmaktan ziyade, farklı açıklamaların karşılaştırılması, veri kaynaklarının incelenmesi ve kanıtların tartışılması için kullanılabilir. Öğretmenin pedagojik yeterliliği burada teknolojiyi kullanmaktan çok, teknolojinin öğrencinin bilimsel sorgulama döngüsündeki konumunu doğru belirleyebilmesiyle görünür hâle gelir (Ramnarain vd., 2024; Yalçın, 2026). Fen öğretmeninin temel rollerinden biri, öğrencilerin soru sorma, hipotez kurma, veri toplama, ampirik verileri yorumlama ve sonuçlarını gerekçelendirme becerilerini geliştiren sorgulama ortamları oluşturmaktır. Yapay zekâ bu süreçte farklı açıklamaların karşılaştırılması, verilerin sınıflandırılması veya örüntülerin incelenmesi gibi görevlerde kullanılabilir. Bununla birlikte teknolojinin varlığı

sorgulamayı otomatik olarak oluşturmaz. Sorgulama kültürü, öğretmenin soru niteliğini, görev tasarımını ve sınıf içi etkileşimi nasıl yapılandırdığıyla ilişkilidir. Bu nedenle YZ destekli fen dersinin tasarımında önce bilimsel ve pedagojik amaç belirlenmeli, daha sonra bu amaca hizmet eden teknoloji seçilmelidir (Akarsu ve Güven, 2014; Shulman, 1986).

4.Teknolojik Pedagojik Bilgi (TPB)

TPB açısından yapay zekâ destekli öğretimde önemli bir ayrım, teknolojinin sağladığı otomasyon ile öğretmenin pedagojik karar verme sorumluluğunun birbirinden ayrılmasıdır. Üretken yapay zekâ ders planı, soru, etkinlik veya geri bildirim taslağı oluşturabilir; ancak bu çıktının öğrencinin yaşına, ön bilgisine, fen kazanımına ve sınıf bağlamına uygunluğunu değerlendirme sorumluluğu öğretmendedir. Trust, Whalen ve Mouza (2023), öğretmen eğitiminde ChatGPT kullanımının fırsatlarla birlikte yeni pedagojik ve mesleki sorular ortaya çıkardığını vurgularken; Güler, Uğur ve Güler (2025) öğretmen yetiştirmede üretken yapay zekâ farkındalığının geliştirilmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Bu nedenle TPB, araçların kullanım bilgisinin ötesinde yapay zekâ çıktısını pedagojik olarak seçme, dönüştürme ve gerektiğinde reddetme yeterliliğini de kapsamalıdır (Trust vd., 2023; Güler vd., 2025).

Teknolojik Pedagojik Bilgi, teknolojik araçların pedagojik amaçlara nasıl hizmet edeceğine ilişkin bilgiyi ifade eder. Fen eğitiminde YZ araçlarının, örneğin biçimlendirici değerlendirme yapan akıllı öğretim sistemlerinin veya üretken YZ modellerinin hangi öğretim stratejisiyle bütünleştirileceğinin planlanması bu yeterlilik kapsamındadır. Öğretmenin burada gerçekleştirdiği temel karar, 'hangi araç kullanılabilir?' sorusundan önce 'hangi öğrenme amacı gerçekleştirilecek ve bu amaç için teknoloji ne sağlayacak?' sorusunu yanıtlamaktır. Bir teknoloji, öğrencinin dikkatini çektiği için değil, belirli bir kavramsal veya bilimsel süreci desteklediği için seçilmelidir. Bu bağlamda öğretmen, teknolojik aracın imkânları kadar sınırlılıklarını da bilmelidir. Bir aracın hızlı geri bildirim vermesi, verdiği geri bildirimin her durumda pedagojik olarak uygun olduğu anlamına gelmez. Benzer şekilde bir YZ aracının ayrıntılı bir açıklama üretebilmesi, açıklamanın bilimsel doğruluğunu kendiliğinden garanti etmez (Mishra ve Koehler, 2006; Niess, 2005).

5. Teknolojik Alan Bilgisi (TAB)

Teknolojik Alan Bilgisi, teknolojinin fen disiplinindeki soyut kavramları nasıl dönüştürebileceğine ve somutlaştırabileceğine ilişkin bilgidir. Fen bilimlerinde hücre bölünmesi, moleküler yapılar, iklim modelleri, kuvvet-hareket gibi soyut ve karmaşık konuların YZ destekli simülasyonlar, sanal laboratuvarlar ve görselleştirme araçlarıyla ele alınması TAB yeterliliğinin somut göstergeleri arasında düşünülebilir. TAB açısından önemli olan, teknolojinin yalnızca mevcut bir görseli daha etkileyici hâle getirmesi değildir. Teknoloji, öğrencinin doğrudan gözlemleyemediği bir olguyu temsil etmesini, değişkenleri kontrol etmesini, farklı senaryoları karşılaştırmasını veya bir model üzerinde düşünmesini mümkün kılabilir. Böylece teknoloji, fen içeriğinin temsil biçimini dönüştüren bir araç hâline gelir. Örneğin mikroskobik yapıların, moleküler süreçlerin veya zamansal olarak uzun sürede gerçekleşen olayların dijital ortamda modellenmesi, öğrencinin gözlem sınırlarını genişletebilir. Ancak öğretmen bu temsilin gerçek olgunun kendisi olmadığını da açıklamalıdır. Model ile gerçeklik arasındaki ilişki, fen öğretiminde kavramsal anlamanın önemli bir parçasıdır (Niess, 2005; Mishra ve Koehler, 2006).

6. Teknolojik Pedagojik Alan Bilgisi (TPAB)

TPAB'ın yapay zekâ çağındaki genişlemesi, öğretmenin teknoloji ile fen içeriği arasındaki ilişkinin niteliğini yeniden düşünmesini gerektirmektedir. Çelik (2023) tarafından geliştirilen Intelligent-TPACK yaklaşımı, öğretmen bilgisinde pedagojik yapay zekâ bilgisinin ayrıca dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir. Fen eğitimi bağlamında bu durum; örneğin bir görüntü işleme sisteminin yalnızca canlıyı tanıması değil, öğrencinin sınıflandırma ölçütlerini tartışmasına, hipotezini sınamasına ve modelin hata payını değerlendirmesine fırsat vermesi anlamına gelir. Böylece teknoloji, içeriğin aktarımını hızlandıran bir araç olmaktan çıkarak öğrencinin bilimsel düşünme sürecini yapılandıran bir öğrenme bileşenine dönüşür (Çelik, 2023; Güler, 2024). TPAB, içerik, pedagoji ve teknolojinin eş zamanlı olarak senkronize edildiği bütüncül bilgidir. Fen öğretiminde TPAB; fen müfredatındaki bir kazanımın alan bilgisi, yapay zekâ destekli dinamik yazılımlar ve simülasyonlar gibi teknolojik olanaklar ve sorgulamaya dayalı öğrenme veya 5E öğretim modeli gibi pedagojik yaklaşımlar birlikte düşünülerek sınıfta uygulanmasını kapsar. Bu bütünleşme, öğretmenin tek bir bileşeni güçlü

olmasının yeterli olmadığını göstermektedir. Öğretmenin çok iyi fen bilgisine sahip olması ancak teknolojiyi pedagojik açıdan kullanamaması, YZ destekli öğretimin niteliğini sınırlar. Aynı şekilde teknolojiyi iyi kullanabilen bir öğretmenin fen kavramlarının öğretimindeki güçlükleri yeterince tanımaması da benzer bir sınırlılık oluşturur (Mishra ve Koehler, 2006; Chai, Koh ve Tsai, 2013).

Tablo1. Kısaltmaların açıklaması ve Fen eğitimindeki yeri bilgisini içermektedir

Bilgi bileşeni	Geleneksel fen öğretimindeki rolü	YZ destekli fen öğretimindeki uyarlaması
Teknolojik Bilgi (TB)	Temel bilgisayar ve yazılım kullanımı.	YZ sistemleri, makine öğrenmesi araçları ve veri analitiği kullanımı.
Pedagojik Alan Bilgisi (PAB)	Fen konusunu uygun öğretim yöntemiyle sunma.	YZ araçlarıyla kişiselleştirilmiş fen öğrenme patikaları oluşturma.
Teknolojik Alan Bilgisi (TAB)	Materyal ve görsel araçlarla fen konularını destekleme.	YZ tabanlı simülasyon ve modellerle fen kavramlarını dönüştürme.
Bütüncül TPAB	Müfredat, teknoloji ve öğretimi uyumlama.	YZ destekli sorgulamaya dayalı fen dersi tasarlama ve yürütme.

7. Tasarım Temelli Öğrenme Ve TPAB Dönüşümü

Öğretmen adaylarının teknolojik araçları doğrudan fen kavramlarına uygun dijital materyallere dönüştürdükleri süreçler, kuramsal bilginin uygulamaya aktarılmasında kritik rol oynamaktadır. Kaya ve Yılmaz (2016) tarafından ele alınan tasarım odaklı teknoloji entegrasyonu yaklaşımı, öğretmen adaylarının dijital içerik geliştirme süreçlerine aktif biçimde katılmasının Teknoloji Bilgisi ile Pedagojik Alan Bilgisi arasında işlevsel bir köprü oluşturabileceğine işaret etmektedir. Tasarım sürecinin önemli özelliği, öğretmenin teknoloji seçimini hazır bir liste üzerinden yapması yerine, öğretim problemini tanımlaması ve bu probleme uygun bir çözüm geliştirmesidir. Böyle bir süreçte öğretmen adayı fen kazanımını, öğrencinin olası öğrenme güçlüklerini, kullanılacak öğretim yaklaşımını, teknolojinin sağlayacağı katkıyı ve değerlendirme biçimini birlikte düşünür. Bu nedenle tasarım temelli yaklaşım, TPAB gelişimini yalnızca teknoloji kullanım becerisi olarak değil, pedagojik karar verme süreci olarak ele almaktadır. Öğretmen adayı bir dijital

materyal tasarlarken aynı zamanda 'Bu teknoloji öğrencinin hangi düşünme biçimini destekleyecek?', 'Öğrenci hangi veriyi üretecek?', 'Öğretmen hangi noktada müdahale edecek?'ve 'Öğrenme nasıl değerlendirilecek?' sorularını da yanıtlamaktadır (Kaya & Yılmaz, 2016; Koehler & Mishra, 2005).

8. Disiplin Odaklı Teknoloji Entegrasyonunun Dinamikleri

Fen öğretmenlerinin teknoloji entegrasyon yeteneklerini belirleyen temel unsurlardan biri, sahip oldukları Pedagojik Alan Bilgisidir. Chai, Koh ve Tsai (2013) tarafından sunulan literatür değerlendirmesi, teknoloji entegrasyonunun yalnızca genel teknoloji bilgisiyle açıklanamayacağını; alan ve pedagojik bilginin teknolojiyle kesişimlerinin önem taşıdığını göstermektedir. Fen disiplininin kendine özgü yapısı, teknoloji entegrasyonunun da disipline özgü biçimde tasarlanmasını gerektirir. Genetik, hücre yapısı, kuvvet-hareket, maddelerin tanecikli yapısı gibi konular farklı temsil biçimleri ve farklı öğrenme güçlükleri barındırır. Bu nedenle öğretmenlere yalnızca genel amaçlı dijital araçların tanıtılması yeterli değildir. Disipline özgü teknoloji entegrasyonunda öğretmen, fen konusunun doğasını ve öğrencilerin kavramsal güçlüklerini dikkate alarak teknoloji seçer. Böylece teknoloji, fen öğretiminin üzerine eklenen bir katman olmaktan çıkar ve fen içeriğinin öğrenilme biçimini etkileyen bir bileşen hâline gelir (Chai, Koh & Tsai, 2013; Canbazoğlu Bilici, 2012).

9. Niteliği Yüksek Fen İçeriği Oluşturma İlkeleri

9.1. Pedagojik ve Metodolojik Uyum

TPAB eksenli bir öğretim materyali veya içeriği yapılandırılırken pedagojik hedefler ile teknolojinin sağladığı imkânlar eş zamanlı olarak planlanmalıdır. Tasarlanan dijital içerik fen öğretiminin doğasına uygun olarak Sorgulamaya Dayalı Öğrenme, 5E Öğretim Modeli veya Problem Tabanlı Öğrenme süreçlerine hizmet etmelidir. Araç kullanımı hiçbir zaman öğrenmenin önüne geçmemelidir. Öğrencinin bir uygulamada çok sayıda işlem yapması, tek başına nitelikli öğrenme anlamına gelmez. Teknoloji, öğrencinin soru sorma, kanıt kullanma, açıklama geliştirme, veri yorumlama veya model oluşturma süreçlerinden en az birini anlamlı biçimde desteklemelidir (Mayer, 2014; Niess, 2005).

10.2. Görselleştirme ve Somutlaştırma Kapasitesi

Çıplak gözle incelenemeyen mikroskobik yapılar, hücre içi organeller, atomik bağlar, soyut fiziksel büyüklükler, kuvvet alanları, enerji dönüşümleri veya zamansal ve mekânsal olarak doğrudan gözlemlenmesi güç olgular; dinamik simülasyonlar, üç boyutlu modellemeler ve sanal gerçeklik ögeleriyle somutlaştırılabilir. Burada öğretmenin görevi, görsel zenginliği amaç hâline getirmemektir. Görselleştirme, öğrencinin kavramlar arasındaki ilişkileri anlamasına hizmet etmelidir. Özellikle fen öğretiminde bir modelin öğrencinin zihinsel modelini nasıl etkilediği dikkate alınmalı ve kullanılan temsilin hangi yönleri açıklayıp hangi yönleri sınırladığı üzerinde durulmalıdır (Mayer, 2014; Niess, 2005).

10.3. Dijital Veri Analizi ve Ölçüm Entegrasyonu

Öğrencilerin hipotez oluşturma, veri toplama ve çıkarım yapma becerilerini desteklemek üzere dijital sensörler, veri toplayıcılar ve dinamik grafik çizim yazılımları öğrenme süreçlerine dâhil edilebilir. Yapay zekâ destekli sistemler de verilerin sınıflandırılması, örüntülerin incelenmesi veya farklı değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılması gibi görevlerde kullanılabilir.

Ancak veri analizi sürecinde öğrencinin veriyi yalnızca sisteme yükleyip hazır sonucu alması yerine, verinin nasıl üretildiğini ve hangi çıkarımın hangi kanıta dayandığını açıklaması gerekir. Öğretmen bu nedenle veri üretimi, veri temizliği, temsil biçimi, yorumlama ve sonuçlandırma aşamalarını pedagojik olarak yapılandırmalıdır (Mayer, 2014; Niess, 2005).

10.4. Bilişsel Yükün Yönetimi

Materyal tasarımında Mayer'in Çoklu Ortamla Öğrenme İlkeleri dikkate alınmalı; öğrencinin zihinsel kapasitesini gereksiz yere yoracak aşırı görsel ve işitsel efektlerden kaçınılarak kavramsal anlamayı destekleyen sade ve etkileşimli bir yapı kurulmalıdır (Mayer, 2014). Yapay zekâ destekli ortamlarda bilişsel yük yalnızca görsel ve işitsel unsurlardan kaynaklanmaz. Öğrencinin aynı anda bir uygulamayı kullanması, yönergeleri takip etmesi, veri toplaması, YZ çıktısını yorumlaması ve fen kavramını açıklaması da bilişsel talepleri artırabilir. Bu nedenle öğretmen etkinlikleri aşamalı biçimde yapılandırmalı ve öğrencinin temel öğrenme amacından uzaklaşmasını önlemelidir.

11.Yapay Zekâ Destekli Fen Öğretiminde Pedagojik Entegrasyon

Akpınar'ın (2025) meta-sentez sonuçları, fen eğitiminde yapay zekâ çalışmalarının önemli ölçüde kavramsal anlama, bilimsel süreç becerileri, bireyselleştirilmiş öğrenme ve motivasyon gibi öğrenme çıktılarıyla ilişkilendirildiğini göstermektedir. Bu bulgu, yapay zekâ entegrasyonunun teknoloji kullanım sıklığı üzerinden değil, öğrenme çıktısına yaptığı pedagojik katkı üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir. Aynı çalışmada Türkiye'deki araştırmaların önemli bir bölümünün betimsel nitelikte olduğu ve metodolojik çeşitliliğin sınırlı kaldığı belirtilmektedir. Bu nedenle öğretmen eğitiminde yalnızca 'hangi araçlar var?' sorusunun değil, 'hangi araç hangi öğrenme problemini nasıl çözüyor ve bunun öğrenme kanıtı nedir?' sorusunun merkeze alınması gerekir (Akpınar, 2025). Yapay zekâ araçlarının kullanımı bir amaç değil; fen öğretiminde kavramsal anlamayı, eleştirel düşünmeyi ve sorgulama becerilerini derinleştiren pedagojik bir araç olarak konumlandırılmalıdır. Alan yazındaki TPAB yaklaşımı, teknolojinin tek başına değer taşımadığını; içerik ve pedagojiyle kurduğu dinamik ilişkinin etkili öğretimin temelini oluşturduğunu vurgulamaktadır. Bu bakımdan YZ entegrasyonunun planlanmasında üç soru birbirini izlemelidir: ÖnÇelikle hangi fen öğrenme hedefinin gerçekleştirileceği belirlenmeli; ikinci olarak öğrencinin bu hedefe ulaşırken hangi pedagojik süreçten geçeceği tasarlanmalı; üçüncü olarak bu sürecin hangi aşamasında yapay zekânın anlamlı bir katkı sağlayacağı kararlaştırılmalıdır. Bu sıralama, teknoloji merkezli ders tasarımının önüne geçilmesini sağlar. Aksi durumda öğretim süreci kullanılan aracın özelliklerine göre şekillenebilir ve fen öğrenme hedefi ikinci plana itilebilir. Oysa TPAB yaklaşımında teknoloji, pedagojik ve alan bilgisiyle birlikte değerlendirilir (Mishra & Koehler, 2006; Çelik, 2023).

12. Biçimlendirici Değerlendirme Ve Dönüt Becerisi

YZ destekli fen öğretiminde öğretmenin rollerinden biri, yapay zekâ tarafından üretilen bilgi ve geri bildirimleri değerlendiren eleştirel uzman rolüdür. Öğretmen, öğrencinin karşılaştığı içeriğin fen bilimleri açısından uygunluğunu değerlendirebilmeli ve öğrenciyi de bu değerlendirme sürecine dâhil edebilmelidir (Çelik, 2023; Shahin, 2011). Yapay zekâ destekli biçimlendirici değerlendirmede öğretmenin temel görevi, otomatik geri bildirimi doğrudan aktarmak yerine öğrencinin düşünme süreciyle ilişkilendirip pedagojik değere dönüştürmektir. Yapay zekâ

sistemleri bilgiye erişim, araştırma sürecini yapılandırma ve hızlı geri bildirim sağlama gibi bilişsel süreçleri desteklese de (Yalçın, 2026), hızlı dönüt ile nitelikli dönüt aynı şey değildir; bu nedenle öğretmen kavram yanılgılarını tespit ederek yapay zekâ dönütünü yeniden formüle etmeli ve yönlendirici sorularla süreci derinleştirmelidir (Yalçın, 2026; Rasheed, 2025). Ayrıca eğitmenler, öğretmen adaylarının teknoloji destekli fen ders planlarını TPAB dereceli puanlama anahtarlarıyla değerlendirip açıklayıcı ve yönlendirici dönütler sunmalıdır. Sonuç olarak, yapay zekânın sağladığı otomatik dönüt ile öğretmenin bağlamsal ve pedagojik unsurları görünür kılan kendi dönütü birbirinin alternatifi değil, öğrenme sürecini tamamlayan iki temel unsurdur (Graham, Borup ve Smith, 2012; Akyüz, 2018).

13. Disipline Özgü Yapay Zeka Uygulamaları

Fen bilgisi öğretmen adaylarına ve görevdeki öğretmenlere yalnızca genel dijital araçların değil, fen disiplinine özel YZ destekli simülasyonların, veri analizi araçlarının ve dinamik modelleme platformlarının tanıtılması gerekmektedir. Fen bilimlerinin genetik, hücre yapısı, kuvvet-hareket veya maddelerin tanecikli yapısı gibi soyut ve karmaşık alt öğrenme alanları, alana özgü teknolojik yaklaşımlar gerektirir (Savaş, 2011; Timur, 2011). Savaş (2011) tarafından genetik konusu bağlamında incelenen teknolojik pedagojik alan bilgisi ve Timur (2011) tarafından kuvvet ve hareket konusu bağlamında ele alınan TPAB gelişimi, disiplin ve konu özgüllüğünün öğretmen yeterlilikleri açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda öğretmen eğitiminde teknoloji araçlarının genel tanıtımından ziyade, 'fen konusu–öğrenme güçlüğü–pedagojik yaklaşım–teknolojik çözüm–değerlendirme' zinciri kurulmalıdır. Böyle bir zincir öğretmenin teknolojiyi pedagojik bir gerekçeyle seçmesini destekler. (Savaş, 2011; Timur, 2011)

14. Öğretmen Yeterliliklerinin Bütünsel Yapısı

Yapay zekâ destekli fen öğretiminde öğretmen yeterlilikleri tek tek becerilerin toplamı olarak değil, birbiriyle ilişkili bilgi ve uygulama alanlarının bütünü olarak değerlendirilmelidir. Alan bilgisi, pedagojik bilgi, teknolojik bilgi, PAB, TAB, TPB ve TPAB birbirinden tamamen bağımsız kategoriler değildir (Mishra ve Koehler, 2006; Chai, Koh ve Tsai, 2013).

Yeterlilik alanı	Temel beklenti	YZ destekli fen öğretimindeki karşılığı
Alan bilgisi	Fen kavramlarına ve bilimsel açıklamalara hâkimiyet	YZ çıktılarındaki fen bilgisi hatalarını ve kavram yanılgılarını değerlendirme
Pedagojik bilgi	Öğretim, öğrenme ve sınıf yönetimi	YZ kullanımını öğrencinin bilişsel sürecini destekleyecek biçimde yapılandırma
Teknolojik bilgi	Dijital araçları kullanabilme	YZ sistemleri, veri analitiği ve ilgili dijital araçları işlevsel kullanma
PAB	Fen içeriğini uygun yöntemle öğretme	YZ'yi konuya özgü öğrenme güçlükleriyle ilişkilendirme
TAB	Teknolojiyi fen içeriğine uyarlama	Simülasyon, modelleme ve YZ ile soyut fen olgularını temsil etme
TPB	Teknolojiyi pedagojik amaçla seçme	YZ aracının hangi öğrenme etkinliğine nasıl hizmet edeceğini planlama
TPAB	İçerik-pedagoji-teknoloji bütünlüğü	YZ destekli sorgulamaya dayalı fen dersi tasarlama ve yürütme
Etik ve eleştirel değerlendirme	Teknolojinin sınırlılıklarını değerlendirme	YZ çıktılarının doğruluğunu, uygunluğunu ve pedagojik sonuçlarını sorgulama
Biçimlendirici değerlendirme	Süreç odaklı dönüt verme	YZ verilerini öğretmen gözlemi ve öğrenci ürünleriyle birlikte yorumlama

15. Yapay Zekâ Destekli Fen Dersi Tasarımında Öğretmenin Karar Süreci

Yapay zekâ destekli bir fen dersinin tasarımında öğretmenin kararları birbiriyle bağlantılı biçimde ilerlemelidir. İlk aşamada fen öğrenme hedefi ve içeriğin doğası belirlenir. İkinci aşamada öğrencilerin bu içerikle ilgili yaşayabilecekleri öğrenme güçlükleri ve kavram yanılgıları düşünülür. Üçüncü aşamada uygun pedagojik model veya strateji belirlenir. Dördüncü aşamada teknoloji ve YZ aracının öğrenme sürecine sağlayacağı özgül katkı ortaya konur (Mishra ve Koehler, 2006; Çelik, 2023). Bu tasarım mantığında teknoloji seçimi sonradan yapılan rastlantısal bir tercih değildir.

16. Literatürün Bütünleştirilmesi

İlgili literatür incelendiğinde; Akarsu ve Güven (2014), Archambault ve Crippen (2009), Canbazoğlu Bilici (2012), Savaş (2011) ve Timur (2011) gibi çalışmalar, öğretmenlerin teknoloji kullanımının yalnızca araç bilgisi üzerinden değerlendirilmesinin yetersiz olduğunu; TPB, TAB ve PAB gibi kesişim alanlarının bütünsel TPAB gelişiminde önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmaların ortak çerçevesi, teknolojinin öğretim sürecine eklenmesinden ziyade teknoloji, içerik ve pedagojinin karşılıklı olarak birbirini biçimlendirdiği bir anlayışın gerekliliğine işaret etmektedir. Dolayısıyla YZ destekli fen öğretiminde öğretmen yeterliliği, yalnızca yeni araçları öğrenmekten daha geniş bir kapsam taşımaktadır (Akarsu ve Güven, 2014; Chai, Koh ve Tsai, 2013; Çelik, 2023).

17. Uygulamaya Dönük Bir Yeterlilik Çerçevesi

Mevcut kuramsal ve araştırma temelli açıklamalar bir arada değerlendirildiğinde, yapay zekâ destekli fen öğretiminde öğretmen yeterlilikleri beş birbirini tamamlayan düzeyde düşünülebilir: bilgi, tasarım, uygulama, değerlendirme ve sürekli gelişim. Bu düzeyler birbirinden kopuk değildir; öğretmenin mesleki karar verme döngüsünü oluşturur (Mishra ve Koehler, 2006; Graham, Borup ve Smith, 2012).

Tablo 3. Öğretmenin mesleki karar verme döngüsü

Düzey	Öğretmenin temel görevi	Ortaya çıkabilecek kanıt
Bilgi	Fen, pedagoji ve teknoloji bileşenlerini anlamlandırmak	Kavramsal açıklamalar, teknoloji gerekçesi, ders planı
Tasarım	YZ'yi belirli fen hedefiyle bütünleştirmek	YZ destekli ders/etkinlik tasarımı
Uygulama	Öğrenciyi rehberlik, iskele ve sorgulama yoluyla desteklemek	Mikro öğretim, ders uygulaması, öğrenci ürünleri
Değerlendirme	YZ çıktısını ve öğrenci öğrenmesini eleştirel biçimde değerlendirmek	Rubrik, dönüt, öğrenci performans analizi
Sürekli gelişim	Uygulama sonuçlarına göre öğretimi yeniden tasarlamak	Öz-değerlendirme, akran dönütü, revize ders tasarımı

18. Sınıf İçi Uygulama Açısından Öğretmenin Pedagojik Kararları

Yapay zekâ destekli fen öğretiminde öğretmenin yeterliliği, yalnızca ders öncesinde yapılan planlama ile sınırlı değildir. Ders sırasında öğrencilerin verdiği tepkilere göre karar verebilme, teknolojik sistemin sunduğu çıktıları yorumlayabilme ve gerektiğinde öğretim sürecini yeniden yapılandırabilme de bu yeterliliğin önemli parçalarıdır. Bu nedenle öğretmenin sınıf içindeki rolü statik bir uygulayıcı rolünden ziyade sürekli karar veren ve öğrenme ortamını düzenleyen bir profesyonel rolüdür. Ders öncesinde öğretmen öncelikle öğrenme hedefini açık biçimde tanımlamalıdır. Ardından öğrencinin hedefe ulaşmasını sağlayacak öğrenme deneyimi belirlenmelidir. Yapay zekâ ancak bu deneyimin belirli bir aşamasında pedagojik katkı sağlıyorsa sürece dâhil edilmelidir. Bu yaklaşım, teknoloji merkezli planlamadan öğrenme hedefi merkezli planlamaya geçişi sağlar. Ders sırasında öğrencinin YZ ile etkileşimi de öğretmenin dikkat etmesi gereken bir süreçtir. Öğrenci, sistem tarafından sunulan cevabı olduğu gibi kabul ediyorsa öğretmen sorgulayıcı sorularla müdahale edebilir. Öğrenci bir

YZ çıktısındaki çelişkiyi fark etmişse öğretmen bu farkındalığı bilimsel kanıt arama sürecine dönüştürebilir. Böylece öğretmen, teknolojinin ürettiği çıktıyı doğrudan doğru kabul eden bir sınıf kültürü yerine, kanıt ve gerekçelendirme temelli bir öğrenme kültürü oluşturur (Çelik, 2023; Mishra ve Koehler, 2006).

19. Sorgulamaya Dayalı Öğrenme İle Yapay Zekâ Entegrasyonunun Uyumlaştırılması

Fen bilimleri öğretiminin sorgulamaya dayalı yapısı, yapay zekâ kullanımının pedagojik olarak sınırlandırılmasını ve yapılandırılmasını gerektirir. Sorgulamaya dayalı öğrenmede öğrencinin soru oluşturması, açıklama geliştirmesi, kanıt toplaması ve ulaştığı sonucu gerekçelendirmesi önemlidir. YZ bu aşamaların herhangi birinde destek sağlayabilir; ancak öğrencinin bilişsel sorumluluğunu bütünüyle üstlenmemelidir (Chai, Koh ve Tsai, 2013; Çelik, 2023). Örneğin öğrenci bir fen olgusuna ilişkin hipotez geliştirdiğinde yapay zekâdan doğrudan doğru cevabı istemek yerine farklı açıklamaları karşılaştırmak üzere yararlanabilir. Öğretmen, öğrencinin YZ'den aldığı açıklamayı kendi hipoteziyle karşılaştırmasını, benzerlik ve farklılıkları belirlemesini ve hangi açıklamanın hangi kanıtla desteklendiğini ifade etmesini isteyebilir. Bu yaklaşımda YZ, öğrencinin araştırma sürecini kısaltan bir cevap makinesi değil, sorgulama sürecini genişleten bir öğrenme kaynağı hâline gelir. Öğretmenin pedagojik yeterliliği ise YZ'nin hangi noktada kullanılacağını ve hangi noktada kullanılmaması gerektiğini belirleyebilmesinde ortaya çıkar. Sorgulamaya dayalı öğrenme ile YZ entegrasyonunda öğretmenin dikkat etmesi gereken bir diğer nokta, öğrencinin soru üretme becerisidir. Hazır sorular ve hazır cevaplar öğrencinin kendi araştırma problemini oluşturma fırsatını azaltabilir. Bu nedenle öğretmen, YZ kullanımından önce öğrencilerin kendi sorularını oluşturmasını; YZ kullanımından sonra ise elde edilen bilgileri bu sorular çerçevesinde değerlendirmesini sağlayacak etkinlikler tasarlamalıdır (Chai, Koh ve Tsai, 2013; Çelik, 2023).

20. 5E Öğretim Modeli Bağlamında Yapay Zeka Kullanımının Yapılandırılması

Mevcut içerikte TPAB kapsamında vurgulanan 5E öğretim modeli, yapay zekânın ders sürecine rastgele yerleştirilmesi yerine belirli öğrenme aşamalarına pedagojik amaçla yerleştirilmesine imkân veren bir yapı sunmaktadır. Öğretmenin görevi, her aşamada teknolojinin

sağlayacağı katkıyı ayrı ayrı düşünmektir. Dikkat çekme ve ön bilgileri harekete geçirme aşamasında YZ, öğrencinin mevcut düşüncelerini görünür hâle getirecek örnekler veya problem durumları oluşturmak için kullanılabilir. Ancak öğretmen, bu aşamada öğrencinin kendi düşüncesini ifade etmesine öncelik vermelidir. Amaç öğrencinin YZ'nin verdiği cevabı öğrenmesi değil, konuya ilişkin başlangıç düşüncesini ortaya koymasıdır (Mishra ve Koehler, 2006; Niess, 2005). Keşfetme aşamasında öğrenciler veri toplama, sınıflandırma, gözlem ve araştırma süreçlerine yönlendirilebilir. YZ, özellikle veri sınıflandırma veya örüntülerin fark edilmesi gibi süreçlerde yardımcı olabilir. Öğretmen burada öğrencinin veriyle doğrudan ilişki kurmasını ve sistemin ürettiği sonucu sorgulamasını sağlamalıdır. Açıklama aşamasında öğrencinin elde ettiği kanıtları bilimsel kavramlarla ilişkilendirmesi beklenir. YZ tarafından oluşturulan açıklamalar bu aşamada karşılaştırma amacıyla kullanılabilir. Öğretmenin görevi, bilimsel açıklamanın doğruluğunu ve öğrencinin kendi verileriyle ilişkisini değerlendirmektir. Derinleştirme aşamasında farklı durumlara transfer yapılabilir. YZ, öğrencinin öğrendiği kavramı yeni bir probleme uygulamasına yönelik senaryoların oluşturulmasına katkı sağlayabilir. Değerlendirme aşamasında ise öğrencinin yalnızca doğru cevaba ulaşıp ulaşmadığı değil, düşünme sürecini nasıl gerekçelendirdiği ve kanıtları nasıl kullandığı dikkate alınmalıdır (Mishra ve Koehler, 2006; Niess, 2005).

21. Öğretmenin Dijital Verileri Pedagojik Bilgiye Dönüştürme Yeterliliği

YZ destekli öğretim ortamları öğretmene öğrencilerin performansına ilişkin çok sayıda veri sağlayabilir. Ancak veri miktarının artması, pedagojik kararların otomatik olarak daha nitelikli olacağı anlamına gelmez. Öğretmenin önemli yeterliliklerinden biri, elde edilen veriyi anlamlı pedagojik bilgiye dönüştürebilmektir. Öğretmen yalnızca öğrencinin kaç doğru yaptığına değil, hangi tür sorularda zorlandığına, hangi açıklamaları tekrar ettiği, hangi kavramları birbirine karıştırdığı ve hangi aşamada desteğe ihtiyaç duyduğu gibi süreç göstergelerine bakmalıdır. Böyle bir analiz, YZ verilerinin öğretim tasarımına geri beslenmesini sağlar. Veriye dayalı öğretim döngüsü; veri toplama, veriyi yorumlama, pedagojik karar verme, öğretim müdahalesi ve yeniden değerlendirme aşamalarından oluşabilir. Bu döngü, öğretmenin teknolojiyi yalnızca öğrenciye hizmet sunan bir araç olarak değil, kendi

öğretim kararlarını geliştiren bir bilgi kaynağı olarak kullanmasını sağlar (Çelik, 2023; Chai, Koh ve Tsai, 2013).

22. Yapay Zeka Destekli Fen Öğretiminde Öğretmen Eğitimi İçin Gelişim Döngüsü

Yapay zekânın eğitimdeki hızlı gelişimine rağmen araştırmalardaki çeşitlilik eksikliği, öğretmen eğitiminde yalnızca araç öğretiminin ötesine geçilerek kanıta dayalı ve pedagojik problem çözme odaklı bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır (Akpınar, 2025; Güzey vd., 2023). Kuramsal farkındalıktan başlayıp disipline özgü araç inceleme, ders tasarımı, mikro öğretim, akran dönütü, yeniden tasarım ve uygulama değerlendirmesi aşamalarından oluşan bu sistematik döngü; öğretmen adaylarının sadece teknoloji kullanıcısı değil, teknolojiyle nitelikli öğretim tasarlayan yetkin uygulayıcılar olmalarını hedefler (Niess, 2005; Akyüz, 2018).

23. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Yapay zekâ destekli fen öğretiminde teknoloji, öğretmenin yerini almak yerine onun mesleki karar alanını genişletir ve öğretmen rolünü rehber, bilişsel iskele kurucu ve eleştirel değerlendirici yönleriyle dönüştürür (Mishra ve Koehler, 2006; Çelik, 2023). TPAB çerçevesine ve YZ okuryazarlığına dayanan bu süreçte temel odak, sınıftaki teknolojinin miktarından ziyade fen içeriği, pedagojik amaçlar ve öğrencinin bilimsel düşünme süreçleriyle kurduğu anlamlı bütünlüktür (Mishra ve Koehler, 2006; Çelik, 2023). Bu nedenle öğretmen eğitimleri yalnızca araç kullanımına değil; tasarım temelli öğrenme, mikro öğretim ve sürekli mesleki gelişimle desteklenen nitelikli pedagojik entegrasyona odaklanmalıdır.

KAYNAKÇA

Akarsu, B., ve Güven, E. (2014). Fen ve Teknoloji Öğretmen Adaylarının Teknolojik Pedagojik Alan Bilgilerinin İncelenmesi. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 515-524. https://doi.org/10.21547/jss.256825

Akkoç, H., Özmantar, M. F., Bingölbalı, E., Demir, S., Baştürk, S. ve Yavuz, İ. (2011). Matematik öğretmen adaylarına teknolojiye yönelik pedagojik alan bilgisi kazandırma amaçlı program geliştirme (Proje No: 107K531). TÜBİTAK.

Akpınar, H. (2025). *Fen eğitiminde yapay zeka kullanımının meta-sentez ve bibliyometrik analizi* (Yüksek lisans tezi). Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Burdur.

Akyüz, D. (2018). Fen bilgisi öğretmen adaylarının teknolojik pedagojik alan bilgilerinin gelişiminin incelenmesi. *Eğitim ve Bilim*, 43(194), 215-234.

Archambault, L., ve Crippen, K. (2009). Examining TPACK among K-12 online distance educators in the United States. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 71-88.

Bae, H., Hur, J., Park, J., Choi, G. W., ve Moon, J. (2024). Pre-service teachers' dual perspectives on generative AI: Benefits, challenges, and integration into their teaching and learning. *Online Learning,* 28(3), 131-156. https://doi.org/10.24059/olj.v28i3.4543

Canbazoğlu Bilici, S. (2012). *Fen bilgisi öğretmen adaylarının teknolojik pedagojik alan bilgisi ve özyeterlikleri* (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.

Çelik, I. (2023). Towards Intelligent-TPACK: An extended framework for teachers' pedagogical AI knowledge based on TPACK. *Computers and Education*: Artificial Intelligence, 4, 100145.

Chai, C. S., Koh, J. H. L., ve Tsai, C. C. (2013). A review of technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Educational Technology ve Society*, 16(2), 31-51.

Chiu, T. K. F., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., ve Cheng, M. (2023). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research directions of artificial intelligence in education. *Computers and Education*: Artificial Intelligence, 4, 100118.

Graham, C. R., Borup, J., ve Smith, N. B. (2012). Using TPACK as a framework to understand teacher candidates' technology integration decisions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(6), 530-546.

Güler, E., Uğur, S., ve Güler, C. (2025). Eğitim fakültesi öğretim elemanlarının üretken yapay zekâya yönelik farkındalıklarının belirlenmesi ve öğretmen yetiştirmede kullanımına yönelik öneriler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi,* (74), 618-647. https://doi.org/10.21764/maeuefd.1627851140

Güler, T. (2024). *Yapay zekâ ve fen eğitimi*. Y. S. Sönmez (Ed.), Eğitim ve bilim 2024: *İlköğretim ve ortaöğretimde fen bilimleri eğitimi içinde* (ss. 7-16). Efe Akademi Yayınları.

Güzey, C., Çakır, O., Athar, M. H., ve Yurdaöz, E. (2023). Eğitimde yapay zekâ üzerine gerçekleştirilmiş araştırmalardaki eğilimlerin incelenmesi. *Bilgi ve İletişim Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 67-78.

Kaya, S., ve Yılmaz, O. (2016). Fen eğitiminde tasarım odaklı teknoloji entegrasyonu ve TPAB gelişimi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 17(2), 145-162.

Koehler, M. J., ve Mishra, P. (2005). What happens when teachers design educational technology? The development of technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 32(2), 131-152.

Koehler, M. J., ve Mishra, P. (2008). Introducing TPCK. In Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators (pp. 3-29). Routledge.

Mayer, R. E. (2014). The Cambridge handbook of multimedia learning (2nd ed.). Cambridge University Press. *Learning and instruction, 29, 171-173.*

Mishra, P., ve Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record,* 108(6), 1017-1054.

Niess, M. L. (2005). Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, 21(5), 509-523.

Ramnarain, U., Ogegbo, A. A., Penn, M., Ojetunde, S., ve Mdlalose, N. (2024). Pre-service science teachers' intention to use generative artificial intelligence in inquiry-based teaching. Journal of Science *Education and Technology*, 1-14. https://doi.org/10.1007/s10956-024-10159-z

Rasheed, T. (2025). Metacognitive skill development through AI enhanced educational platforms: A psychological perspective. *The Critical Review of Social Sciences Studies,* 3(3), 404-420. https://doi.org/10.59075/4pvf4y26

Samala, A. D., Rawas, S., Wang, T., Reed, J. M., Kim, J., Howard, N. J., ve Ertz, M. (2025). Unveiling the landscape of generative artificial intelligence in education: A comprehensive taxonomy of applications, challenges, and future prospects. *Education and Information Technologies,* 30(3), 3239-3278. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12936-0

Savaş, M. (2011). *Fen bilgisi öğretmen adaylarının genetik konusu ile ilgili teknolojik pedagojik alan bilgileri algılarının araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Shahin, İ. (2011). Development of survey of technological pedagogical and content knowledge (TPACK). *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(1), 97-105.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

Timur, B. (2011). *Fen bilgisi öğretmen adaylarının kuvvet ve hareket konusundaki teknolojik pedagojik alan bilgilerinin gelişimi* (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.

Trust, T., Whalen, J., ve Mouza, C. (2023). Editorial: ChatGPT: Challenges, opportunities and implications for teacher education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education,* 23(1), 1-23.

Yalçın, V. (2026). *Fen eğitiminde yapay zekâ araçlarının kullanımının fen bilgisi öğretmen adaylarının 21. yüzyıl öğrenen becerileri ile fen okuryazarlık algılarına etkisi* (Yüksek lisans tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Sivas.