
AKADEMİK PERSPEKTİFTEN FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ

Editör: Doç.Dr. Fulya ZORLU



yaz
yayınları

Akademik Perspektiften Fen Bilgisi Eğitimi

Editör

Doç.Dr. Fulya ZORLU

yaz
yayınları

2025

**Akademik Perspektiften Fen Bilgisi
Eğitimi**

Editör: Doç.Dr. Fulya ZORLU

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5596-45-1

Haziran 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

2018-2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programlarının Ünite Bazlı Karşılaştırılması	1
<i>Fatih GÜRBÜZ, Alkan TAŞKIN</i>	
Green Chemistry in Science Education.....	22
<i>Hayriye Nevin GENÇ</i>	
Fen Eğitiminde Dijitalleşme Kaynaklı İhtiyaçlar, Zorluklar ve Gelecek Perspektifi	49
<i>Mehmet KARABAL</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

2018-2024 FEN BİLİMLERİ DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ ÜNİTE BAZLI KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih GÜRBÜZ¹

Alkan TAŞKIN²

1. GİRİŞ

Öğretim programları, öğrencilerin öğrenme ve gelişim ihtiyaçlarını karşılamayı hedefleyen faaliyetler bütünüdür. Hedef, içerik, öğrenme-öğretme süreci ve değerlendirme unsurları dikkate alınarak planlanan bu programlar, öğrencilerin bilgi, beceri, tutum ve değerlerinin sistemli bir şekilde geliştirilmesi amacıyla tasarlanmaktadır. Bu bağlamda, öğrenme deneyimleri öğretim programlarının temel unsurlarından birini oluşturmaktadır. Sürecin verimli bir şekilde yürütülebilmesi için ise etkili öğretim programlarına ihtiyaç vardır (Demirel, 2011).

Oluşturulan öğretim programları, belirli hedeflere ulaşmak amacıyla planlı bir şekilde yürütülen kazanımlardan oluşur. Bu kazanımlar, öğrencilerin bilgi, beceri, tutum ve değerlerini sistematik bir şekilde geliştirmeyi amaçlar ve öğretim programlarının temel yapı taşlarını oluşturur. Programların içeriğinin düzenlenmesi, uygulanması ve değerlendirilmesi aşamalarında önemli bir rol üstlenen bu kazanımlar, öğretim programlarının etkinliğini ve başarısını belirleyen en kritik unsurlar arasında yer alır (Anderson & Krathwohl, 2001).

¹ Prof. Dr., Bayburt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, fgurbuz@bayburt.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9200-9202.

² Müdür Yardımcısı, Baş Öğretmen Milli Eğitim, Erzurum Yakutiye 125. Yıl İlkokulu, alkanaskin_25@hotmail.com, ORCID: 0009-0003-4697-0491.

Bilim ve teknolojiadaki hızlı ilerlemeler, bireylerin bilgiye erişim ve kullanım biçimlerini değiştirmekte; bu değişim, eğitim sistemlerinin yeniden şekillendirilmesini gerekli kılmaktadır. Fen bilimleri eğitimi, bireylere doğayı anlama, sorgulama, problem çözme ve bilimsel temelli karar verme becerileri kazandırarak onların bilimsel okuryazarlık düzeyini artırmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, günümüz fen bilimleri öğretim programları yalnızca bilgi aktarımına dayalı bir yapıdan ziyade, öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştiren, eleştirel düşünme kapasitelerini destekleyen ve araştırmacı tutum kazanmalarını teşvik eden bir yaklaşım benimsemektedir (MEB, 2018; MEB, 2024).

Fen eğitimi, fen öğretim programındaki hedeflerin öğrenciler tarafından deneyimlenerek öğrenilmesini; öğrencinin kazanması gereken tutum ve becerilerin, yeterlilikleri doğrultusunda edindirilmesini amaçlamaktadır (Çepni, 2006; Uslu & Akgün, 2016). Fen Bilimleri Öğretim Programlarıyla ilgili yapılan çalışmalar, programların geliştirilmesi ve değerlendirilmesinin, eğitim kalitesinin artırılmasında kritik bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ünal, Coştu ve Karataş (2004), Türkiye'deki fen bilimleri öğretim programlarını planlama, uygulama ve değerlendirme süreçleri açısından eleştirel bir şekilde incelemiştir. Çalışma, ihtiyaç analizlerinin yetersizliği, altyapı eksiklikleri ve etkili değerlendirme süreçlerinin uygulanamaması gibi sorunları ortaya koymuştur. Yıldırım, Şensoy, Karatepe ve Yalçın (2006) çalışmasında, 2001-2002 fen bilgisi öğretim programının öğretme-öğrenme süreçlerine uygunluğunu öğretmen görüşleriyle incelemiş ve öğretmenlerin programı genel olarak uygun bulduğunu belirlemiştir. Deveci (2018) çalışmasında, 2013 ve 2018 Fen Bilimleri Öğretim Programlarını karşılaştırmıştır. 2018 programında yeni beceriler eklenmiş ve kazanım sayılarında azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, öğrencilerin model oluşturma ve

proje tasarlama gibi becerileri ön plana çıkarken, ölçme ve değerlendirme yöntemlerinin öğretmenlerin tercihinin bırakıldığı tespit edilmiştir. Yaz, Yüzbaşıoğlu ve Kurnaz'ın (2019) çalışmasında, 2000, 2005, 2013, 2017 ve 2018 fen bilimleri öğretim programları karşılaştırılmıştır. 2000-2018 yılları arasındaki fen bilimleri programlarında kazanım sayılarında sadeleştirme ve azalma olduğu, 2017'de ise 'Fen ve Mühendislik Uygulamaları' alanının eklendiği sonucuna ulaşmışlardır.

Demir ve Demir (2025) çalışmasında, 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Öğretim Programlarını karşılaştırarak, programların felsefi yaklaşımları, öğretim yöntemleri, kazanımlar, ders saatleri, öğrenme alanları, değerler eğitimi ve ölçme-değerlendirme süreçlerindeki değişiklikleri incelemiştir. Bulgular, 2024 programının daha disiplinler arası, öğrenci merkezli ve bütüncül bir yapıya sahip olduğunu, aktif öğrenme tekniklerine daha fazla yer verildiğini ve etik ile sürdürülebilirlik temelli bir yaklaşım benimsendiğini göstermektedir. Çalışma, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin yenilikçi bir anlayışı benimseyerek fen bilimleri eğitimini çağdaş bir yaklaşımla dönüştürdüğünü ortaya koymaktadır.

2024 yılı Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli çerçevesinde güncellenen Fen Bilimleri Öğretim Programı, bireysel farklılıkları göz önünde bulundurarak öğrencilere değer ve beceri kazandırmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, programın temel bileşenlerinin, kazanımların belirlenme süreci ve pedagojik yaklaşımının, öğrenme süreçlerini daha etkili ve işlevsel kılacak şekilde tasarlandığı vurgulanmaktadır. Programın, öğrencilerin bilimsel bilgiyi anlamlandırmalarını, disiplinler arası ilişkiler kurmalarını ve günlük yaşamda bilimsel düşünme becerilerini kullanmalarını destekleyen bir çerçevede ele alınması, çağdaş eğitim yaklaşımlarıyla uyumlu bir yapı sunduğunun bir göstergesi olabilir.

Eğitim programlarının karşılaştırılması, eğitim sistemlerinin gelişimi ve etkinliği açısından büyük önem taşır. Bu karşılaştırmalar, mevcut programların güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesine yardımcı olarak daha etkili öğretim stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, programların sürekli olarak güncellenmesi, değişen toplum ihtiyaçları, öğrenci profilleri ve global eğitim trendlerine uyum sağlamak için gereklidir. Pedagojik yaklaşımlar zamanla evrimleşir ve karşılaştırmalar, yeni öğretim yöntemlerinin programa entegrasyonunu ve bunların öğrenci başarısına etkilerini analiz eder. Programların karşılaştırılması, öğrenci başarısını artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmesine, değerler eğitimi ve beceri kazandırma hedeflerine ne kadar hizmet edildiğini değerlendirmeye de olanak verir. Eğitim politikalarının şekillendirilmesinde, hangi stratejilerin başarılı olduğunu ve hangi alanlarda iyileştirme yapılması gerektiğini belirlemek için bu karşılaştırmalar önemlidir. Son olarak, eğitim programlarının karşılaştırılması, verimlilik ve etkinlik analizi yaparak daha etkili, öğrenci odaklı yöntemlerin benimsenmesi için gereken değişiklikleri öne çıkarır. Bu nedenle, eğitim programlarının karşılaştırılması, eğitim sistemlerinin sürekli gelişimini sağlamak, öğrencilerin öğrenme süreçlerini iyileştirmek ve eğitim kalitesini artırmak için kritik bir araçtır. Bu sebeple, gerçekleştirilen çalışmada 2018 Fen Bilimleri Programı ile 2024 Fen Bilimleri Dersi Programları, ünite bazında karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Bu karşılaştırma, her iki programın ünite içeriklerini incelemeyi amaçlamaktadır.

2. 2018-2024 FEN BİLİMLERİ DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ ÜNİTE BAZLI KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 1. 2018-2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında Yer alan Üniteler (3. Sınıf)

Sınıf		2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı	2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı
3. Sınıf	Üniteler	Gezegeneimizi Tanıyalım	Bilimsel Keşif Yolculuğu
	Konular	1. Dünya'nın Şekli 2. Dünya'nın Yapısı	1. Bilimsel Bilgiye Ulaşma Yolları 2. Bilim İnsanlarının Özellikleri
	Üniteler	Beş Duyumuz ¹	Canlılar Dünyasına Yolculuk ¹
	Konular	1. <u>Duyu Organları ve Görevleri</u>	1. Canlıların Sınıflandırılması 2. <u>Duyu Organlarının İşlevleri</u> 3. Canlıların Yaşam Döngüleri
	Üniteler	Kuvveti Tanıyalım ²	Yer Bilimciler İş Başında
	Konular	1. <u>Varlıkların Hareket Özellikleri</u> 2. <u>Cisimleri Hareket Ettirme ve Durdurma</u>	1. Kayalar, Madenler ve Mineraller 2. Fosil Oluşumu
	Üniteler	Maddeyi Tanıyalım ³	Maddeyi Tanıyalım, Karıştırıp Ayıralım ³
	Konular	1. Maddeyi Niteleyen Özellikler 2. <u>Maddenin Hâlleri</u>	1. <u>Maddenin Katı, Sıvı ve Gaz Hâli</u> 2. Karışımlar ve Karışımların Ayrılması 3. Atıkların Ayrıştırılması
	Üniteler	Çevremizdeki Işık ve Sesler	Hareketi Keşfediyorum ²
	Konular	1. Işığın Görmedeki Rolü, 2. Işık Kaynakları 3. Çevremizdeki Sesler 4. Sesin İşitmedeki Rolü	1. <u>Varlıkların Hareketleri</u> 2. <u>Kuvvet ve Etkileri</u>
	Üniteler	Canlılar Dünyasına Yolculuk ⁴	Yaşamımızı Kolaylaştıran Elektrik ⁵
	Konular	1. <u>Çevremizdeki Varlıkları Tanıyalım</u> 2. <u>Ben ve Çevrem</u>	1. <u>Elektrikli Araç Gereçler</u> 2. <u>Elektrikli Araç Gereçlerin Güvenli Kullanımı</u> 3. Elektrikli Tasarruflu Kullanımı
	Konular	1. <u>Elektrikli Araç-Gereçler</u> 2. Elektrik Kaynakları 3. <u>Elektriğin Güvenli Kullanımı</u>	1. Toprak Oluşumu ve Yapısı 2. Bitki Yetiştirme
	Üniteler		Canlıların Yaşam Alanlarına Yolculuk ⁴
	Konular		1. Yaşam Alanları 2. <u>Canlı Çeşitliliği</u> 3. <u>Yaşam Alanlarının Korunmasının Canlı Çeşitliliğine Etkisi</u>

Not: Ünite üstü sayılar Eşleşen ünite konularını göstermektedir.

Tablo 1 ve **Tablo 1 Devam** da 3. sınıf düzeyinde 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları arasında yer alan konuların ünitelere göre eşleşme durumları görülmektedir.

Programlar incelendiğinde, 2018 programındaki “Beş Duyumuz” ünitesinin, 2024 programında “Canlılar Dünyasına Yolculuk” ünitesiyle benzerlik gösterdiği ve geliştirilerek sunulduğu görülmektedir. Benzer şekilde, 2018’de “Kuvveti Tanıyalım” başlığıyla yer alan ünite, 2024 programında “Hareketi Keşfediyorum” adıyla ele alınmıştır. “Maddeyi Tanıyalım” ünitesi, 2024 programında “Maddeyi Tanıyalım, Karıştırıp Ayıralım” şeklinde genişletilmiş, “Canlılar Dünyasına Yolculuk” ünitesi ise “Canlıların Yaşam Alanlarına Yolculuk” olarak güncellenmiştir. Ayrıca, 2018 programındaki “Elektrikli Araçlar” ünitesinin, 2024 programında “Yaşamımızı Kolaylaştıran Elektrik” başlığıyla benzer bir içeriğe sahip olduğu görülmektedir.

2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programındaki “Gezegemimizi Tanıyalım” ve “Çevremizdeki Işık ve Sesler” üniteleri ile 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı'ndaki hiçbir ünite eşleşmemektedir. Aynı şekilde, 2024 programındaki “Bilimsel Keşif Yolculuğu”, “Yer Bilimciler İş Başında” ve “Toprağı Tanıyorum, Tarımı Keşfediyorum” üniteleri 2018 programında yer almamaktadır.

Tablo 2. 2018-2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında Yer alan Üniteler (4. Sınıf)

Sınıf		2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı	2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı
4. Sınıf	Üniteler	Yer Kabuğu ve Dünya'mızın Hareketleri ²	Bilime Yolculuk
	Konular	1. Yer Kabuğunun Yapısı 2. <u>Dünya'mızın Hareketleri</u>	1. Bilimin Özellikleri 2. Bilgi Kaynaklarının Güvenilirliği
	Üniteler	Besinlerimiz ¹	Sağlıklı Besleniyorum ¹
	Konular	1. <u>Besinler ve Özellikleri</u>	1. <u>Besinlerin İçerikleri</u> 2. Besinler ve Sağlıklı Yaşam
	Üniteler	Kuvvetin Etkileri ⁶	Dünya'mızı Keşfedelim ²
	Konular	1. Kuvvetin Cisimler Üzerindeki Etkileri 2. Mıknatısların Uyguladığı Kuvvet	1. Dünya'nın Şekli 2. Dünya'nın Yapısı 3. <u>Dünya'nın Hareketleri</u>
	Üniteler	Maddenin Özellikleri ³	Maddenin Değişimi ³
	Konular	1. Maddeyi Niteleyen Özellikler 2. Maddenin Ölçülebilir Özellikleri 3. <u>Maddenin Hâlleri</u> 4. <u>Maddenin Isı Etkisiyle Değişimi</u> 5. Saf Madde ve Karışım	1. <u>Maddenin Hâl Değişimleri</u> 2. <u>Maddelerin Isı Etkisiyle Değişimi</u>
	Üniteler	Aydınlatma ve Ses Teknolojileri ⁵	Mıknatısı Keşfediyorum ⁶
	Konular	1. <u>Aydınlatma Teknolojileri</u> 2. <u>Uygun Aydınlatma</u> 3. <u>Işık Kirliliği</u> 4. Geçmişten Günümüze Ses Teknolojileri 5. Ses Kirliliği	1. Mıknatısın Kutupları ve Etkileşimleri 2. Mıknatısın Etki Ettiği Maddeler 3. Mıknatısın Kullanım Alanları
4. Sınıf	Üniteler	İnsan ve Çevre ⁷	Enerji Dedektifleri ⁴
	Konular	1. <u>Bilinçli Tüketici</u>	1. <u>Basit Elektrik Devresi</u> 2. Yenilenebilir ve Yenilenemeyen Enerji Kaynakları
	Üniteler	Basit Elektrik Devreleri ⁴	Işığın Peşinde ⁵
	Konular	1. <u>Basit Elektrik Devreleri</u>	1. Işığın Görmedeki Rolü 2. <u>Işık Kaynakları</u> 3. <u>Işık Kirliliği</u>
	Üniteler		Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar ⁷
	Konular		1. <u>Sürdürülebilir Yaşam</u>

Not: Ünite üstü sayılar Eşleşen ünite konularını göstermektedir.

Tablo 2 ve **Tablo 2 Devam** incelendiğinde, 4. sınıf düzeyinde 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları arasında yer alan bazı ünitelerin eşleştiği, bazı ünitelerin de genişletilerek yeni programda yer aldığı gözlemlenmektedir.

2018 programında yer alan “Besinlerimiz” ünitesi, 2024 programında “Sağlıklı Besleniyorum” başlığıyla yer almaktadır. “Yer Kabuğu ve Dünya’mızın Hareketleri” başlığıyla 2018 programında yer alan ünite, 2024 programında “Dünya’mızı Keşfedelim” başlığıyla güncellenmiştir. “Maddenin Özellikleri” ünitesi, 2024 programında “Maddenin Değişimi” başlığı altında sunulurken, “Basit Elektrik Devreleri” ünitesi ise “Enerji Dedektifleri” olarak yeniden şekillendirilmiştir. 2018 programında yer alan “Aydınlatma ve Ses Teknolojileri” ünitesi 2024 programında “Işığın Peşinde” başlığıyla yer almaktadır. “Kuvvetin Etkileri” ünitesi ise 2024 programında “Mıknatısı Keşfediyorum” olarak ele alınmıştır. 2018 programında yer alan “İnsan ve Çevre” ünitesi, 2024 programında “Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar” başlığı altında güncellenmiştir. Ayrıca, 2024 programına yeni bir ünite olarak “Bilime Yolculuk” ünitesi eklenmiştir.

Tablo 3. 2018-2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında Yer alan Üniteler (5. Sınıf)

Sınıf		2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı	2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı
5. Sınıf	Üniteler	Güneş, Dünya ve Ay ¹	Gökyüzündeki Komşularımız ve Biz ¹
	Konular	1. <u>Güneş’in Yapısı ve Özellikleri</u> 2. <u>Ay’ın Yapısı ve Özellikleri</u> 3. Ay’ın Hareketleri ve Evreleri 4. Güneş, Dünya ve Ay	1. <u>Gökyüzündeki Komşumuz: Güneş</u> 2. <u>Gökyüzündeki Komşumuz: Ay</u> 3. Dünya’mız ve Gökyüzündeki Komşularımız
	Üniteler	Canlılar Dünyası ³	Kuvveti Tanıyalım ²
	Konular	1. <u>Canlıları Tanıyalım</u>	1. <u>Kuvvet ve Kuvvetin Ölçülmesi</u> 2. Kütle ve Ağırlık İlişkisi 3. <u>Sürtünme Kuvveti</u>
	Üniteler	Kuvvetin Ölçülmesi ve Sürtünme ²	Canlıların Yapısına Yolculuk ³
	Konular	1. <u>Kuvvetin Ölçülmesi</u> 2. <u>Sürtünme Kuvveti</u>	1. Hücre ve Organelleri 2. <u>Bitki ve Hayvan Hücresi</u> <u>Arasındaki Benzerlik ve Farklılıklar</u> 3. Hücre-Doku-Organ-Sistem-Organizma İlişkisi 4. Destek ve Hareket Sistemi
	Üniteler	Madde ve Değişim ⁵	Işığın Dünyası ⁴
	Konular	1. <u>Maddenin Hâl Değişimi</u> 2. Maddenin Ayırt Edici Özellikleri 3. <u>Isı ve Sıcaklık</u> 4. Isı Maddeleri Etkiler	1. <u>Işığın Yayılması</u> 2. <u>Işığın Maddeyle Etkileşimi</u> 3. <u>Tam Gölgenin Oluşumu</u>
	Üniteler	Işığın Yayılması ⁴	Maddenin Doğası ⁵
	Konular	1. <u>Işığın Yayılması</u> 2. Işığın Yansıması 3. <u>Işığın Maddeyle Karşılaşması</u> 4. <u>Tam Gölge</u>	1. Taneciklerin Konumu 2. Taneciklerin Boşluklu Yapısı 3. Taneciklerin Hareketi 4. <u>Isı ve Sıcaklık</u> 5. Isı ve Sıcaklık Arasındaki Farklar

			6. <i>Maddenin Hâl Değişimi</i> 7. ısı Akışı ile İlgili Temel Kavramlar
5. Sınıf	Üniteler	İnsan ve Çevre	Yaşamımızdaki Elektrik ⁶
	Konular	1. Biyoçeşitlilik 2. İnsan ve Çevre ilişkisi 3. Yıkıcı Doğa Olayları	1. <i>Devre Elemanlarının Sembollerini ve Devre Şeması</i> 2. <i>Basit Elektrik Devresi</i> 3. <i>Ampul Parlaklığını Etkileyen Değişkenler</i>
	Üniteler	Elektrik Devre Elemanları ⁶	Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm
	Konular	1. <i>Devre Elemanlarının Sembollerle Gösterimi ve Devre Şemaları</i> 2. <i>Basit Bir Elektrik Devresinde Lamba Parlaklığını Etkileyen Değişkenler</i>	1. Evsel Atıklar 2. Geri Dönüşüm 3. Atık Yönetimi

Not: Ünite üstü sayılar Eşleşen ünite konularını göstermektedir.

Tablo 3 ve **Tablo 3 Devam** incelendiğinde, 5. sınıf düzeyindeki 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları arasındaki konu başlıklarının ünitelere göre eşleşme durumu gözle görülür şekilde değişiklik göstermektedir. 2018 programındaki “Güneş, Dünya ve Ay” ünitesi, 2024 programında “Gökyüzündeki Komşularımız ve Biz” başlığı altında yer almaktadır. Aynı şekilde, “Kuvvetin Ölçülmesi ve Sürtünme” ünitesi, 2024 programında “Kuvveti Tanıyalım” başlığıyla güncellenmiştir. 2018 programındaki “Canlılar Dünyası” ünitesi, 2024 programında “Canlıların Yapısına Yolculuk” başlığıyla ele alınmaktadır. 2018 programında “Işığın Yayılması” başlığıyla yer alan ünite, 2024 programında “Işığın Dünyası” başlığı altında aktarılmaktadır. “Madde ve Değişim” ünitesi, 2024 programında “Maddenin Doğası” başlığıyla sunulmaktadır. 2018 programındaki “Elektrik Devre Elemanları” başlıklı ünite, 2024 programında “Yaşamımızdaki Elektrik” olarak yer almaktadır. 2018 programındaki “İnsan ve Çevre” ünitesi ile 2024 programındaki “Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm” ünitesi ise içerik açısından farklılık göstermektedir.

Tablo 4. 2018-2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında Yer alan Üniteler (6. Sınıf)

Sınıf		2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı	2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı
6. Sınıf	Üniteler	Güneş Sistemi ve Tutulmalar ¹	Güneş Sistemi ve Tutulmalar ¹
	Konular	1. <i>Güneş Sistemi</i> 2. <i>Güneş ve Ay Tutulmaları</i>	1. <i>Güneş Sistemi ve Gezegener</i> 2. <i>Güneş ve Ay Tutulmaları</i>
	Üniteler	Vücudumuzdaki Sistemler	Kuvvetin Etkisinde Hareket ²
	Konular	1.Destek ve Hareket Sistemi 2.Sindirim Sistemi 3.Dolaşım Sistemi 4.Solunum Sistemi 5.Boşaltım Sistemi	1. <i>Bileşke Kuvvet</i> 2.Dengelenmiş ve Dengelenmemiş Kuvvetler 3. <i>Sürat ve Hız İlişkisi</i>
	Üniteler	Kuvvet ve Hareket ²	Canlılarda Sistemler ³
	Konular	1. <i>Bileşke Kuvvet</i> 2. <i>Sabit Süratli Hareket</i>	1.Bitki ve Hayvanlarda Üreme, Büyüme ve Gelişme 2. <i>Denetleyici ve Düzenleyici Sistemler</i>
	Üniteler	Madde ve Isı ⁴	Işığın Yansıması ve Renkler
	Konular	1.Maddenin Tanecikli Yapısı 2. <i>Yoğunluk</i> 3. <i>Madde ve Isı</i> 4.Yakıtlar	1.Işığın yansıması 2.Düzgün ve dağınık yansıma 3.Yansıma kanunları 4.Ayna çeşitlerinde görüntü özellikleri 5.Aynaların kullanım alanları 6.Işığın soğurulması 7.Beyaz ışığı oluşturan renkler 8.Cisimlerin renkli görülmesi 9.Güneş ışığının günlük yaşamda kullanım alanları
	Üniteler	Ses ve Özellikleri	Maddenin Ayırt Edici Özellikleri ⁴
	Konular	1.Sesin Yayılması 2.Sesin Farklı Ortamlarda Farklı Duyulması 3.Sesin Sürati 4.Sesin Maddeyle Etkileşmesi	1. <i>Isı ve Madde Etkileşimi</i> 2.Maddenin Hâl Değişim Noktaları 3. <i>Yoğunluk</i>
	Üniteler	Vücudumuzdaki Sistemler ve Sağlığı ³	Elektriğin İletimi ve Direnci ⁵
	Konular	1. <i>Denetleyici ve Düzenleyici Sistemler</i> 2.Duyu Organları 3.Sistemlerin Sağlığı	1. <i>Elektriğin İletimi</i> 2. <i>Elektriksel Direnci ve Bağlı Olduğu Faktörler</i>
	Üniteler	Elektriğin İletimi ⁵	Sürdürülebilir Yaşam ve Etkileşim
	Konular	1. <i>İletken ve Yalıtkan Maddeler</i> 2. <i>Elektriksel Direnci ve Bağlı Olduğu Faktörler</i>	1.Biyçeşitlilik 2.Biyçeşitliliği Tehdit Eden Faktörler 3.İnsan ve Çevre Etkileşimi 4.Isı Amaçlı Yakıt Kullanımı 5.Çevre Sorunları

Not: Ünite üstü sayılar Eşleşen ünite konularını göstermektedir.

Tablo 4 ve Tablo 4 Devam incelendiğinde, 6. sınıf Fen Bilimleri derslerinde 2018 ve 2024 yılları arasında hem benzer konular hem de güncellenen başlıklar göze çarpmaktadır. “Güneş Sistemi ve Tutulmalar” ünitesi 2018 ve 2024 programlarında aynı şekilde yer almaktadır. “Kuvvet ve Hareket” ünitesi, 2024 programında “Kuvvetin Etkisinde Hareket” başlığıyla güncellenmiştir. “Vücudumuzdaki Sistemler ve Sağlığı” ünitesi ise 2024 programında “Canlılarda Sistemler” olarak değiştirilmiştir. 2018'deki “Madde ve Isı” başlığı, 2024'te “Maddenin Ayırt Edici Özellikleri” olarak güncellenirken, “Elektriğin İletimi” ünitesi “Elektriğin İletimi ve Direnç” başlığıyla değişikliğe uğramıştır. Diğer taraftan, 2018 programındaki “Vücudumuzdaki Sistemler”, “Ses ve Özellikleri” ile 2024 programındaki “Işığın Yansıması ve Renkler” ve “Sürdürülebilir Yaşam ve Etkileşim” konuları birbiriyle örtüşmemektedir.

Tablo 5. 2018-2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında Yer alan Üniteler (7. Sınıf)

Sınıf		2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı	2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı
7. Sınıf	Üniteler	Güneş Sistemi ve Ötesi ¹	Uzay Çağı ¹
	Konular	1. <i>Uzay Araştırmaları</i> 2. <i>Güneş Sistemi Ötesi: Gök Cisimleri</i>	1. <i>Türkiye ve Uzay Araştırmaları</i> 2. <i>Uzayda Neler Var?</i>
	Üniteler	Hücre ve Bölünmeler	Kuvvet ve Enerjiyi Keşfedelim ²
	Konular	1.Hücre 2.Mitoz 3.Mayoz	1.Fiziksel Anlamda Yapılan İş 2.Enerji Çeşitleri 3. <i>Enerji Dönüşümleri</i> 4.Enerjinin Korunumu Yasası
	Üniteler	Kuvvet ve Enerji ²	Vücudumuzdaki Sistemler
	Konular	1.Kütle ve Ağırlık İlişkisi 2.Kuvvet, İş ve Enerji İlişkisi 3. <i>Enerji Dönüşümleri</i>	1.Sindirim Sistemi 2.Dolaşım Sistemi 3.Kan Bağıışı 4.Solunum Sistemi 5.Boşaltım Sistemi
	Üniteler	Saf Madde ve Karışımlar ⁴	Işığın Kırılması ve Mercekler ³
	Konular	1. <i>Maddenin Tanecikli Yapısı</i> 2. <i>Saf Maddeler</i> 3. <i>Karışımlar</i> 4. <i>Karışımların Ayrılması</i> 5.Evsel Atıklar ve Geri Dönüşüm	1. <i>Işığın Kırılması</i> 2. <i>Mercekler</i>
	Üniteler	Işığın Madde ile Etkileşimi ³	Maddenin Doğasına Yolculuk ⁴

	Konular	1. Işığın Soğurulması 2. Aynalar 3. <u>Işığın Kırılması ve Mercekler</u>	1. <u>Maddenin Tanecikli Yapısı</u> 2. <u>Saf Maddeler</u> 3. <u>Karışımlar</u> 4. <u>Karışımların Ayrılması</u>
	Üniteler	Canlılarda Üreme, Büyüme ve Gelişme	Elektriklenme
	Konular	1. İnsanda Üreme, Büyüme ve Gelişme 2. Bitki ve Hayvanlarda Üreme, Büyüme ve Gelişme	1. Elektriklenme 2. Elektriklenme Çeşitleri 3. Elektrik Yükleri
	Üniteler	Elektrik Devreleri	Sürdürülebilir Yaşam ve Enerji
	Konular	1. Ampullerin Bağlanma Şekilleri	1. Besin Zinciri ve Enerji Akışı 2. Sürdürülebilir Yaşam 3. Kaynakların Tasarruflu Kullanımı

Not: Ünite üstü sayılar Eşleşen ünite konularını göstermektedir.

Tablo 5 incelendiğinde, 7. sınıf düzeyindeki 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları arasında yer alan bazı ünite başlıklarının eşleşme durumu belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir. 2018 programında yer alan “Güneş Sistemi ve Ötesi” ünitesi, 2024 programında “Uzay Çağı” başlığıyla sunulmuştur. Benzer şekilde, “Kuvvet ve Enerji” ünitesi, 2024 programında “Kuvvet ve Enerjiyi Keşfedelim” başlığı altında yer almaktadır. 2018 programındaki “Işığın Madde ile Etkileşimi” ünitesi, 2024 programında “Işığın Kırılması ve Mercekler” başlığı altında yer alırken, “Saf Madde ve Karışımlar” ünitesi ise 2024 programında “Maddenin Doğasına Yolculuk” başlığıyla güncellenmiştir. Bununla birlikte, 2018 programındaki “Hücre ve Bölünmeler” “Canlılarda Üreme, Büyüme ve Gelişme” ve “Elektrik Devreleri” üniteleri ile 2024 programındaki “Vücudumuzdaki Sistemler”, “Elektriklenme” ve “Sürdürülebilir Yaşam ve Enerji” konuları arasında bir bağlantı bulunmamaktadır.

Tablo 6. 2018-2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında Yer alan Üniteler (8. Sınıf)

Sınıf		2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı	2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı
8. Sınıf	Üniteler	Mevsimler ve İklim ¹	Mevsimler ve İklim ¹
	Konular	1. <i>Mevsimlerin Oluşumu</i> 2. <i>İklim ve Hava Hareketleri</i>	1. <i>Mevsimlerin Oluşumu</i> 2. <i>İklim ve Hava Olayları</i>
	Üniteler	DNA ve Genetik Kod ³	Yaşamı Kolaylaştıran Kuvvet ²
	Konular	1. <i>DNA ve Genetik Kod</i> 2. <i>Kalıtım</i> 3. <i>Mutasyon ve Modifikasyon</i> 4.Adaptasyon (Çevreye Uyum) 5.Biyoteknoloji	1. <i>Basit Makineler</i> 2.İş Kolaylığı 3.Kuvvetten Kazanç ve Kayıp 4.Yoldan Kazanç ve Kayıp
	Üniteler	Basınç	Yaşamın Gizemi ³
	Konular	1.Basınç	1. <i>DNA ve Genetik Kod</i> 2.Mitoz ve Mayoz 3. <i>Kalıtım</i> 4. <i>Mutasyon ve Adaptasyon</i>
	Üniteler	Madde ve Endüstri ⁴	Sesin Dünyası
	Konular	1. <i>Periyodik Sistem</i> 2. <i>Fiziksel ve Kimyasal Değişimler</i> 3. <i>Kimyasal Tepkimeler</i> 4. <i>Asitler ve Bazlar</i> 5.Maddenin Isı ile Etkileşimi 6.Türkiye’de Kimya Endüstrisi	1.Ses Oluşumu 2.Ses Kaynağından Uzaklığın ve Ses Şiddetinin İletimindeki Rolü 3.Sesin Yansıması ve Soğurulması 4.Ses Kirliliği
	Üniteler	Basit Makineler ²	Periyodik Tablo ve Maddenin Etkileşimi ⁴
	Konular	1. <i>Basit Makineler</i>	1. <i>Periyodik Tablo</i> 2. <i>Fiziksel ve Kimyasal Değişimler</i> 3. <i>Kimyasal Tepkimeler</i> 4. <i>Asitler ve Bazlar</i>
	Üniteler	Enerji Dönüşümleri ve Çevre Bilimi ⁶	Elektriğin Yolculuğu ⁵
	Konular	1.Besin Zinciri ve Enerji Akışı 2. <i>Enerji Dönüşümleri</i> 3. <i>Madde Döngüleri ve Çevre Sorunları</i> 4.Sürdürülebilir Kalkınma	1.Ampullerin Bağlanma Şekli 2. <i>Elektrik Enerjisinin Dönüşmesi</i>
	Üniteler	Elektrik Yükleri ve Elektrik Enerjisi ⁵	Sürdürülebilir Yaşam ve Madde Döngüleri ⁶
	Konular	1.Elektrik Yükleri ve Elektriklenme 2.Elektrik Yüklü Cisimler 3. <i>Elektrik Enerjisinin Dönüşümü</i>	1. <i>Enerji Dönüşümleri</i> 2. <i>Madde Döngüleri</i> 3.Küresel İklim Değişikliği

Not: Ünite üstü sayılar Eşleşen ünite konularını göstermektedir.

Tablo 6 ve **Tablo 6 Devam** incelendiğinde, 8. sınıf düzeyindeki 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim

Programları arasında bazı ünite başlıklarının dönüştürüldüğü veya güncellendiği görülmektedir. 2018 programındaki “Mevsimler ve İklim” ünitesi, 2024 programında aynı başlık altında yer almaktadır. “Basit Makineler” ünitesi, 2024 programında “Yaşamı Kolaylaştıran Kuvvet” şeklinde güncellenmiştir. “DNA ve Genetik Kod” ünitesi ise 2024 programında “Yaşamın Gizemi” başlığı altına alınmıştır. “Madde ve Endüstri” ünitesi, 2024 programında “Periyodik Tablo ve Maddenin Etkileşimi” olarak ele alınmaktadır. “Elektrik Yükleri ve Elektrik Enerjisi” ünitesi, 2024 programında “Elektriğin Yolculuğu” şeklinde güncellenmiştir. Ayrıca, 2018 programındaki “Enerji Dönüşümleri ve Çevre Bilimi” ünitesi, 2024 programında “Sürdürülebilir Yaşam ve Madde Döngüleri” olarak yer almaktadır. Ancak, 2018 programındaki “Basınç” ünitesi ile 2024 programındaki “Sesin Dünyası” ünitesi, konu bakımından örtüşmemektedir.

3. SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışmada 2018 ve 2024 Fen Bilimleri öğretim programları sınıf bazlı ünite ve içerik açısından incelenmeye çalışılmıştır. 3. Sınıf özelinde yapılan inceleme neticesinde; 2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı'nın daha çok temel ve bilimsel kavramlara odaklandığı, 2024 programının ise bilimsel süreç becerilerini geliştirme, teknoloji kullanımı ve sürdürülebilirlik gibi çağdaş konuları daha fazla vurguladığı görülmektedir. 2018 programında Dünya'nın şekli, yapısı, madde ve kuvvet gibi doğa bilimleri konularına ağırlık verilirken, 2024 programı bilimsel bilginin elde edilme yolları, bilim insanlarının özellikleri ve elektrikli araç gereçlerin güvenli kullanımı gibi öğrencilere bilimsel farkındalık kazandırmayı amaçlayan içeriklere yer vermektedir. Ayrıca, 2024 programında sürdürülebilirlik, çevre bilinci ve tarım gibi konular daha fazla

öne çıkmaktadır. Bu değişim, fen bilimleri öğretiminde teorik bilgidен ziyade bilimsel düşünme becerilerini ve günlük yaşamla bağlantılı kavramları ön plana çıkaran bir yaklaşımın benimsendiğini göstermektedir. Dolayısıyla 2024 öğretim programı, öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirmeyi, teknoloji kullanımını artırmayı ve çevresel farkındalık oluşturarak daha geniş bir bakış açısı kazandırmayı hedeflemektedir.

7. sınıf düzeyinde yapılan incelemeler 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programlarının içerik ve yaklaşım bakımından önemli ölçüde farklılaştığını ortaya koymaktadır. 2018 programı, Dünya'nın hareketleri, kuvvetin etkileri, maddenin ölçülebilir özellikleri ve ışık-ses teknolojileri gibi temel bilimsel konulara odaklanırken, 2024 programı daha çok bilimsel süreç becerileri, bilgi kaynaklarının güvenilirliği, sürdürülebilirlik ve enerji bilinci gibi çağdaş temaları vurgulamaktadır. Ayrıca, 2024 programında sağlıklı beslenme, sürdürülebilir şehirler, yenilenebilir enerji kaynakları gibi bireysel ve toplumsal yaşamla doğrudan ilişkili konulara daha fazla yer verildiği görülmektedir. Bu durum, fen bilimleri öğretiminde sadece kavramsal bilgiyi aktarmaktan ziyade, öğrencilerin bilimsel düşünme becerilerini geliştirmeye, bilinçli bireyler olmalarına ve çevresel farkındalık kazanmalarına yönelik bir anlayışın benimsendiğini göstermektedir. Dolayısıyla, 2024 öğretim programı, öğrencilere bilimsel bilgiyle günlük yaşamı ilişkilendirme ve geleceğe yönelik sürdürülebilir çözümler üretme konusunda daha kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

5. sınıf açısından 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları karşılaştırıldığında, konuların kapsamı ve bilimsel yaklaşımda önemli değişiklikler olduğu görülmektedir. 2018 programında Güneş, Dünya ve Ay gibi gök cisimlerinin yapısı ve hareketleri detaylı olarak ele alınırken, 2024 programında bu konular “Gökyüzündeki Komşularımız” başlığı

altında daha bütüncül bir yaklaşımla işlenmiştir. Canlı bilimleri alanında, 2018 programında canlıların tanıtımına odaklanılırken, 2024 programında hücre düzeyinden organizma seviyesine kadar daha derinlemesine bir yapılandırma benimsenmiştir. Fizik konularında ise 2018 programında kuvvetin ölçülmesi, sürtünme ve ışığın yayılması gibi temel kavramlara yer verilirken, 2024 programında maddenin tanecikli yapısı, ısı akışı ve ışığın maddeyle etkileşimi gibi daha analitik konular eklenmiştir. Ayrıca, 2024 programında “Sürdürülebilir Yaşam ve Geri Dönüşüm” gibi çevresel farkındalığı artırmaya yönelik yeni bir ünite eklenerek öğrencilerin günlük hayattaki bilimsel uygulamalara olan duyarlılıklarının artırılması amaçlanmıştır. Genel olarak, 2024 öğretim programı, bilimsel okuryazarlık ve sürdürülebilirlik temalarını daha fazla vurgulayan, kavramsal bilgiyi derinleştiren ve uygulamaya yönelik bir yapıya sahiptir.

6. sınıf düzeyinde 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları arasında temel kavramsal içeriğin korunduğu, ancak konuların sunumu ve temalar arasındaki ilişkilerde belirgin dönüşümlerin gerçekleştiği görülmektedir. Güneş Sistemi ve tutulmalar her iki programda da yer almakla birlikte, 2024 programında gezegenler vurgulanarak kapsam genişletilmiştir. Canlı bilimleri açısından, 2018 programında vücudumuzdaki sistemler detaylı şekilde ele alınırken, 2024 programında bu konular “Canlılarda Sistemler” başlığı altında daha bütüncül bir yaklaşımla düzenlenmiştir. Fizik konularında, 2018 programında “Kuvvet ve Hareket” ünitesi yer alırken, 2024 programında “Kuvvetin Etkisinde Hareket” olarak adlandırılmış ve dengelenmiş-dengelenmemiş kuvvetler ile sürat-hız ilişkisine daha fazla vurgu yapılmıştır. Ayrıca, ışığın yansıması ve renkler gibi optik konulara yeni alt başlıklar eklenerek görsel algıyı geliştirmeye yönelik içerik artırılmıştır. Maddenin özellikleriyle ilgili ünitelerde yoğunluk, ısı ve madde etkileşimi gibi konular korunmuş, ancak maddenin ayırt edici özellikleri daha analitik bir

çerçevede ele alınmıştır. Çevresel farkındalık açısından, 2024 programında "Sürdürülebilir Yaşam ve Etkileşim" ünitesi eklenerek biyoçeşitlilik, çevre sorunları ve enerji kullanımı konularına daha fazla yer verilmiştir. Genel olarak, 2024 programı, fen bilimlerini günlük yaşamla ilişkilendirme, sürdürülebilirlik bilinci kazandırma ve kavramsal bilgiyi daha bütüncül bir çerçevede sunma açısından önemli değişiklikler içermektedir.

2018 ve 2024 yıllarına ait 7. Sınıf Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları karşılaştırıldığında, temel kavramların büyük ölçüde korunduğu, ancak belirli ünitelerde yeniden yapılanma ve düzenlemelerin gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. 2018 programındaki "Güneş Sistemi ve Ötesi" ünitesi, 2024 programında "Uzay Çağı" olarak güncellenmiş ve uzay araştırmalarında Türkiye'nin rolüne vurgu yapılmıştır. "Hücre ve Bölünmeler" ünitesi 2024 programında yer almazken, fizik konularına daha fazla ağırlık verilerek "Kuvvet ve Enerjiyi Keşfedelim" ünitesi eklenmiştir. Vücudumuzdaki sistemler ünitesi 2024 programında geri dönmüş ve kan bağıışı gibi yeni bir konu eklenmiştir. "Işığın Kırılması ve Mercekler" ünitesi 2024 programında genişletilmiş, maddenin doğasıyla ilgili konular daha kapsamlı hale getirilmiştir. Elektrik konuları sadeleştirilerek "Elektriklenme" ünitesi oluşturulmuş ve elektrik devreleri yerine sürdürülebilir enerji kullanımına yönelik içerikler eklenmiştir. 2024 programı, fen bilimlerini daha güncel, teknolojik ve sürdürülebilir yaşam odaklı bir bakış açısıyla ele alarak öğrencilerin bilimsel farkındalıklarını artırmayı hedeflemektedir.

8. sınıf düzeyinde 2018 ve 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programları karşılaştırıldığında, bazı ünitelerin isimleri değiştirilerek içeriklerin yeniden düzenlendiği görülmektedir. "DNA ve Genetik Kod" ünitesi, 2024 programında "Yaşamın Gizemi" olarak genişletilmiş ve mitoz bölünme eklenmiştir. "Basit Makineler" konusu, 2024 programında "Yaşamı

Kolaylaştıran Kuvvet” başlığı altında detaylandırılmıştır. 2018 programında yer alan “Madde ve Endüstri” ünitesi, 2024'te “Periyodik Tablo ve Maddenin Etkileşimi” olarak güncellenmiştir. Ses konuları yeni bir ünite olarak eklenmiş ve “Sesin Dünyası” başlığı altında ele alınmıştır. “Enerji Dönüşümleri ve Çevre Bilimi” ünitesi 2024 programında “Sürdürülebilir Yaşam ve Madde Döngüleri” olarak yeniden düzenlenmiş ve küresel iklim değişikliği gibi güncel konular programa dahil edilmiştir. Elektrik konuları sadeleştirilerek “Elektriğin Yolculuğu” ünitesi altında işlenmiştir. Genel olarak 2024 programı, fen bilimleri öğretimini daha bağlantılı, sürdürülebilir yaşam odaklı ve disiplinler arası bir yapıya dönüştürmeyi amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, 2018 ve 2024 Fen Bilimleri öğretim programları karşılaştırıldığında, 2024 programının bilimsel süreç becerilerini geliştirme, teknoloji kullanımı, sürdürülebilirlik ve çevre bilinci gibi çağdaş temalara daha fazla vurgu yaptığı görülmektedir. 2018 programı daha çok temel bilimsel kavramların öğretimine odaklanırken, 2024 programı öğrencilerin bilimsel bilgiyi nasıl elde ettiğine, bilim insanlarının özelliklerine ve bilimsel farkındalık kazandırmaya yönelik içeriklere daha fazla yer vermektedir. 3. sınıftan 8. sınıfa kadar yapılan değişiklikler, fen bilimleri öğretiminde teorik bilgiden ziyade bilimsel düşünme becerilerinin geliştirilmesi, günlük yaşamla ilişkilendirilmiş öğrenme deneyimlerinin artırılması ve disiplinler arası bir bakış açısının benimsenmesi yönünde bir dönüşümü yansıtmaktadır. Özellikle sürdürülebilirlik, çevre bilinci, enerji kullanımı ve geri dönüşüm gibi konulara daha fazla yer verilmesi, öğrencilerin bilimsel bilgiyle geleceğe yönelik çözümler üretme becerilerini geliştirmeye yönelik bir yaklaşımı ortaya koymaktadır. 2024 programı, fen bilimlerini günlük yaşamla ilişkilendiren, bilimsel okuryazarlık ve sürdürülebilirlik bilinci kazandırmaya odaklanan, çağdaş bilimsel gelişmeleri

içeren ve uygulamaya yönelik daha kapsamlı bir öğretim çerçevesi sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *Taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Çepni, S. (2006). Bilim, fen, teknoloji kavramlarının eğitim programlarına yansımaları. In S. Çepni (Ed.), *Kuramdan uygulamaya fen ve teknoloji öğretimi içinde* (ss. 2-22). Ankara: Pegem Yayıncılık.
- Demir, M. F. & Demir, Z. (2025). İlkokul fen bilimleri dersi 2018 ve 2024 programlarının karşılaştırılması. *Akademik Eğitim ve Sosyal Bilimler Dergisi (AESD)*, 2(1), 1-18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15024159>
- Demirel, Ö. (2011). *Öğretim ilke ve yöntemleri öğretme sanatı*. Ankara: Pegem Yayıncılık.
- Deveci, İ. (2018). Türkiye’de 2013 ve 2018 yılı Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programlarının Temel Öğeler Açısından Karşılaştırılması. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(2), 799-825. <https://doi.org/10.17860/mersinefd.342260>
- MEB. (2018). *Fen bilimleri dersi öğretim programı (3, 4, 5, 6, 7 ve 8. Sınıflar)*. Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı. Retrieved from <https://mufredat.meb.gov.tr/>
- MEB. (2024). *Fen bilimleri dersi öğretim programı (3, 4, 5, 6, 7 ve 8. Sınıflar)*. Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı. Retrieved from <https://mufredat.meb.gov.tr/>
- Uslu, S., & Akgün, A. (2016). İlköğretim II. kademede fen ve teknoloji öğretiminde çalışma yapraklarının akademik başarı üzerine etkisinin incelenmesi. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(2), 157-168.

- Ünal, S., Coştu, B., & Coştu, S. (2004). Türkiye’de Fen Bilimleri Eğitimi Alanındaki Program Geliştirme Çalışmalarına Genel Bir Bakış. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24(2), 183-202.
- Yaz, Ö. V., Yüzbaşıoğlu, M. K., & Kurnaz, M. A. (2019). Fen bilimleri dersi 2000 yılı ve sonrası öğretim programlarının konu/öğrenme alanlarının değişimlerinin karşılaştırmalı incelenmesi. *Fen, Matematik, Uluslararası Girişimcilik ve Teknoloji Eğitimi Kongresi, Tam Metin Kitabı* (s. 123-135). Ekim, Denizli: ISBN: 978-975-98654-3-6.
- Yıldırım, H. İ., Şensoy, Ö., Karatepe, A., & Yalçın, N. (2006). Fen bilgisi öğretimi amaçlarının gerçekleştirilmesinde yeni programın değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 20(20), 33-41.

GREEN CHEMISTRY IN SCIENCE EDUCATION

Hayriye Nevin GENÇ¹

1. GREEN CHEMISTRY

Following the industrial revolution, the rise in living standards led to an increase in consumption tendencies, which in turn accelerated production activities and intensified the use of natural resources (Saba, 2019). Population growth, industrial developments, and environmental pollution threatening the natural resources of countries rendered environmental issues one of the most pressing global concerns by the end of the 20th century (Soran et al., 2000). The production of chemical products, an indispensable part of daily life, generates thousands of tons of harmful, toxic, and non-recyclable waste. These pollutants contaminate water sources and soil, while uncontrolled emissions from production facilities adversely affect air quality (Srivastava, 2023). Such consequences have led to environmental degradation reaching levels that threaten the future of humanity. Chemistry lies at the core of many fundamental areas of concern, such as energy, transportation, heating, technology, and lighting; correspondingly, potential solutions to these issues also fall within the scope of the possibilities offered by the science of chemistry (Koçak & Koçak, 2022).

Green chemistry refers to the incorporation of specific principles in the discovery, redesign, development, and implementation of chemical products and processes with the aim

¹ Assoc. Prof. Dr., Necmettin Erbakan University, Ahmet Keleşoğlu Faculty of Education, Department of Science Education, nnevin85@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-3240-0714.

of reducing or entirely eliminating the use and generation of compounds that are harmful to human health and the environment (Khoirunnisa et al., 2023). Traditional environmental policies have typically focused on the remediation of pollution after it has occurred. In contrast, green chemistry adopts a preventive approach within chemical production processes, aiming to prevent pollution at its source. In this respect, it offers an environmentally conscious and sustainable alternative (Demir, 2017).

Environmental education and green chemistry have emerged as a developing field of research that simultaneously addresses environmental improvement, enhancement of economic competitiveness, and the promotion of social responsibility (Hjeresen et al., 2002). Green chemistry seeks to establish a direct connection between human health and environmental impact through the design of environmentally benign chemical substances and processes (Hjeresen et al., 2000). This approach involves the development, design, and implementation of chemical products and processes aimed at reducing or completely eliminating the production and use of highly hazardous and toxic substances (Hjeresen et al., 2002; Kirchhoff, 2001).

Green chemistry aims to eliminate pollution by applying the fundamental principles of chemistry, while also encompassing all chemical methods intended to reduce adverse effects on human health and the environment. The core principle of this approach is to make chemical products less harmful and to prevent the formation of pollutants at the very beginning of the process (Erökten, 2006). According to Anastas and Williamson (1996), green chemistry can also be defined as an approach that seeks to eliminate components of chemical products that may pose a threat to both society and ecosystems, as well as to identify

methods that can prevent the formation of such substances (Anastas & Eghbali, 2010).

One of the fundamental objectives of sustainable development is the elimination of substances that pose risks to human health and the environment, and their replacement with cleaner, environmentally friendly, and recyclable products (Hjeresen et al., 2002). Green chemistry, which fulfills these objectives, has become a significant concept in the context of sustainable development. Consequently, green chemistry, a term that has gained global recognition, is also referred to as “sustainable chemistry” (Doğan, 2022). Rather than functioning as an independent scientific discipline, green chemistry constitutes an interdisciplinary approach grounded in chemical, ecological, and social responsibility. It fosters creativity and encourages innovative research (Jukic et al., 2005; Ritter et al., 2001).

Green chemistry, which has been integrated into the field of chemistry in recent years, is expected to provide solutions to multifaceted environmental problems faced by individuals, such as the adverse effects of global warming, climate change, ecosystem degradation, the increasing presence of toxic substances, loss of biodiversity, and the irresponsible consumption of renewable resources. This is to be achieved through the development of environmentally benign and sustainable chemical products (Gerçek, 2012).

One of the fundamental needs of society and all living beings is to sustain their existence in a clean environment that supports a healthy life. In this context, fostering individuals who are conscious of green chemistry is of great importance for the protection and sustainability of a clean environment (Wardencki et al, 2005).

2. HISTORY OF GREEN CHEMISTRY

Green chemistry emerged as a new field within industrial chemistry, aiming to minimize environmental pollution and harmful effects on human health during the synthesis, processing, and application of chemicals (Wardencki et al., 2005). The prominence of green chemistry in the United States began with the 1990 Pollution Prevention Act, which introduced an alternative to the traditional industrial approach of cleaning up environmental problems after they occur by emphasizing pollution prevention at the source. This legislation established the principle of preventing the generation of environmentally harmful waste before it occurs, thereby promoting the development of a new approach focused more on pollution prevention rather than pollution control (Linthorst, 2010).

Following these developments, in 1991, the United States Environmental Protection Agency (EPA) established the Office of Pollution Prevention and Toxics (Agee et al., 2014). In the same year, the term "green chemistry" was first defined and introduced into the scientific literature by Paul T. Anastas and John C. Warner (Anju et al., 2014). This approach quickly spread to numerous countries, including the United Kingdom, Germany, Japan, Australia, and Italy, leading the adoption of green chemistry principles in these nations.

One of the significant milestones contributing to the increased recognition of green chemistry was the establishment of the Presidential Green Chemistry Challenge Awards by the United States Environmental Protection Agency (EPA) in 1995. This award program aims to encourage researchers and organizations developing environmentally friendly chemical processes and products, thereby supporting green chemistry efforts on a global scale (Sheldon, 2018).

One of the primary institutions playing a significant role in shaping the concept of green chemistry and environmentally friendly practices worldwide is the Green Chemistry Institute (GCI) (Kurul et. al, 2025). Established in 1997, this institute aims to promote green chemistry by contributing to the dissemination of environmentally conscious chemical practices through activities such as research, education, symposiums, meetings, and information sharing (Erökten, 2006). In subsequent years, the institute's name was changed to the American Chemical Society Green Chemistry Institute, and it began operating under the auspices of the American Chemical Society (ACS). The institute has adopted a multi-stakeholder approach to the widespread adoption of green chemistry principles by fostering collaboration among public institutions, the private sector, and non-governmental organizations (Mavis, 2023).

In their 1998 publication *Green Chemistry: Theory and Practice*, Anastas and Warner established a theoretical framework for the field by defining the twelve fundamental principles of green chemistry (Tobiszewski et al, 2010). Another institutional milestone occurred in August 2000 during the 220th National Meeting of the American Chemical Society, where the board of directors approved a collaboration agreement between the ACS and GCI. The primary objective of this joint initiative was to bring together policymakers, industry leaders, and the scientific community to place green chemistry at the forefront of the national research agenda (Hjeresen et al., 2000). Since the early 2000s, green chemistry has rapidly gained significance not only as an academic approach but also in the context of sustainable development policies and environmentally friendly technologies, both in scientific research and industrial applications. This expansion has been particularly notable in fields such as the pharmaceutical industry, agricultural chemicals, renewable

energy systems, and materials science (Clark & Macquarrie, 2008).

The Royal Society of Chemistry (RSC) announced the first Green Chemistry Awards in 2001 and led the increase of international awareness in this field by organizing the inaugural International Green Chemistry Symposium in Swansea, Wales, the same year (Anastas & Kirchhoff, 2002). In 2009, GreenCentre Canada was established in Canada to bridge the gap between research and industry by commercializing green chemistry research and development activities (Jessop & Reyes, 2018). In 2013, the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), UNESCO and PhosAgro, launched the “Green Chemistry for Life” project, which primarily aimed to support young scientists in developing countries (Tundo & Griguol, 2018).

As a result of these institutional and international developments, environmentally friendly applications such as green synthesis methods, solvent recycling, and the production of biodegradable materials have become widespread in fields including pharmaceutical, agricultural, and polymer chemistry. Furthermore, green chemistry projects integrated with nanotechnology, biotechnology, and materials science have made significant contributions to areas such as sustainable energy, eco-friendly battery technologies, and carbon capture systems (Kurul et al., 2025). In the field of education, many universities have incorporated “green chemistry” modules into undergraduate and graduate chemistry programs, leading to the establishment of specialized programs and master’s level concentrations in this area (Zuin et al., 2021).

3. PRINCIPLES OF GREEN CHEMISTRY

The twelve fundamental principles of green chemistry were first introduced by Paul Anastas and John Warner in 1998 and were thoroughly detailed in their work *Green Chemistry: Theory and Practice* (Kurul et al., 2025). These principles encompass criteria that must be considered throughout all stages of chemical processes, ranging from the selection of raw materials to the efficiency and safety of chemical reactions, as well as the toxicity levels of preferred reagents and products and their biodegradability (Anastas & Eghbali, 2010). These principles serve as a guiding framework for researchers in the field, aiming to protect public health and ensure the sustainability of ecosystem balance (Gerçek, 2012). Although achieving full compliance with all twelve principles simultaneously during the design of green chemical processes is often not feasible, it is essential to apply as many of these principles as possible at every stage of synthesis (Ivankovic et al., 2017). The twelve fundamental principles of green chemistry are explained below.

3.1. Prevention

The first principle of green chemistry is prevention. This principle emphasizes that preventing waste generation during the synthesis and design stages is both more economical and environmentally preferable than treating or disposing of waste after it has been created. In this context, chemical processes should be designed in a way that minimizes or entirely eliminates the formation of waste. By doing so, the release of harmful substances into the environment is reduced, thereby minimizing negative impacts on both human health and ecosystems (Ivanković et al., 2017).

3.2. Atom Economy

The second principle of green chemistry, atom economy, is a measure that expresses the percentage of the molecular mass

of reactants that is incorporated into the desired final product (Mijin et al., 2003). Also known as atom efficiency, this concept was first introduced in 1991 by American chemist Barry Trost. Atom economy was developed to assess how effectively the materials used in a chemical reaction are converted into the final product. Determining this value is crucial for evaluating the environmental sustainability and efficiency of a chemical process. Reactions with high atom economy enhance the efficient use of raw materials, reduce the formation of by-products, and minimize waste generation, thereby limiting environmental impact (Song & He, 2018).

3.3. Designing Less Hazardous Chemical Syntheses

The third principle of green chemistry aims to develop processes that use chemicals with lower potential for harm to human health and the environment and that result in non-toxic end products. This principle emphasizes the protection of public health and the sustainability of ecosystem balance. The gradual elimination of toxic chemicals from production processes is critical not only for aligning with green manufacturing principles but also for minimizing their adverse impacts on the circular economy (Beach et al., 2009).

3.4. Designing Safer Chemicals

The fourth principle of green chemistry aims to minimize the toxicity and environmental harm of chemical substances while maintaining their intended functional performance. Designing chemicals that retain their effectiveness but exhibit reduced harmful effects, especially those widely used in everyday life, is achievable only through synthesis approaches aligned with green chemistry principles. In this context, the development of safer chemicals emerges as a fundamental strategy that supports both human health and environmental sustainability (Gilbertson et al., 2015).

3.5. Safer Solvents and Auxiliaries

The fifth principle of green chemistry emphasizes minimizing the use of auxiliary substances, particularly solvents and separation agents, in chemical processes, and when their use is unavoidable, selecting alternatives that are safer for both human health and the environment. Auxiliaries are components that do not become part of the final product but facilitate the chemical process. Substances such as water, alcohols, and ethers commonly serve as solvents by physically dispersing chemicals and enhancing reaction efficiency. However, considering the environmental impact of such substances, the green chemistry approach advocates for the replacement of toxic, volatile, and environmentally harmful solvents with greener alternatives (Nanda et al., 2021). In line with this principle, solvent-free systems and eco-friendly solvents such as water, supercritical fluids (SCFs), and ionic liquids have increasingly been adopted in green chemistry processes (Breedon et al., 2012).

3.6. Design for Energy Efficiency

The sixth principle of green chemistry focuses on redesigning chemical transformations to reduce energy requirements and minimize the environmental impact of energy use. To enhance energy efficiency, it is recommended that chemical reactions be carried out under ambient conditions (room temperature and atmospheric pressure) whenever possible. In recent years, a variety of alternative and eco-friendly reaction techniques have been developed that reduce energy consumption, improve product yields, and minimize environmental impacts. Notable examples include photochemical reactions, microwave- and ultrasound-assisted processes, magnetically induced syntheses, reactions using water as a solvent, and catalytic conversions. These methods not only conserve energy in chemical synthesis but also contribute significantly to

environmental sustainability (Valavanidis & Vlachogianni, 2012; Kharissova et al., 2019; Koçak & Koçak, 2022).

3.7. Use of Renewable Feedstocks

The seventh principle of green chemistry promotes the use of renewable feedstocks to help prevent the depletion of finite natural resources. Overconsumption of non-renewable or limited resources can lead to their exhaustion over time, posing threats to both environmental and economic sustainability. Employing raw materials and producing end-products that are recyclable or reusable not only provides economic advantages but also reduces environmental burdens. Renewable feedstocks are often derived from agricultural sources or are by-products of other chemical processes. Examples include the production of bioethanol from sugarcane; biodiesel from peanut oil, rapeseed oil, or waste oils; and bioplastics obtained from corn, potato starch, or cellulose. Such practices support sustainable manufacturing approaches and help reduce dependence on fossil-based resources (Ivankovic et al., 2017; Özdemir & Mutlubaş, 2016).

3.8. Minimization of Derivatives (Auxiliary Substances)

One of the fundamental principles of green chemistry is the minimization of the use of chemical derivatives in the synthesis of target molecules. According to this principle, unnecessary derivatization steps such as the introduction and subsequent removal of protecting groups, or the temporary modification of molecular structures should be avoided during chemical reactions. Such steps often require additional chemical reagents and result in increased waste generation. When designing chemical syntheses, minimizing the number of reaction steps not only enhances process efficiency but also reduces environmental impact. In this context, the development of more direct and environmentally friendly organic synthesis strategies

that do not involve conservation and de-conservation steps is encouraged (Abdussalam-Mohammed et al., 2020).

3.9. Catalysis

The ninth principle of green chemistry advocates for the use of catalysts over stoichiometric reagents in chemical processes. Catalysts are substances that facilitate the desired chemical transformation without being consumed during the reaction or incorporated into the final product. Although they are not directly involved in the reaction stoichiometry, catalysts can significantly enhance reaction rates. Even in small amounts, catalysts are capable of repeatedly driving the same reaction. In this regard, the use of catalysts not only improves reaction efficiency but also contributes to environmental sustainability by reducing waste generation. Particularly, the use of catalysts that lower energy consumption, avoid organochlorine compounds, and are derived from biologically renewable resources represents an approach fully aligned with the principles of green chemistry (Anastas et al., 2001).

3.10. Design for Degradation

The tenth principle of green chemistry emphasizes the consideration of potential environmental and human health impacts of chemical products after the end of their functional life. Traditional approaches to chemical design often overlook such impacts, leading to the accumulation of persistent waste in the environment (Williams, 2005). In alignment with this principle, chemical products should be designed to degrade readily and harmlessly in the environment after use, thereby avoiding long-term ecological accumulation. In this context, the development of biologically degradable materials and chemicals is of particular importance. Green chemicals should be engineered to degrade quickly and efficiently, without generating toxic or harmful by-products during the degradation process, and to yield end

products that are safe for both human health and the environment (Mulvihill et al., 2011).

3.11. Real-Time Analysis for Pollution Prevention

The eleventh principle of green chemistry promotes the development of advanced analytical methodologies that enable continuous monitoring and control of manufacturing processes in order to prevent the formation of hazardous substances. These methods allow chemical processes to be monitored for the formation of hazardous by-products and secondary reactions. To effectively respond to changes occurring during the process and accurately assess existing risks, highly precise sensors, monitors, and analytical techniques are required. Such advanced monitoring systems play a critical role in the early identification of hazards and the implementation of necessary preventive measures (Demir, 2017).

3.12. Safer Chemistry for Accident Prevention

The twelfth principle of green chemistry emphasizes the importance of considering potential hazards such as toxicity, explosiveness, and flammability in the design of chemical products and processes. Substances used in a chemical process, along with their physical forms, should be selected in a way that minimizes the risk of chemical accidents, including fires, explosions, or leaks. In this context, it is preferable to use solid substances or compounds with low vapor pressure instead of volatile gases or liquids, which are often responsible for chemical accidents. This approach enhances process safety and minimizes negative impacts on both human health and the environment (Ivanković, 2017).

4. EDUCATION AND GREEN CHEMISTRY

Today, information and technology are rapidly disseminating, and the pace of change is accelerating continuously. In this dynamic environment, it has become essential to cultivate individuals who are curious, open to diverse ideas and perspectives, capable of critical thinking, self-regulation, empathy, and inquiry-based reasoning (Doğan, 2022). In this direction, it is of great importance to provide individuals with a qualified education. Accordingly, the social, cultural, and technological needs of the current era must be accurately analyzed, and educational programs should be designed to meet these needs (Demircioğlu et al., 2015).

Green chemistry integrates economic and environmental objectives based on fundamental scientific principles. In this context, the inclusion of green chemistry in educational curricula is no longer a matter of choice but a necessity. The integration of green chemistry into education is crucial not only for enhancing environmental awareness but also for fostering a sustainable scientific mindset among students (Alhazmi & Almashhour, 2025).

Green chemistry education does not aim to eliminate traditional chemistry instruction altogether; rather, it seeks to restructure existing educational approaches through a new perspective. As a modernized version of conventional chemistry teaching, green chemistry offers numerous pedagogical and practical advantages (Karagölge, 2018). These include the use of less toxic substances, providing a safer experimental environment for students, supporting the development of critical thinking skills, promoting the use of more economical solvents and apparatus, reducing waste and thereby lowering costs, and encouraging students' active participation in research processes.

In this regard, green chemistry represents an ideal focal point for contemporary chemistry education (Andraos & Dicks, 2012).

The importance of green chemistry education and its effects on individuals' attitudes, knowledge levels, and environmental awareness have been addressed in various studies. Research conducted by, Aubrecht et al. (2015), Graham et al. (2014), Guron et al. (2016), Kennedy (2016), Kim et al. (2017), Mitra et al. (2016), Pullen & Brinkert (2014), Purcell et al. (2016), Shamuganathan & Karpudewan (2017), Erökten (2006), and Karpudewan et al. (2012, 2015), Armstrong et al. (2018) have demonstrated that the implementation of green chemistry education leads to positive cognitive, affective, and behavioral changes in individuals. Similarly, studies emphasize that green chemistry-based instructional practices increase students' interest in both chemistry and environmental issues, fostering the development of more responsible and environmentally conscious individuals.

Among the common findings of these practice- and experiment-based studies are students' active engagement in experimental processes, their development of competencies in identifying chemical substances and using environmentally friendly alternatives, and the adoption of economically and ecologically responsible behaviors toward the environment. Furthermore, green chemistry practices have been found to be more meaningful, contemporary, and relatable to students' real-life experiences compared to traditional chemistry instruction. This indicates that green chemistry serves not only as an effective approach to chemistry education, but also as a valuable tool for integrating environmental sustainability into educational practices. These studies demonstrate that the integration of green chemistry education into the curriculum from an early age plays a critical role in fostering environmentally friendly attitudes

among students and in cultivating a sustainable scientific understanding (Khoirunnisa et al., 2023).

Various challenges are encountered during the integration of green chemistry into educational curricula. These challenges include the costs associated with updating traditional laboratory kits, teachers' lack of sufficient knowledge in the field of green chemistry, difficulties in accommodating new topics due to curriculum overload, and inadequate laboratory infrastructure (Karpudewan et al., 2009). To overcome these obstacles, it is essential to organize in-service training programs for teachers and to develop open-access green chemistry laboratory kits and instructional materials. Additionally, strengthening the emphasis on sustainability within national education policies and providing consultancy support to teachers through collaborations with universities represent effective solutions.

5. SCIENCE EDUCATION AND GREEN CHEMISTRY

One of the fundamental ways to understand the environment, nature, and the world is through the sciences. In order to adapt to the rapidly evolving process of scientific and technological change, it is essential to closely follow advancements in these fields. The successful navigation of this process depends on the accurate comprehension and interpretation of scientific disciplines. One of the primary goals of educational institutions in societies that value scientific progress is to cultivate individuals with scientific literacy (Ceylan, 2014).

The first step toward preventing environmental pollution, developing safe and eco-friendly products, and designing sustainable green chemistry processes is to provide current and future scientists with quality education in green chemistry. In this

regard, green chemistry must be holistically integrated into the science discipline. Green chemistry education modernizes traditional science teaching by promoting the use of renewable resources, enabling energy savings, and reducing the amount of waste generated (Erökten, 2006). Through the integration of green chemistry principles into conventional science curricula, students gain the ability to relate the knowledge acquired in the classroom to real-life environmental issues such as pollution, ozone depletion, global warming, recycling, and energy conservation (Gerçek, 2012).

Green chemistry cannot be widely adopted or sustained unless it is adequately learned throughout academic and individual education processes. Through green chemistry education, students learn to adopt environmentally friendly approaches from an early age and develop an awareness of producing without polluting the environment. In this context, efforts to address contemporary environmental issues make science courses more meaningful and engaging for students. Additionally, through green chemistry practices, students cultivate a higher level of awareness regarding the impact of science on society and the environment (Taha et al., 2019).

Effective and efficient science education is achieved through a teaching process that moves away from rote memorization and emphasizes learning by doing and experiencing, with a strong focus on experiments and laboratory applications. It is well established that students tend to quickly forget information acquired solely through auditory means. In contrast, instructional activities involving active participation promote deeper understanding of topics and enhance the retention of learned knowledge (Başkurt, 2009). The primary purpose of experiments is not only to impart scientific facts to students but also to contribute to the development of various skills. During experimental activities, students learn to use and maintain

different tools, utilize materials economically, implement safety measures to prevent accidents, and develop habits of organized and clean work practices (Karamustafaoğlu & Yaman, 2006).

Laboratory applications, a fundamental component of science education, have become increasingly prominent with the integration of environmental sustainability approaches. In this context, green laboratory practices provide students with the opportunity to experience environmentally friendly methods, thereby facilitating a tangible understanding of the concept of sustainability (O'Neil et al., 2020). Green laboratories play a significant role in raising students' awareness of environmental impacts and the limitations of natural resources. Within such laboratory settings, students have the chance to observe how sustainability principles such as waste management, energy efficiency, and the use of environmentally conscious materials, are implemented in practice. This process reinforces theoretical knowledge through hands-on experiments, enabling students to develop both scientific process skills and the ability to evaluate experimental results in terms of their environmental implications (Vallero & Brasier, 2008).

Practices such as turning off fume hoods, reducing water consumption, using timers for water baths, shutting down unused electronic devices, and selecting energy-efficient laboratory systems and equipment help decrease energy consumption and enable more efficient use of resources (O'Neil et al., 2020). Additionally, minimizing and managing the use of hazardous substances, along with developing an effective resource management plan for laboratory chemicals, contribute to the establishment of a green laboratory ethos. Such behavioral changes can be achieved through raising sustainability awareness within laboratory environments (Edington, 2013).

Green laboratories also inspire students to utilize innovative technologies aimed at addressing environmental issues, thereby fostering their sustainability-focused thinking and problem-solving skills. This approach supports the development of students not only in terms of academic knowledge but also by equipping them with a sense of social and environmental responsibility (Swargiary, 2023). By centering on environmental sustainability and ecological awareness, green laboratory practices contribute to cultivating an environmentally conscious perspective among students and increasing their interest in the sciences. Consequently, this lays the groundwork for nurturing informed and competent individuals capable of generating solutions to future environmental challenges (Freese, 2024).

In order to achieve tangible progress in green chemistry education, the “Principles of Green Chemistry” must be incorporated into the science curriculum. Within this framework, it is crucial to develop alternative experiments that replace traditional chemistry experiments with those that minimize waste production and reduce the use of toxic substances. Students should be introduced to the 12 Principles of Green Chemistry, and example experiments corresponding to each principle should be conducted. Furthermore, students should be encouraged to design environmentally friendly chemical processes or products, and the use of recyclable materials in experiments should be promoted. Additionally, the impact of green chemistry education should be extended through social responsibility projects to strengthen students’ social and environmental awareness.

REFERENCES

- Abdussalam-Mohammed, W., Ali, A. Q., & Errayes, A. O. (2020). Green chemistry: Principles, applications, and disadvantages. *Chemistry Methodologies*, 4(4), 408–423. <https://doi.org/10.33945/SAMI/CHEMM.2020.4.4>
- Agee, B. M., Mullins, G., Biernacki, J. J., & Swartling, D. J. (2014). Wolff–Kishner reduction reactions using a solar irradiation heat source and a green solvent system. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 7(4), 383–392. <https://doi.org/10.1080/17518253.2014.966866>
- Alhazmi, A., & Almashhour, R. A. (2025). Eco-pedagogy in chemistry education: Challenging market-driven policies. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-06-2024-0373>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Anastas, P. T., & Kirchhoff, M. M. (2002). Origins, current status, and future challenges of green chemistry. *Accounts of Chemical Research*, 35(9), 686–694.
- Anastas, P. T., & Williamson, T. C. (1996). Green chemistry: An overview.
- Anastas, P. T., Kirchhoff, M. M., & Williamson, T. C. (2001). Catalysis as a foundational pillar of green chemistry. *Applied Catalysis A: General*, 221(1–2), 3–13.
- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green chemistry: Principles and practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301–312.
- Andraos, J., & Dicks, A. P. (2012). Green chemistry teaching in higher education: A review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 69–79.

- Anju, G., Vandana, S., & Sandeep, A. (2014). Green chemistry: A new approach towards science. *Discover Chemistry*, 1, 9–21.
- Armstrong, L. B., Rivas, M. C., Douskey, M. C., & Baranger, A. M. (2018). Teaching students the complexity of green chemistry and assessing growth in attitudes and understanding. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.003>
- Aubrecht, K. B., Padwa, L., Shen, X., & Bazargan, G. (2015). Development and implementation of a series of laboratory field trips for advanced high school students to connect chemistry to sustainability. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 631-637. <https://doi.org/10.1021/ed500630f>
- Başkurt, P. (2009). *The effects of hands-on science learning method on students academic achievement, retention of knowledge and attitudes towards science course in force and motion unit* (Master's Thesis). Gazi University, Ankara.
- Beach, E. S., Cui, Z., & Anastas, P. T. (2009). Green chemistry: A design framework for sustainability. *Energy & Environmental Science*, 2(10), 1038–1049.
- Breeden, S. W., Clark, J. H., Macquarrie, D. J., & Sherwood, J. (2012). Green solvents. In *Green Chemistry* (pp. 241–261). John Wiley & Sons.
- Ceylan, S. (2014). *A study for preparing an instructional design based on science, technology, engineering and mathematics (STEM) approach on the topic of acids and bases at secondary school science course* (Master's Thesis). Uludağ University, Bursa.

- Clark, J. H., & Macquarrie, D. J. (Eds.). (2008). *Handbook of green chemistry and technology*. John Wiley & Sons.
- Demir, B. (2017). *Concept of green chemistry and adaptation of general chemistry laboratory experiments to the principles of green chemistry* (Master's Thesis). İnönü University, Malatya.
- Demircioğlu, G., Aslan, A. G. A., & Yadigaroglu, M. (2015). Analysis of renewed chemistry curriculum aided by teachers' perceptions. *Journal of Research in Education and Teaching*, 4(1), 135–146.
- Doğan, M. (2022). *Bibliometric analysis of the studies conducted on sustainable development and green chemistry in chemistry education* (Master's Thesis). Atatürk University, Erzurum.
- Edgington, A. (2013). Green laboratories: Disseminating information and connecting IARU programs. *International Alliance of Research Universities*.
- Erökten, S. (2006). *Different evaluations related with teaching 'green chemistry' topic in chemistry education* (Doctoral dissertation). Hacettepe University, Ankara.
- Freese, T., Elzinga, N., Heinemann, M., Lerch, M. M., & Feringa, B. L. (2024). The relevance of sustainable laboratory practices. *RSC Sustainability*, 2(5), 1300–1336. <https://doi.org/10.1039/D4SU00056K>
- Gerçek, Z. (2012). The new color of chemistry: Green chemistry. *Journal of Higher Education and Science*, 2(1), 50–53.
- Gilbertson, L. M., Zimmerman, J. B., Plata, D. L., Hutchison, J. E., & Anastas, P. T. (2015). Designing nanomaterials to maximize performance and minimize undesirable implications guided by the principles of green chemistry. *Chemical Society Reviews*, 44(16), 5758–5777.

- Graham, K. J., Jones, T. N., Schaller, C. P., & McIntee, E. J. (2014). Implementing a student-designed green chemistry laboratory project in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1895-1900. <https://doi.org/10.1021/ed5000394>
- Guron, M., Paul, J. J., & Roeder, M. H. (2016). Incorporating sustainability and life cycle assessment into first-year inorganic chemistry major laboratories. *Journal of Chemical Education*, 93(4), 639-644. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00281>
- Hjeresen, D. L., Boese, J. M., & Schutt, D. L. (2000). Green chemistry and education. *Journal of Chemical Education*, 77(12), 1543.
- Hjeresen, D. L., Kirchhoff, M. M., & Lankey, R. L. (2002). Green chemistry: Environment, economics, and competitiveness. *Corporate Environmental Strategy*, 9(3), 259–266.
- Ivanković, A., Dronjić, A., Bevanda, A. M., & Talić, S. (2017). Review of 12 principles of green chemistry in practice. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 6(3), 39–48.
- Jessop, P. G., & Reyes, L. M. (2018). GreenCentre Canada: An experimental model for green chemistry commercialization. *Physical Sciences Reviews*, 3(6). <https://doi.org/10.1515/psr-2017-0142>
- Jukić, M., Djaković, S., Filipović-Kovačević, Ž., Kovač, V., & Vorkapić-Furač, J. (2005). Dominant trends of green chemistry. *Kemija u Industriji*, 54(5), 255–272.
- Karagölge, Z. (2018). Green samples for chemistry curriculum in secondary education. *Necatibey Faculty of Education*

Electronic Journal of Science & Mathematics Education,
12(1), 1–24.

- Karamustafaoğlu, O., & Yaman, S. (2015). *Fen eğitiminde özel öğretim yöntemleri I–II*. Anı Publication.
- Karpudewan, M., Hj Ismail, Z., & Mohamed, N. (2009). The integration of green chemistry experiments with sustainable development concepts in pre-service teachers' curriculum: Experiences from Malaysia. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 10(2), 118–135. <https://doi.org/10.1108/14676370910945974>
- Karpudewan, M., Ismail, Z., & Roth, W. M. (2012). Ensuring sustainability of tomorrow through green chemistry integrated with sustainable development concepts (SDCs). *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 120–127. <https://doi.org/10.1039/C2RP00005G>
- Kennedy, S. A. (2016). Design of a dynamic undergraduate green chemistry course. *Journal of Chemical Education*, 93(4), 645–649. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00432>
- Kharissova, O. V., Kharisov, B. I., Oliva González, C. M., Méndez, Y. P., & López, I. (2019). Greener synthesis of chemical compounds and materials. *Royal Society Open Science*, 6(11), 191378. <https://doi.org/10.1098/rsos.191378>
- Khoirunnisa, F., Anwar, S., Kadarohman, A., & Hendrawan, H. (2023). Designing a green chemistry integrated separation and purification textbook using the Four Steps Teaching Material Development (4STMD) method: Selecting and structuring steps. *BIO Web of Conferences* (Vol. 79, p. 12001). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237912001>

- Kim, K. S., Rackus, D. G., Mabury, S. A., Morra, B., & Dicks, A. P. (2017). The chemistry teaching fellowship program: developing curricula and graduate student professionalism. *Journal of Chemical Education*, 94(4), 439-444. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00709>
- Kirchhoff, M. M. (2001). *Topics in green chemistry*. ACS Publications.
- Koçak, N., & Koçak, A. (2022). Tüm yönleriyle yeşil işletme (A. Erbaşı, Ed.). Nobel Akademik Publications.
- Korankye, M. (2023). *Cytotoxicity profiling and apoptotic potential of carboxylic acids-based deep eutectic solvents on mammalian cell lines* (Master's Thesis). South Dakota State University, Brookings.
- Kurul, F., Doruk, B., & Topkaya, S. N. (2025). Principles of green chemistry: Building a sustainable future. *Discover Chemistry*, 2(1), 68. <https://doi.org/10.1007/s44371-025-00152-9>
- Linthorst, J. A. (2010). An overview: Origins and development of green chemistry. *Foundations of Chemistry*, 12, 55–68. <https://doi.org/10.1007/s10698-009-9079-4>
- Mijin, D., Stanković, M. I., & Petrović, S. (2003). Ibuprofen: Gain and properties. *Hemijska Industrija*, 57(5), 199–214.
- Mitra, M., Nagchaudhuri, A., & Xavier Henry, M. S. (2016). Sustainability in BioEnergy Academy for Teachers (BEAT): Changing perspectives and practices toward “Greening” the curricula. *New Developments in Engineering Education for Sustainable Development*, 185-197. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32933-8_17
- Mulvihill, M. J., Beach, E. S., Zimmerman, J. B., & Anastas, P. T. (2011). Green chemistry and green engineering: A framework for sustainable technology development.

Annual Review of Environment and Resources, 36(1), 271–293. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-032009-095500>

- Nanda, B., Sailaja, M., Mohapatra, P., Pradhan, R. K., & Nanda, B. B. (2021). Green solvents: A suitable alternative for sustainable chemistry. *Materials Today: Proceedings*, 47, 1234–1240. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.335>
- O’Neil, N. J., Scott, S., Relph, R., & Ponnusamy, E. (2020). Approaches to incorporating green chemistry and safety into laboratory culture. *Journal of Chemical Education*, 98(1), 84–91. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00747>
- Özdemir, Z. Ö., & Mutlubaş, H. (2016). Biodiesel production methods and environmental effects. *Kirklareli University Journal of Engineering and Science*, 2(2), 129–143.
- Pullen, S., & Brinkert, K. (2014). SolEn for a sustainable future: Developing and teaching a multidisciplinary course on solar energy to further sustainable education in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1569-1573. <https://doi.org/10.1021/ed400345m>
- Purcell, S. C., Pande, P., Lin, Y., Rivera, E. J., Paw U, L., Smallwood, L. M., ... & Douskey, M. C. (2016). Extraction and antibacterial properties of thyme leaf extracts: authentic practice of green chemistry. *Journal of chemical education*, 93(8), 1422-1427. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00891>
- Ritter, S. K. (2001). Green chemistry. *Chemical & Engineering News*, 79(29), 27–34.
- Saba, C. (2019). *Green consumption in the context of sustainable consumption* (Doctoral dissertation). Ankara University, Ankara.

- Shamuganathan, S., & Karpudewan, M. (2017). Science writing heuristics embedded in green chemistry: a tool to nurture environmental literacy among pre-university students. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(2), 386-396. <https://doi.org/10.1039/C7RP00013H>
- Sheldon, R. A. (2018). Metrics of green chemistry and sustainability: Past, present, and future. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(1), 32–48. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03505>
- Song, Q. W., & He, L. N. (2018). Atom economy. In *Encyclopedia of sustainability science and technology* (pp. 1–21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_971-1
- Soran, H., Morgil, F. İ., Yücel, S., Atav, E., & Işık, S. (2000). Biyoloji öğrencilerinin çevre konularına olan ilgilerinin araştırılması ve kimya öğrencileri ile karşılaştırılması. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(18), 149–155.
- Srivastava, A. (2023). Applications of green chemistry in various industrial processes for a sustainable future. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 10(5), 1667–1675.
- Swargiary, K. (2023). *Environmental education and sustainability: A path to a greener future*. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Taha, H., Suppiah, V., Khoo, Y. Y., Yahaya, A., Lee, T. T., & Damanhuri, M. M. (2019). Impact of student-initiated green chemistry experiments on their knowledge, awareness and practices of environmental sustainability. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1156, No.

- 1, p. 012022). IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1156/1/012022>
- Tobiszewski, M., Mechlińska, A., & Namieśnik, J. (2010). Green analytical chemistry—theory and practice. *Chemical Society Reviews*, 39(8), 2869–2878.
<https://doi.org/10.1039/B920692J>
- Trost, B. M. (1991). The atom economy—a search for synthetic efficiency. *Science*, 254(5037), 1471–1477.
<https://doi.org/10.1126/science.1962193>
- Tundo, P., & Griguol, E. (2018). Green chemistry for sustainable development. *Chemistry International*, 40(1), 18–24.
<https://doi.org/10.1515/ci-2018-0107>
- Valavanidis, A., & Vlachogianni, T. (2012). Green chemistry and green engineering: From theory to practice for the protection of the environment and sustainable development. *Synchrone Themata*, 115, 81–96.
- Vallero, D. A., & Brasier, C. (2008). *Sustainable design: The science of sustainability and green engineering*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470386358>
- Wardencki, W., Curylo, J., & Namiesnik, J. (2005). Green chemistry—current and future issues. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(4), 389–395.
- Williams, R. T. (2005). *Human health pharmaceuticals in the environment: An introduction* (pp. 1–45). Allen Press/ACG Publishing.
- Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: Perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23(4), 1594–1608.
<https://doi.org/10.1039/D0GC02835C>

FEN EĞİTİMİNDE DİJİTALLEŞME KAYNAKLI İHTİYAÇLAR, ZORLUKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Mehmet KARABAL¹

1. GİRİŞ

1.1. Dijitalleşmenin Fen Eğitimindeki Yeri

21. yüzyılın toplumsal, ekonomik ve kültürel dönüşümleri, dijital teknolojilerin yaşamın hemen her alanına nüfuz etmesine neden olmuştur. Bu dönüşüm, eğitim sistemlerini hem yapısal hem de pedagojik açıdan yeniden biçimlendirmiştir (Selwyn, 2016). Dijitalleşme, yalnızca araçsal bir değişimden ibaret olmayıp, bilgiye erişim, öğrenme süreçleri, öğretmen-öğrenci rolleri ve eğitimin mekansal-zamansal sınırları gibi temel unsurları köklü biçimde etkilemektedir (Kirkwood & Price, 2014). Özellikle pandemi süreciyle hız kazanan dijitalleşme, eğitimi dijital ortamlarla yürütmenin olanaklarını ve sınırlılıklarını daha görünür kılmıştır (Bozkurt, 2020). Bu bağlamda dijital araçların fen eğitimindeki yeri, artık yalnızca uzaktan eğitimi olanaklı kılma işleviyle değil, yüz yüze eğitim ortamlarını da dönüştürme potansiyeliyle ele alınmaktadır. Eğitimde dijitalleşme; çevrim içi öğrenme ortamlarının tasarımı, etkileşimli dijital içeriklerin kullanımı, öğrenme analitiği temelli değerlendirme sistemleri ve bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimlerinin oluşturulması gibi çok boyutlu süreçleri kapsamaktadır (Siemens, 2005; Redecker, 2017). Dijitalleşme,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, mehmetkarabal@mehmetakif.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3129-748X.

eğitimin geleceğini şekillendiren belirleyici faktörlerden biri haline gelmiştir. Ancak bu dönüşümün niteliği, teknolojik gelişmelerin ötesinde, öğretim tasarımıyla benimsenen pedagojik yönelimlerle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle dijitalleşmenin fen eğitimindeki yeri, sadece teknik bir mesele değil, aynı zamanda eğitimin amacı, içeriği ve yöntemlerine ilişkin temel tartışmaların merkezinde yer alan bir konudur.

1.2. Fen Eğitiminin Dijital Dönüşüme Açıklığı

Fen eğitimi, doğası gereği sorgulamaya, gözleme, deneye ve modellemeye dayalı bir öğrenme süreci sunar. Bu bağlamda, dijital teknolojiler tarafından sunulan araç ve olanaklar, fen öğretiminin temelleriyle büyük ölçüde örtüşmektedir. Etkileşimli simülasyonlar, sanal laboratuvarlar, veri toplama ve analiz yazılımları gibi dijital araçlar, soyut kavramların somutlaştırılması ve öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirmesi açısından önemli fırsatlar doğurmaktadır (de Jong, Linn & Zacharia, 2013).

Fen eğitiminin dijital dönüşüme açıklığı, yalnızca teknolojiyle donatılmış bir içerik aktarımına değil, aynı zamanda bilimsel düşünme süreçlerinin desteklenmesine olanak tanıyan pedagojik modellerle ilişkilidir. Özellikle yapılandırmacı öğrenme kuramına dayalı dijital öğrenme ortamları, öğrencilerin kendi bilgi yapılarını kurmalarına imkan tanıyarak öğrenme sürecini derinleştirmektedir (Smetana & Bell, 2012). Bununla birlikte, fen eğitiminde dijital dönüşüm, öğretmenlerin teknoloji entegrasyonuna ilişkin pedagojik yaklaşımlarını da yeniden biçimlendirmeyi gerektirir. TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) çerçevesi, bu anlamda fen bilimleri öğretmenlerinin hem alan bilgisi hem pedagojik bilgi hem de teknolojik bilgi arasında etkili bir denge kurmalarını zorunlu kılmaktadır (Mishra & Koehler, 2006).

Dijital dönüşüm sürecinde fen eğitimi, öğrencilerin yalnızca içerik bilgisi edinmelerini değil, aynı zamanda bilimsel verilerle çalışmayı, modelleme yapmayı, hipotez kurmayı ve deney tasarlamayı öğrenmelerini destekleyecek biçimde yeniden yapılandırılmalıdır. Bu bağlamda artırılmış gerçeklik, yapay zeka tabanlı öğretim uygulamaları ve öğrenme analitiği gibi yeni nesil teknolojilerin potansiyeli, fen eğitiminin bireyselleştirilmiş, veriye dayalı ve daha etkileşimli hale gelmesini olanaklı kılmaktadır (Zacharia, Olympiou & Papaevripidou, 2015; Holmes, Bialik & Fadel, 2022). Bununla birlikte, fen eğitiminin dijital dönüşüme açıklığı, yalnızca teknolojik potansiyellerle değil, aynı zamanda öğretim programlarının esnekliği, öğretmen yeterlikleri ve kurumsal altyapının niteliği ile de yakından ilişkilidir. Dolayısıyla bu açıklık hem pedagojik hem sistematik boyutları içeren çok katmanlı bir değerlendirme gerektirmektedir. Uygun koşullar sağlandığında, fen eğitimi dijital dönüşüm süreçlerini etkili bir biçimde gerçekleştirebilme potansiyeline sahip disiplinler arasında yer almaktadır.

1.3. Öğrenci Merkezli Dijital Öğrenme Ortamları

Dijital teknolojilerin eğitime entegrasyonu, öğretim süreçlerinin merkezine öğrenciyi yerleştiren yeni öğrenme ortamlarının tasarlanmasını mümkün kılmıştır. Özellikle fen eğitimi bağlamında, dijital araçlarla desteklenen öğrenci merkezli öğrenme ortamları, bireysel farklılıkları gözeten, öğrenenlerin aktif katılımını teşvik eden ve derinlemesine kavramsal anlamayı hedefleyen yapılar olarak öne çıkmaktadır. Öğrenci merkezli dijital öğrenme ortamları, geleneksel öğretimden farklı olarak öğretmenin bilgi aktarımını merkezde tutmak yerine, öğrencilerin bilgiye kendi yollarıyla ulaşmaları, anlamlandırmaları ve yapılandırmaları için bir rehber olmasına olanak tanır. Bu ortamlarda teknoloji, öğrenme süreçlerini kişiselleştirme, iş birliğini güçlendirme ve öğrencilerin kendi öğrenmelerini yönetmelerine imkan tanıma açısından kritik bir rol

üstlenmektedir (Barron & Darling-Hammond, 2008; Blaschke, 2012). Özellikle öğrenme yönetim sistemleri, etkileşimli dijital içerikler, artırılmış gerçeklik uygulamaları ve veri toplama araçları, fen derslerinin öğrenci merkezli biçimde yapılandırılmasına katkı sağlar. Bu araçlar sayesinde öğrenciler yalnızca bilgi tüketicisi değil, aynı zamanda bilgi üreticisi ve süreçte aktif aktörler haline gelirler. Bu durum, öğrencilerin hem motivasyonunu hem de öğrenmeye yönelik sorumluluklarını artırmaktadır. Ayrıca öğrenci merkezli dijital ortamlar, öğrenme sürecinin esnekliğini artırır; zaman ve mekandan bağımsız öğrenme imkanı sunar. Bu da özellikle farklı öğrenme hızlarına sahip bireyler için özelleştirilmiş yollarla öğrenmeyi mümkün kılar (Means ve ark., 2014). Örneğin, bir öğrenci bir kavramla ilgili videoyu defalarca izleyebilirken, bir diğeri aynı kavramı artırılmış gerçeklik uygulamasıyla deneyimleyerek öğrenebilir. Böylece öğrenme süreci yalnızca öğretmen tarafından değil, öğrenci tarafından da yapılandırılır.

Bu tür dijital ortamlar aynı zamanda problem temelli öğrenme, keşfetmeye dayalı öğrenme ve disiplinler arası STEM uygulamaları gibi çağdaş öğretim yaklaşımlarının uygulanmasına da olanak tanır. Bu yaklaşımlar, öğrencilerin gerçek yaşam problemleriyle ilişkilendirilen içeriklere aktif katılımını desteklerken, eleştirel düşünme, yaratıcılık ve dijital okuryazarlık gibi üst düzey becerilerin gelişimini de teşvik eder (Bell, 2010). Bir başka deyişle, öğrenci merkezli dijital öğrenme ortamları, fen eğitiminin etkililiğini artıran, öğrencilerin aktif katılımını ve öğrenme sorumluluğunu üstlendiği, bireyselleştirilmiş ve etkileşimli yapılar sunmaktadır. Bu ortamların etkili biçimde tasarlanması ve uygulanması, öğretmenlerin pedagojik bilgi ve dijital yeterlik düzeyleri kadar, kurumsal destek ve teknolojik altyapının sürdürülebilirliği ile de yakından ilişkilidir.

2. DİJİTAL ÇAĞDA FEN BİLİMLERİ ÖĞRETMENLERİ

2.1. Dijital Çağda Fen Bilimleri Öğretmenlerinin Değişen Roller

21. yüzyıl becerilerinin ve dijitalleşmenin eğitim sistemlerini kökten dönüştürdüğü bir dönemde, fen bilimleri öğretmenlerinin rolleri de yalnızca bilgi aktarıcı olmaktan çıkarak çok yönlü birer öğrenme liderine evrilmektedir. Dijital pedagojinin fen eğitimiyle bütünleşmesi, öğretmenlerin hem teknolojik araçları pedagojik amaçlarla etkili biçimde kullanmalarını hem de öğrencilerin dijital dünyada aktif ve bilinçli bireyler olarak yetişmelerine rehberlik etmelerini gerektirmektedir (Voogt ve ark., 2013). Bu bağlamda, dijital çağın fen bilimleri öğretmeni, artık içerik sunan bir anlatıcıdan çok, öğrenme süreçlerini tasarlayan, yönlendiren ve değerlendiren bir rehber konumundadır. Öğretmenler, teknoloji destekli öğrenme ortamlarını yapılandırmak, öğrencilerin bireysel öğrenme yollarını tanımak ve bu doğrultuda esnek öğrenme deneyimleri sunmak durumundadır. Özellikle öğrenme yönetim sistemleri, sanal laboratuvarlar, artırılmış gerçeklik uygulamaları ve simülasyonlar gibi araçların kullanımı, öğretmenin rolünü teknik bir uygulayıcıya değil, öğrenmeyi stratejik biçimde kurgulayan bir tasarımcıya dönüştürmektedir (Ertmer & Ottenbreit-Leftwich, 2010). Ayrıca, fen bilimleri öğretmenleri artık dijital okuryazarlık, veri okuryazarlığı, eleştirel dijital düşünme ve etik teknoloji kullanımı gibi becerilerin kazandırılmasında da etkin rol üstlenmektedir. Bu bağlamda öğretmen, sadece ders içeriğini sunmakla kalmaz; aynı zamanda öğrencilerin dijital araçları güvenli, etkili ve anlamlı biçimde kullanmalarını sağlar. Bu rol, öğretmeni aynı zamanda bir dijital rehber ve bilgi güvenliği savunucusu haline getirir.

Fen bilimleri öğretmeninin değişen rolleri aynı zamanda işbirlikçi, disiplinler arası ve öğrenci merkezli bir öğretim anlayışını da beraberinde getirmektedir. Dijital çağın öğrenen profili, farklı kaynaklardan bilgiye ulaşabilen, aktif sorgulayıcı ve kendi öğrenme sürecini yönetebilen bireylerden oluşmaktadır. Bu noktada öğretmenin rolü, bu öğrenen profiline uygun destekleyici, motivasyon artırıcı ve kişiselleştirilmiş öğrenme ortamları oluşturmaktır (Akkerman & Bakker, 2011). Sonuç olarak, dijital çağda fen bilimleri öğretmeni yalnızca bilimsel bilginin taşıyıcısı değil, aynı zamanda dijital pedagojik uygulamaları anlamlı öğrenme deneyimlerine dönüştürebilen, öğrenmeyi kolaylaştıran, rehberlik eden ve yön veren bir profesyonel kimliği temsil etmektedir. Bu değişen rol, öğretmenlerin hem mesleki hem de dijital yeterliklerini sürekli geliştirmesini zorunlu kılmaktadır.

2.2. Fen Bilimleri Öğretmenlerinde Bulunması Gereken Dijital Pedagojik Yeterlikler

Dijital çağın gereklilikleri doğrultusunda öğretmenlerin yalnızca teknolojik araçlara erişimi olması yeterli değildir; bu araçları pedagojik amaçlara uygun biçimde entegre edebilmeleri, yani dijital pedagojik yeterliklere sahip olmaları beklenmektedir. Özellikle fen eğitimi bağlamında, teknolojinin içerik bilgisi ve öğretim yöntemleriyle bütünleşik biçimde kullanımı, öğretmenlerin çok katmanlı bir mesleki donanıma sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. Dijital pedagojik yeterlik, öğretmenin bilgi iletişim teknolojilerini yalnızca teknik bir beceri olarak değil, öğretim stratejileriyle ilişkilendirerek etkili, anlamlı ve eleştirel biçimde kullanabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Bu yeterlikler, öğretmenin teknoloji, pedagojik yöntemler ve içerik bilgisi arasındaki ilişkiyi anlayıp uygulayabilmesini ifade eden TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) çerçevesi kapsamında somutlaşmaktadır. TPACK modeli, öğretmenin dijital araçları kullanırken pedagojik kararlarını ve

içerik sunumunu nasıl dönüştürdüğünü sistematik biçimde açıklayan bütüncül bir yaklaşımdır (Mishra & Koehler, 2006).

Bu bağlamda, dijital pedagojik yeterlikler yalnızca teknik kullanım becerilerini değil, aynı zamanda şunları da kapsar:

- Öğrencilerin bireysel farklılıklarını dikkate alarak teknoloji destekli öğrenme senaryoları tasarlama,
- Dijital öğrenme materyalleri geliştirme ve uyarlama,
- Teknolojiyi işbirlikçi, araştırmacı ve sorgulayıcı öğrenme ortamları yaratmak için kullanma,
- Etik, güvenli ve kapsayıcı dijital kullanım konusunda öğrencilere rehberlik etme,
- Öğrencilerin dijital üretkenliğini ve yaratıcı düşünme becerilerini teşvik etme.

Özellikle dijital araçlarla zenginleştirilmiş laboratuvar uygulamaları, veri analiz platformları, simülasyonlar ve oyunlaştırılmış öğrenme ortamları, fen öğretiminde öğretmenin dijital yeterliklerini doğrudan ortaya koyan örneklerdir. Bu ortamlarda öğretmenin rolü, sadece içerik sunmak değil; aynı zamanda öğrencilerin teknoloji ile anlamlı öğrenmelerini yapılandırmak, süreç boyunca rehberlik etmek ve değerlendirme süreçlerini yönetmektir (Redecker & Punie, 2017).

Avrupa Dijital Yeterlik Çerçevesi (DigCompEdu), öğretmenlerin dijital yeterliklerini altı ana boyutta tanımlamaktadır: (1) Mesleki etkileşim, (2) Dijital kaynakların kullanımı, (3) Öğretim ve öğrenme süreçlerinin dijital desteklenmesi, (4) Öğrencilerin öğrenmesini destekleme, (5) Öğrencilerin değerlendirilmesi ve (6) Öğrencilerin dijital yeterliklerinin geliştirilmesi (European Commission, 2017). Bu boyutlar, fen eğitimi özelinde öğretmenin pedagojik yetkinlikler açısından dijital okuryazarlık, yaratıcılık ve etik kullanım

becerileriyle donanmış olmasını gerekli kılmaktadır. Bir başka deyişle, fen bilimleri öğretmenlerinin dijital pedagojik yeterlikleri, yalnızca öğretim kalitesini artırmakla kalmayıp, öğrencilerin teknoloji destekli öğrenme ortamlarında aktif, üretken ve eleştirel bireyler olarak gelişimini de desteklemelidir. Bu nedenle gerek fen bilgisi öğretmenliği lisans programlarında gerekse öğretmen eğitim programlarında dijital pedagojik yeterliklerin sistematik biçimde ele alınması ve hizmet içi eğitimlerle sürekli geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

2.3. Fen Bilimleri Öğretmenleri İçin Hizmet İçi Eğitim ve Mesleki Gelişim

Dijital dönüşüm sürecinde fen bilimleri öğretmenlerinin pedagojik yeterliklerinin güncellenmesi ve desteklenmesi, kaliteli ve çağdaş bir fen eğitiminin temel koşullarından biridir. Teknolojik gelişmelerin hızlı ve sürekli olması, öğretmenlerin mesleki bilgi, beceri ve tutumlarının da dinamik bir biçimde geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda hizmet içi eğitim programları ve sürekli mesleki gelişim olanakları, öğretmenlerin dijital pedagojiye uyum sağlamasında kritik rol oynamaktadır. Fen bilimleri öğretmenlerinin mesleki gelişimi, geleneksel hizmet içi kursların ötesinde, uygulamaya dönük, ihtiyaç temelli, teknoloji ile desteklenmiş ve iş birliğine dayalı bir anlayışla yapılandırılmalıdır. Öğretmenlerin dijital araçları sınıf ortamına entegre etmeleri için yalnızca teknik beceriler değil; aynı zamanda bu araçların pedagojik değerini anlama, içerikle bütünleştirme ve öğrenme sürecine uygun biçimde tasarlama yeterliklerini de kazanmaları gerekmektedir (Kopcha, 2012; Desimone & Garet, 2015).

Etkili hizmet içi eğitim programlarında aşağıdaki temel özelliklerin bulunması önerilmektedir:

İçerik odaklılık: Fen öğretiminin doğasına uygun olarak tasarlanmış, dijital araçların fen konularında nasıl kullanılacağını gösteren örneklerle desteklenen içerikler,

Etkin katılım ve uygulama temelli öğrenme: Öğretmenlerin teknoloji kullanımını doğrudan deneyimledikleri, senaryo temelli ve laboratuvar benzeri uygulamaların yer aldığı atölyeler,

Sürekli destek: Eğitim sonrasında öğretmenlere mentorluk, çevrimiçi destek ağları veya meslektaş öğrenme toplulukları aracılığıyla rehberlik sağlanması,

Değerlendirme ve yansıtma süreçleri: Öğretmenlerin öğrendiklerini sınıfta pratiğe ne ölçüde yansıttıklarının değerlendirilmesi ve bu süreçten geri bildirim alarak gelişimlerine yön vermeleri.

Özellikle fen bilimleri öğretmenlerinin artırılmış gerçeklik uygulamaları, sanal laboratuvarlar, oyunlaştırılmış öğrenme ortamları ve veri analizi araçları gibi dijital pedagojik uygulamalara ilişkin bilgi ve deneyimlerini artırmak üzere tasarlanan profesyonel gelişim etkinlikleri, öğretmenlerin teknolojiyi anlamlı ve etkili bir şekilde derslerine entegre etmelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca, meslektaşlar arası iş birliğini teşvik eden öğrenme toplulukları, öğretmenlerin dijital uygulamalara ilişkin deneyimlerini paylaşmalarını, karşılaştıkları sorunlara çözüm üretmelerini ve yenilikçi uygulamalar geliştirmelerini desteklemektedir. Bu tür öğrenme toplulukları hem bireysel mesleki gelişimi hem de okul düzeyinde kurumsal öğrenmeyi teşvik eden sürdürülebilir modeller olarak öne çıkmaktadır (Tondeur ve ark., 2012). Sonuç olarak, dijital pedagojik yeterliklerin fen eğitimiyle bütünleşebilmesi için öğretmenlerin sürekli ve nitelikli hizmet içi eğitim olanaklarına erişimi sağlanmalıdır. Bu süreç, yalnızca eğitimcilerin bireysel gelişimini değil, eğitim sisteminin dijitalleşmeye adaptasyonunu da doğrudan etkilemektedir.

3. DİJİTAL UÇURUM, ZORLUKLAR VE ETİK KONULAR

3.1. Erişim Eşitsizlikleri

Dijital teknolojilerin eğitimde artan kullanımı, öğrencilerin bilgiye, araçlara ve öğrenme fırsatlarına erişimini genişletme potansiyeline sahip olsa da bu gelişme beraberinde önemli yapısal sorunları da gündeme getirmektedir. Bunların başında gelen erişim eşitsizlikleri ve dijital uçurum, dijital pedagojik yaklaşımların etkili biçimde uygulanabilmesini sınırlayan kritik engeller arasında yer almaktadır. Dijital uçurum, yalnızca internet ya da cihazlara erişim düzeyindeki farklılıkları değil, aynı zamanda dijital beceriler, kullanım amaçları, pedagojik yeterlikler ve sosyoekonomik şartların neden olduğu derin yapısal eşitsizlikleri de kapsamaktadır (Hargittai, 2002; van Dijk, 2020). Özellikle düşük gelirli bölgelerdeki öğrenciler, fen eğitimi gibi kaynak yoğunluğu gerektiren alanlarda dijital laboratuvarlar, simülasyonlar ya da artırılmış gerçeklik uygulamalarına erişimde dezavantajlı konumda bulunmaktadır. Bu durum, sadece öğrenme sürecini olumsuz etkilemekle kalmaz; aynı zamanda öğrenme çıktılarında kalıcı farklar oluşmasına da neden olabilir.

Özellikle pandemi dönemiyle birlikte dijital eğitim süreçlerinin zorunlu hale gelmesi, erişim eşitsizliklerinin yalnızca bireysel değil, kurumsal ve bölgesel düzeyde de derinleştiğini göstermiştir (UNESCO, 2020). Nitelikli dijital içeriklere ulaşamayan, uygun cihazlara sahip olmayan ya da internet bağlantısı yetersiz olan öğrenciler, dijital öğrenme ortamlarında yeterince aktif rol alamamakta; bu da onların akademik başarılarının yanı sıra dijital okuryazarlık becerilerini de sınırlamaktadır. Bununla birlikte, dijital uçurum yalnızca teknik altyapı eksikliklerinden kaynaklanmaz. Ebeveynlerin dijital yeterlikleri, öğretmenlerin teknolojiye yaklaşımı ve yatkınlığı

gibi sosyal faktörler de bu eşitsizlikleri pekiştirir. Bu bağlamda dijital pedagojinin kapsayıcı bir biçimde uygulanabilmesi için yalnızca teknolojik araçların temini değil, aynı zamanda öğrenme ortamlarının pedagojik olarak adil, esnek ve uyarlanabilir şekilde tasarlanması gereklidir (Warschauer, 2004). Dijital dönüşümün sunduğu fırsatlardan tüm öğrencilerin eşit biçimde yararlanabilmesi, erişim eşitsizliklerinin giderilmesine ve dijital uçurumun azaltılmasına yönelik bütüncül politikaların hayata geçirilmesi ile mümkündür. Bu doğrultuda, fen eğitiminde dijital uygulamaların yaygınlaştırılmasında sosyal adalet ilkesine dayalı stratejilerin geliştirilmesi ve eğitim sisteminin tüm bileşenlerinin bu süreçte sorumluluk üstlenmesi kritik önem taşımaktadır.

3.2. Teknolojik Altyapı ve Erişim Sorunları

Dijital pedagoji uygulamaları, özellikle fen eğitimi gibi deneyimsel ve görselleştirme temelli disiplinlerde öğrenme süreçlerini zenginleştirme potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyelin tüm öğrenciler tarafından eşit biçimde deneyimlenebilmesi, teknolojik altyapının yeterliliği ve erişim olanaklarının eşitliği ile doğrudan ilişkilidir. Dijitalleşmenin eğitim ortamlarına entegrasyonunda karşılaşılan başlıca sorunlardan biri, öğrenciler ve öğretmenler arasında donanım, internet erişimi ve dijital araçlara sahip olma bakımından ciddi eşitsizliklerin bulunmasıdır (van Dijk, 2020). Özellikle kırsal bölgelerde, düşük sosyoekonomik düzeydeki okullarda ya da gelişmekte olan ülkelerde, okulların dijital altyapısı yetersiz kalmakta; hızlı ve kararlı bir internet bağlantısının olmaması, bireysel cihaz eksiklikleri, güncel yazılım ve donanım erişiminin sınırlı olması gibi nedenlerle dijital pedagojik uygulamaların sürdürülebilirliği sektöre uğramaktadır (UNESCO, 2021). Bu durum yalnızca öğrenme fırsatlarının kalitesini düşürmekle kalmamakta, aynı zamanda dijital uçurumu daha da derinleştirmekte ve öğrenme adaletsizliğine yol açmaktadır.

Benzer şekilde, öğretmenlerin dijital araçları etkili kullanabilmeleri için gerekli donanımına sahip olmamaları, dijital içerikleri sorunsuz biçimde uygulamaya dökmelerini engellemekte; öğretim sürecinde dijital kaynakların planlı, etkileşimli ve pedagojik bağlamda anlamlı biçimde kullanılmasını sınırlamaktadır. Altyapı eksiklikleri, öğretmenlerin dijital kaynaklara erişimini ve bu kaynakları farklı öğrenen profillerine göre uyarlama becerilerini doğrudan etkilemektedir (Claro et al., 2012). Ayrıca, çevrimiçi laboratuvarlar, artırılmış gerçeklik uygulamaları, simülasyon yazılımları gibi ileri düzey araçların yüksek bilgisayar donanımları gerektirmesi, bu uygulamaların yalnızca belirli öğrenci grupları tarafından kullanılabilir olmasına yol açmaktadır. Dijital pedagojinin yaygınlaştırılması sürecinde teknolojiye erişimin sadece teknik değil, aynı zamanda pedagojik ve sosyal bir mesele olduğu unutulmamalıdır. Altyapısal yatırımların, dijital kaynakların adil dağıtımının ve dijital eşitsizlikleri azaltmaya yönelik bütüncül politikaların geliştirilmesi, dijital pedagojinin fen eğitimi bağlamında etkili ve adil biçimde uygulanmasının önkoşullarındandır.

3.3. Dijital Araçların Sınıf İçi Kullanımında Yaşanan Zorluklar

Dijital araçların fen eğitimi süreçlerine entegrasyonu, öğretimsel etkililiği artırma potansiyeli taşısa da sınıf içi uygulamalarda çeşitli pedagojik, teknik ve yönetsel zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu araçların etkili kullanımı, yalnızca teknik erişimle sınırlı olmayıp, pedagojik amaçlara uygun seçim, kullanım becerisi, sınıf yönetimi ve öğrencilerin aktif katılımını sağlama gibi çok boyutlu unsurları içermektedir. Yaşanan zorlukların başında, öğretmenlerin dijital araçları pedagojik hedeflerle bütünleştirmede yaşadığı güçlükler gelmektedir. Dijital teknolojiler çoğu zaman, araç merkezli bir yaklaşımla sınıfa entegre edilmekte; bu da teknolojinin sadece motivasyon

artırıcı veya görsel destek sağlayıcı bir unsur olarak kalmasına neden olmaktadır. Bu tür yüzeysel entegrasyon, öğrencilerin bilimsel kavramları derinlemesine anlamalarına katkı sunmakta yetersiz kalabilir. Bununla birlikte, sınıf içi uygulamalarda karşılaşılan dikkat dağınıklığı, dijital araçların çoklu ortam özelliklerinin öğrencilerin odaklanmasını olumsuz etkileyebileceği bir başka sorundur. Özellikle mobil cihazlar ve internet bağlantılı araçlar, öğrencilerin konudan sapmasına neden olabilmekte, bu durum da sınıf içi disiplini ve öğretmen kontrolünü zorlaştırmaktadır. Ayrıca, dijital etkinliklerin süre yönetimi açısından iyi planlanmamış olması, öğretim süresinin verimsiz kullanılmasına yol açabilmektedir. (Ertmer & Ottenbreit-Leftwich, 2010; Tondeur ve ark., 2017; Kay, Leung & Tang, 2017).

Teknik problemler, sınıf içi dijital araç kullanımının önündeki bir diğer engeldir. Donanım arızaları, yazılım güncellemeleri, internet bağlantı sorunları veya uyumluluk problemleri öğretim sürecinin kesintiye uğramasına neden olabilir. Bu tür aksaklıklar, öğretmenlerde dijital araçlara karşı isteksizlik veya güvensizlik oluşturabilir ve teknolojiyi sürdürülebilir şekilde kullanmalarını engelleyebilir. Ayrıca, öğrenciler arasında dijital beceri düzeylerinin farklılık göstermesi, sınıf içindeki etkileşim ve ilerleme hızında dengesizliklere yol açabilir. Bazı öğrencilerin dijital araçları hızla kavraması, diğerlerinin ise teknik beceri eksikliği nedeniyle geri kalması, öğretmenin farklılaştırılmış öğretim yapmasını gerektirir. Ancak bu da öğretmen için ek zaman, dikkat ve hazırlık anlamına gelir.

3.4. Veri Güvenliği, Gizlilik ve Etik Sorumluluklar

Dijital teknolojilerin eğitimde artan kullanımı, özellikle öğrenci verilerinin toplanması, saklanması ve analiz edilmesi süreçlerini de beraberinde getirmiştir. Bu durum, veri güvenliği,

kişisel gizlilik ve etik sorumluluklar açısından dikkatle ele alınması gereken çok katmanlı bir alan ortaya koymaktadır. Fen eğitimi özelinde öğrencilerin dijital öğrenme ortamlarındaki etkileşimlerinden elde edilen veri türleri, yalnızca akademik performansla sınırlı kalmayıp, kullanıcı davranışları, bilişsel gelişim düzeyleri, ilgi alanları ve dijital okuryazarlık gibi çok boyutlu kişisel bilgileri de içerebilmektedir. Öğrenci verilerinin eğitim teknolojileri aracılığıyla toplanması, öğrenme analitiği ve kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri gibi pedagojik fırsatlar sunmakla birlikte, bu verilerin kötüye kullanımı, yetkisiz erişim veya üçüncü taraflarla paylaşımı gibi durumlar, öğrenci haklarının ihlaline yol açabilecek riskler barındırmaktadır (Slade & Prinsloo, 2013; Livingstone & Third, 2017). Bu bağlamda, eğitim ortamlarında kullanılan dijital platformların veri işleme politikaları hem ulusal mevzuatlara hem de uluslararası etik standartlara uygun olmalıdır. Avrupa Birliği'nin Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) ve Türkiye'deki Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) bu konuda temel hukuki çerçeveleri sağlamaktadır.

Öğrencilerin dijital ortamlarda ürettikleri içerikler, paylaştıkları bilgiler ve dijital ayak izleri, eğitim kurumları tarafından yalnızca öğrenme süreçlerini desteklemek amacıyla kullanılmalı; bu veriler, bilgilendirilmiş onam ilkesi çerçevesinde toplanmalı ve işlenmelidir. Aynı zamanda, öğrenci verilerinin anonimleştirilmesi ve yalnızca gerekli durumlarda paylaşılması, veri güvenliği ilkesinin bir gereğidir. Etik sorumluluk bağlamında öğretmenlerin ve eğitim yöneticilerinin, öğrencilere ait verileri nasıl kullanacaklarına dair açık ve şeffaf bir politika izlemeleri önemlidir. Öğretmenlerin öğrenci verilerine erişim düzeyi, bu verilerin saklanma süresi, paylaşıldığı kişi ya da kurumlar gibi konular açık biçimde tanımlanmalıdır. Ayrıca, öğretmenlerin dijital araçları kullanırken öğrencinin mahremiyetini gözetmeleri, sosyal medya, bulut tabanlı sistemler veya üçüncü taraf

uygulamalarda öğrenci bilgilerini paylaşmamaları temel etik yükümlülüklerdendir (Williamson & Piattoeva, 2022).

Bu nedenle, eğitim ortamlarında dijital teknolojilerin kullanımına dair etik eğitimlerin hem fen bilimleri öğretmeni yetiştirme programlarında hem de hizmet içi eğitim süreçlerinde yer alması, bu alandaki farkındalığın artırılması açısından kritiktir. Çünkü dijital pedagojide etik, yalnızca teknolojik yeterlik değil, aynı zamanda değer temelli bir öğretim anlayışını da gerektirir.

4. FEN EĞİTİMİNDE DİJİTALLEŞME YÖNELİMLERİ

4.1. Fen Eğitiminde Dijitalleşmenin Geleceği (Yapay Zeka ve Uyarlanabilir Öğrenme Sistemleri)

Dijital pedagojinin evrimi, yalnızca mevcut teknolojilerin daha etkin kullanımıyla sınırlı kalmamakta; aynı zamanda yapay zeka (YZ) ve uyarlanabilir öğrenme sistemlerinin sunduğu olanaklarla birlikte köklü bir dönüşüm potansiyeli taşımaktadır. Özellikle fen eğitimi alanında, karmaşık kavramların öğretimi, bireyselleştirilmiş öğrenme yollarının oluşturulması ve öğrencilerin bilimsel düşünme becerilerinin geliştirilmesi gibi hedefler doğrultusunda YZ destekli uygulamalar giderek daha merkezi bir rol oynamaktadır. Yapay zeka teknolojileri, öğrencilerin öğrenme süreçlerinden elde edilen büyük verileri analiz ederek, öğrenme stillerine, hızlarına ve bilişsel ihtiyaçlarına uygun kişiselleştirilmiş içerikler sunabilmektedir. Uyarlanabilir öğrenme sistemleri, bu analizler doğrultusunda öğrencinin gelişimini izleyerek, gerçek zamanlı geribildirimler, yönlendirmeler ve destekleyici materyaller sağlamaktadır. Bu yaklaşım, fen eğitiminin temel bileşenlerinden olan kavramsal anlamayı derinleştirme ve bireysel öğrenme farklarını dengeleme

açısından önemli bir pedagojik potansiyel taşımaktadır (Kulik & Fletcher, 2016; Luckin ve ark., 2016).

Özellikle YZ tabanlı öğretim sistemlerinin kullanıldığı öğrenme ortamlarında, öğrencilerin hangi kavramlarda zorlandığı, ne tür hatalar yaptığı ve hangi öğrenme yollarını tercih ettiği gibi bilgiler toplanarak, öğretim stratejileri bu verilere göre şekillendirilebilmektedir. Bu durum, öğretim tasarımında veriye dayalı karar alma süreçlerinin güçlenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, etkileşimli sanal laboratuvarlar, simülasyonlar ve deney platformlarında yapay zeka destekli sistemler, öğrencilere deney tasarımı yapma, hipotez test etme ve sonuçları analiz etme gibi bilimsel süreç becerilerini geliştirme fırsatı sunmaktadır. Ancak bu sistemlerin yaygınlaştırılması, yalnızca teknolojik altyapı ile değil, aynı zamanda öğretmenlerin YZ okuryazarlığı, etik veri kullanımı ve öğrencilerin mahremiyet haklarının korunması gibi çok boyutlu bir yaklaşımı gerektirir. Bu nedenle, yapay zeka temelli dijital pedagojilerin gelecekteki etkinliği, yalnızca teknik gelişmelerle değil, aynı zamanda pedagojik yaklaşımlar, etik değerler ve eğitim politikalarındaki birtakım düzenlemelerle de doğrudan ilişkilidir (Zawacki-Richter ve ark., 2019; Holmes, Bialik & Fadel, 2022).

4.2. Geleceğe Yönelik Öngörüler ve Araştırma Boşlukları

Fen eğitiminde dijital pedagojinin gelişimi, teknolojik ilerlemelerin yanı sıra pedagojik dönüşüm süreçlerine de bağlı olarak şekillenmektedir. Yapay zeka, artırılmış gerçeklik, uyarlanabilir öğrenme sistemleri ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerin yaygınlaşması, öğrenme-öğretme süreçlerini radikal biçimde dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Bununla birlikte, bu dönüşümün etkili, kapsayıcı ve sürdürülebilir olabilmesi için geleceğe yönelik bütüncül bir perspektifin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, dijitalleşmenin fen

eğitimindeki geleceğine dair öngörüler hem fırsatları hem de çözülmeyi bekleyen sorun alanlarını kapsamaktadır. Öncelikli olarak, fen eğitiminin dijitalleşmesinde kişiselleştirilmiş ve veri odaklı öğrenme yaklaşımlarının daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Öğrenci merkezli tasarımlar, bireysel farklılıkların dikkate alındığı uyarlanabilir sistemler ve sürekli geribildirim sağlayan öğrenme analitiği tabanlı platformlar, fen öğretimini daha etkili hale getirebilir. Ayrıca, disiplinler arası içeriklerin öne çıkmasıyla birlikte, STEM ve STEAM temelli öğrenme yaklaşımlarının dijital araçlarla entegrasyonu daha da derinleşecektir (Wang ve ark., 2011).

Bununla birlikte, mevcut literatürde hala çözüm bekleyen önemli araştırma boşlukları da bulunmaktadır. Bunların başında, dijital pedagojik uygulamaların öğrenme çıktıları üzerindeki uzun vadeli etkilerinin yeterince ortaya konmamış olması gelmektedir. Örneğin, yapay zeka destekli öğrenme ortamlarının kavramsal değişimi nasıl etkilediği, eleştirel düşünme ve bilimsel sorgulama becerilerini nasıl desteklediği gibi sorular, ampirik verilerle henüz yeterince yanıtlanmış değildir (Zawacki-Richter ve ark., 2019). Ayrıca, öğretmenlerin dijital teknolojilere yönelik tutumları, mesleki yeterlikleri ve destek ihtiyaçları üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Özellikle düşük sosyoekonomik bölgelerdeki okullarda dijital uygulamalara erişim ve kullanıma ilişkin eşitsizlikler de literatürde yeterince çalışılmış değildir.

Son olarak, dijital etik, veri gizliliği ve yapay zekanın fen eğitimine etkileri gibi meseleler de fen eğitimi özelinde daha derinlemesine araştırılmalıdır. Dolayısıyla, fen eğitiminde dijitalleşmeye ilişkin gelecekte yapılacak çalışmaların hem teknolojik hem de pedagojik bileşenleri bütüncül biçimde ele alması; aynı zamanda sosyal adalet, etik ve kapsayıcılık ilkelerini de merkeze alması gerekmektedir.

5. SONUÇ

Fen eğitimi, doğası gereği hem bilgi temelli hem de beceri odaklı bir öğretim alanı olması nedeniyle teknolojik gelişmelere en açık disiplinlerden biridir. Bu bağlamda, fen öğretiminde teknoloji entegrasyonu, yalnızca eğitim araçları açısından bir yenilik değil; aynı zamanda öğretim yaklaşımlarının, öğrenme ortamlarının ve öğretmen-öğrenci rollerinin yeniden tanımlandığı derinlemesine bir dönüşümü ifade etmektedir. Dijital teknolojilerin fen eğitimine entegrasyonu, kavramsal anlamayı derinleştirme, deneysel süreçleri zenginleştirme, bireysel öğrenme yollarını destekleme ve öğrenci katılımını artırma gibi önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle sanal laboratuvarlar, simülasyonlar, oyun tabanlı öğrenme araçları ve yapay zeka destekli sistemler, öğrencilerin soyut bilimsel kavramları somut deneyimlerle ilişkilendirmesine olanak sağlamaktadır.

Bununla birlikte, fen eğitiminde dijitalleşmenin etkili bir biçimde uygulanabilmesi, sadece teknolojik araçların teminiyle değil; öğretmenlerin dijital yeterliklerinin artırılması, öğretim stratejilerinin yeniden yapılandırılması ve eğitim sisteminin bütüncül bir dönüşüm sürecine girmesiyle mümkündür. Dijitalleşmenin getirdiği fırsatlarla birlikte, erişim eşitsizlikleri, veri güvenliği, etik sorumluluklar ve teknolojinin pedagojik anlamda yanlış ya da yetersiz kullanımı gibi çeşitli zorluklar da dikkate alınmalıdır.

Geleceğe yönelik öngörüler, fen eğitiminde kişiselleştirilmiş ve uyarlanabilir öğrenme sistemlerinin yaygınlaşacağını, öğretimin veriye dayalı biçimde şekilleneceğini ve yapay zekanın öğretim süreçlerinde daha aktif bir rol üstleneceğini göstermektedir. Ancak bu yönelimlerin sağlıklı ve kapsayıcı biçimde hayata geçirilebilmesi için, pedagojik araştırmaların derinleştirilmesi, uygulama pratiklerinin sürekli

değerlendirilmesi ve eğitimde dijital etik ilkelerin belirlenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, dijitalleşme, fen eğitiminin niteliğini artırmada güçlü bir araç olmakla birlikte, bu potansiyelin gerçekleştirilebilmesi için sistematik, eleştirel ve çok katmanlı bir yaklaşım gereklidir. Eğitim politikalarının, öğretmen yetiştirme programlarının ve okul düzeyindeki uygulamaların bu dönüşüme uyum sağlayacak biçimde yeniden yapılandırılması, dijital dönüşüm sürecinin başarıya ulaşmasında belirleyici olacaktır.

KAYNAKÇA

- Akkerman, S. F., & Bakker, A. (2011). Boundary crossing and boundary objects. *Review of Educational Research*, 81(2), 132–169.
- Barron, B., & Darling-Hammond, L. (2008). Teaching for meaningful learning: A review of research on inquiry-based and cooperative learning. In L. Darling-Hammond et al. (Eds.), *Powerful Learning: What We Know About Teaching for Understanding* (pp. 11–70). Jossey-Bass.
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House*, 83(2), 39–43.
- Blaschke, L. M. (2012). Heutagogy and lifelong learning: A review of heutagogical practice and self-determined learning. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 13(1), 56–71.
- Bozkurt, A. (2020). Koronavirüs (COVID-19) pandemi süreci ve pandemi sonrası dünyada eğitime yönelik değerlendirmeler: Yeni normal ve yeni eğitim paradigmaları. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 112–142.
- Claro, M., Preiss, D. D., San Martín, E., Jara, I., Hinostroza, J. E., Valenzuela, S., ... & Nussbaum, M. (2012). Assessment of 21st century ICT skills in Chile: Test design and results from high school level students. *Computers & Education*, 59(3), 1042–1053.
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308.
- Desimone, L. M., & Garet, M. S. (2015). Best practices in teachers' professional development in the United States. *Psychology, Society, & Education*, 7(3), 252–263.

- Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2010). Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(3), 255–284.
- European Commission. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union.
- Hargittai, E. (2002). Second-level digital divide: Differences in people's online skills. *First Monday*, 7(4).
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Kay, R. H., Leung, S., & Tang, H. (2017). Technology use in the classroom: The impact of student distractions and teacher interventions. *Journal of Educational Computing Research*, 55(8), 1195–1228.
- Kirkwood, A., & Price, L. (2014). Technology-enhanced learning and teaching in higher education: What is 'enhanced' and how do we know? *A critical literature review. Learning, Media and Technology*, 39(1), 6–36.
- Kopcha, T. J. (2012). Teachers' perceptions of the barriers to technology integration and practices with technology under situated professional development. *Computers & Education*, 59(4), 1109–1121.
- Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 86(1), 42–78.
- Livingstone, S., & Third, A. (2017). Children and young people's rights in the digital age: An emerging agenda. *New Media & Society*, 19(5), 657–670.

- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education*. Pearson Education.
- Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., & Baki, M. (2014). The effectiveness of online and blended learning: A meta-analysis of the empirical literature. *Teachers College Record*, 115(3), 1–47.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Publications Office of the European Union.
- Redecker, C., & Punie, Y. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. JRC Science for Policy Report.
- Selwyn, N. (2016). *Education and technology: Key issues and debates* (2nd ed.). Bloomsbury Academic.
- Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3–10.
- Slade, S., & Prinsloo, P. (2013). Learning analytics: Ethical issues and dilemmas. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1510–1529.
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370.
- Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F., & Baran, E. (2017). A comprehensive framework for measuring teachers' digital

- competence: Development and validation. *Computers & Education*, 114, 1–17.
- Tondeur, J., Van Braak, J., Sang, G., Voogt, J., Fisser, P., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2012). Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence. *Computers & Education*, 59(1), 134–144.
- UNESCO. (2020). *Education in a post-COVID world: Nine ideas for public action*.
- UNESCO. (2021). *Reimagining our futures together: A new social contract for education*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- van Dijk, J. A. G. M. (2020). *The digital divide*. Polity Press.
- Voogt, J., Knezek, G., Cox, M., Knezek, D., & Brummelhuis, A. (2013). Under which conditions does ICT have a positive effect on teaching and learning? A call to action. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(1), 4–14.
- Wang, H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2), 1–13.
- Warschauer, M. (2004). *Technology and social inclusion: Rethinking the digital divide*. MIT Press.
- Williamson, B., & Piattoeva, N. (2022). Objectivity as standardisation in data-driven education: Grasping the global through the local. *Research in Education*, 113(1), 23–43.
- Zacharia, Z. C., Olympiou, G., & Papaevripidou, M. (2015). The effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in

heat and temperature. *International Journal of Science Education*, 30(3), 273–303.

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), 1–27.

AKADEMİK PERSPEKTİFTEN

FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com