



ISSN: 2147 - 1037

Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi

http://kefad.ahievran.edu.tr



Exploring Pre-Service Science Teachers' Adoption of Virtual Reality in Sustainability

Yeşim Taktat Ateş¹ Murat Saraçoğlu²

ARTICLE INFO

DOI: 10.29299/kefad.1578928

Received: 04.11.2024

Revised: 21.11.2024

Accepted: 28.03.2025

Keywords:

Virtual Reality,
Sustainability,
Pre-Service Science Teachers,
Technology Acceptance,
GETAMEL Model

ABSTRACT

This study investigates the factors influencing pre-service science teachers' intentions to integrate Virtual Reality (VR) technology in teaching sustainable development topics, utilizing the General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL). Data were collected from pre-service science teachers using self-reported surveys and analyzed through Structural Equation Modeling (SEM). Results from 480 pre-service science teachers indicate that subjective norms, perceived enjoyment, experience, anxiety, and self-efficacy significantly influence perceived usefulness and ease of use of VR technology. Perceived ease of use and perceived usefulness were found to significantly impact attitudes, which, in turn, strongly predicted teachers' intention to adopt VR in teaching. The findings highlight the multifaceted nature of technology acceptance, emphasizing the interplay of cognitive, emotional, and social factors. Practical implications suggest that fostering a supportive environment, providing hands-on experience, reducing anxiety, and emphasizing the pedagogical benefits of VR are essential strategies for promoting its adoption. These findings contribute to the theoretical understanding of technology acceptance models and offer practical recommendations for enhancing VR integration in teacher education programs.

Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Sürdürülebilirlik Bağlamında Sanal Gerçeklik Benimsemelerinin İncelenmesi

MAKALE BİLGİLERİ

DOI: 10.29299/kefad.1578928

Yükleme: 04.11.2024

Düzeltilme: 21.11.2024

Kabul: 28.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Sanal Gerçeklik,
Sürdürülebilirlik,
Fen Bilgisi Öğretmen Adayları,
Teknoloji Kabulü,
GETAMEL Modeli

ÖZ

Bu çalışma, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma konularını öğretimde Sanal Gerçeklik teknolojisini kullanma niyetlerini etkileyen faktörleri, E-Öğrenme için Genişletilmiş Genel Teknoloji Kabul Modeli'ni (GETAMEL) temel alarak incelemektedir. Araştırmada veri toplama ölçekler yardımıyla gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler Yapısal Eşitlik Modellemesi yöntemi ile analiz edilmiştir. 480 fen bilgisi öğretmen adayından elde edilen bulgulara göre, öznel normlar, algılanan hoşnutsuzluk, deneyim, kaygı ve öz-yeterlilik, sanal gerçeklik teknolojisinin algılanan faydası ve kullanım kolaylığı üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir. Algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan faydanın, öğretmen adaylarının tutumları üzerinde doğrudan bir etkisi olduğu saptanmış ve bu tutumların, sanal gerçeklik teknolojisinin benimsenmesi yönündeki niyetleri güçlü bir biçimde öngördüğü görülmüştür. Bulgular, teknolojik kabul süreçlerinin çok boyutlu yapısına işaret ederek bilişsel, duygusal ve sosyal faktörlerin etkileşimsel dinamiklerine vurgu yapmaktadır. Araştırmanın uygulamaya yönelik önerileri arasında, destekleyici öğrenme ortamlarının oluşturulması, öğretmen adaylarına deneyim kazandıracak uygulamalı çalışmalar sunulması, kaygının azaltılması ve sanal gerçeklik teknolojisinin pedagojik yararlarının ön plana çıkarılması yer almaktadır. Bu bulgular, teknoloji kabul modellerine ilişkin kuramsal bilgi birikimine katkı sağlamakta ve öğretmen eğitimi programlarında sanal gerçeklik entegrasyonunu artırmaya yönelik stratejik öneriler sunmaktadır.

Sorumlu Yazar¹ : Yeşim Taktat Ateş, Doktora Öğrencisi, Erciyes Üniversitesi, Türkiye, yesimtaktat45@gmail.comYazar² : Murat Saraçoğlu, Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, Türkiye, saracm@erciyes.edu.tr

1. Giriş

21. yüzyılda çevresel sürdürülebilirlik, en acil küresel sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Ahmad ve diğerleri, 2021; Feroz ve diğerleri, 2021; Kirikkaleli ve Adebayo, 2021). Sanayi Devrimi'nden bu yana artan endüstriyel üretim ve tüketim, çevre üzerindeki olumsuz etkileri derinleştirmiştir (Thøgersen, 2009). Küresel ısınma, su kıtlığı, hava kirliliği, toprak erozyonu, doğal kaynakların tükenmesi, ormansızlaşma ve biyolojik çeşitliliğin kaybı gibi çevresel sorunlar, sürdürülebilirlik açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Abd-Elaty ve diğerleri, 2022; Azadi ve diğerleri, 2019; Lange ve Dewitte, 2019; Ricart ve diğerleri, 2021). Bu sorunlar arasında, iklim değişikliği günümüzde insanlığın karşı karşıya olduğu en büyük tehditlerden biri olarak kabul edilmektedir (Sonnett, 2022; Yu ve diğerleri, 2019). Son araştırmalar, iklim değişikliğinin insan yaşamı üzerindeki zararlı etkilerini vurgulamaktadır (Lacroix ve diğerleri, 2020; Ngo ve diğerleri, 2020; Zhang ve diğerleri, 2020). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 2021 raporlarına göre, artan yıllık CO₂ emisyonları atmosferde, okyanuslarda ve biyosferde geniş çaplı ve hızlı değişikliklere yol açmaktadır. Örneğin, 1901'den 2018'e kadar deniz seviyeleri 20 cm yükselmiş ve 1850'den 2019'a kadar okyanus sıcaklıkları tahminen 1,07 °C artmıştır (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, 2021).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (2007), son 50 yılda gözlemlenen iklim değişikliklerinin, bireylerin ve gezegenin yaşamını tehdit eden insan davranışlarından kaynaklandığını belirtmiştir (Wynes ve Nicholas, 2017). Ayrıca, araştırmalar çevresel sorunlarda insan faktörlerinin önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Ateş, 2021; Nielsen ve diğerleri, 2021; Savari ve diğerleri, 2023). Özellikle, geri dönüşüm (Issack ve diğerleri, 2021), ulaşım yöntemleri (Zhai ve Wolff, 2021), enerji tüketimi (Zeiske ve diğerleri, 2021) ve gıda tüketimi (Ateş, 2021) gibi hanehalkı tüketim davranışları, sürdürülebilir bir çevrenin teşvik edilmesinde kritik öneme sahiptir. Örneğin, Avrupa'da hanehalkı enerji tüketimi toplam enerji tüketiminin %27'sini oluştururken (Eurostat, 2014), gıda tüketimi toplam hanehalkı tüketiminin yaklaşık %20-30'una karşılık gelmektedir (Tukker ve Jansen, 2006). İnsan davranışlarının doğa üzerindeki olumsuz etkileri ve nüfus artışı birleştiğinde, önümüzdeki yüzyıllarda bu sorunların daha da kötüleşmesi beklenmektedir. Birleşmiş Milletlere (2024) göre, kentsel nüfusun 2050 yılına kadar 2,5 milyara ulaşacağı öngörülmekte olup, bu durum yüksek karbonlu yaşam tarzlarıyla ilişkili tüketim modellerinin artmasına katkıda bulunacaktır (Zhang ve diğerleri, 2015).

İklim değişikliği ve çevreye duyarsız davranışların oluşturduğu tehditlere rağmen, son yıllarda toplumda çevrenin korunmasına yönelik artan bir farkındalık gözlenmiştir (Dowd ve Burke, 2013). Bu durumun bir sonucu olarak, çevre psikolojisi (Edgerton ve diğerleri, 2021), örgütsel psikoloji (Norton ve diğerleri, 2015), davranış analizi (Lehman ve Geller, 2004) ve çevre eğitimi

(Casas Jr ve diğerleri, 2021) gibi çeşitli disiplinler, insan davranışının çevre üzerindeki etkisine odaklanmaya başlamıştır.

Çevre eğitimi, bireylerin davranışlarını olumlu yönde etkileme potansiyeli nedeniyle giderek daha fazla tanınmaktadır (Ardoin ve diğerleri, 2020). Etkili ve uygulamalı öğrenme deneyimleri aracılığıyla öğrenciler, çevresel konular hakkındaki bilgi ve farkındalıklarını artırmaktadır (Trevors, 2007). Çevre bilinciyle donatılmış öğrencilerin, çevresel sorunların çeşitli yönlerini değerlendirebilen ve toplumlarında bilinçli kararlar alabilen sorumlu vatandaşlar olmaları beklenmektedir (Fraser ve Jamieson, 2003). Kaliteli ve standartlara dayalı çevre eğitimi, doğal kaynakların etkin yönetiminin teşvik edilmesinde ve sürdürülebilir bir geleceğin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır (Ateş, 2020; Fan ve diğerleri, 2010). Son eğilimler, çevresel sürdürülebilirlik bilgisinin aktarılmasında etkili ve ilgi çekici öğretim süreçlerine artan bir vurgu yaparak, araştırmacıları yenilikçi eğitim yöntemlerini keşfetmeye yönlendirmektedir.

Bu bağlamda sanal gerçeklik teknolojisi, eğitimde yenilikçi bir araç olarak ön plana çıkmaktadır. Sanal gerçeklik, öğrencilere sürükleyici ve etkileşimli öğrenme ortamları sunarak, karmaşık sürdürülebilirlik kavramlarını daha anlaşılır ve somut hâle getirmektedir (Sancar ve diğerleri, 2022). Sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımı, öğrencilerin sürdürülebilir kalkınma konularına yönelik farkındalıklarını ve ilgilerini artırarak, öğrenme süreçlerini zenginleştirmektedir (Ronaghi, 2023). Bu nedenle sanal gerçekliğin eğitim ortamlarına entegrasyonu, sürdürülebilirlik eğitiminin etkinliğini artırmada önemli bir potansiyele sahiptir.

Ancak, sanal gerçeklik teknolojisinin öğretim süreçlerine başarılı bir şekilde entegre edilebilmesi için, öğretmen adaylarının bu teknolojiye yönelik tutum ve niyetlerini etkileyen faktörlerin anlaşılması gerekmektedir. Bu amaçla, teknoloji kabul modelleri, kullanıcıların yeni teknolojileri benimseme süreçlerini analiz etmek için etkili bir çerçeve sunmaktadır. E-Öğrenme için Genişletilmiş Genel Teknoloji Kabul Modeli (GETAMEL), bu bağlamda özellikle dikkat çekmektedir. GETAMEL, teknolojik kabulün bilişsel, duygusal ve sosyal boyutlarını kapsayarak, öğretmen adaylarının sanal gerçeklik teknolojisini benimseme niyetlerini ve bu niyetleri etkileyen faktörleri derinlemesine incelemeye olanak tanımaktadır.

Bu çalışma, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma konularının öğretiminde sanal gerçeklik teknolojisini kullanma niyetlerini etkileyen faktörleri GETAMEL modeli çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Bu modelin kullanımı, öğretmen adaylarının sanal gerçeklik teknolojisini benimsemelerini etkileyen bilişsel, duygusal ve sosyal faktörlerin belirlenmesine katkı sağlayarak, eğitimde sanal gerçekliğin

etkili entegrasyonunu destekleyecek stratejilerin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

Çevresel sürdürülebilirlik, giderek artan bir biçimde kritik bir küresel mesele olarak kabul edilmekte ve bu durum, sürdürülebilirlik eğitiminin öğretim uygulamalarına entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır (Ahmad ve diğerleri, 2021; Feroz ve diğerleri, 2021). Eğitim, özellikle iklim değişikliği ve kaynak yönetimi bağlamında, öğrenciler arasında çevresel farkındalık ve davranışların geliştirilmesinde hayati bir rol üstlenmektedir. Etkili bir çevre eğitimi, öğrencilerin sürdürülebilir uygulamalara katılımını güçlendiren bilgi, beceri ve değerleri teşvik etmektedir (Ateş, 2020; Fan ve diğerleri, 2010). Çevre eğitiminin önemi, gelecek nesiller arasında sorumlu vatandaşlık ve çevre yanlısı yönetimi teşvik etme potansiyeliyle daha da belirginleşmektedir (Fraser ve Jamieson, 2003).

Öğretmen adaylarının eğitimi, geleceğin eğitimcilerinin sürdürülebilirliği etkili bir biçimde öğretmeye hazırlanmalarında kritik bir öneme sahiptir. Araştırmalar, öğretmenlerin sürdürülebilirlik konusundaki bilgi, tutum ve inançlarının, öğretim uygulamalarını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır (Boyes ve Stanisstreet, 2012; Wals ve diğerleri, 2014). Bu bağlamda, fen bilgisi öğretmen adayları arasında çevresel konulara ilişkin derinlemesine bir anlayışın geliştirilmesi, sınıfta sürdürülebilirlik eğitiminin teşvik edilmesi için esastır (Littledyke ve diğerleri, 2013). Bu durum, öğretmen eğitimi programlarının müfredatlarına sürdürülebilirliği dâhil etmeleri ve geleceğin eğitimcilerini bu kavramları etkili bir şekilde öğretmek için gerekli beceri ve yetkinliklerle donatmaları gerekliliğini vurgulamaktadır.

Sanal gerçeklik teknolojisi, etkileşimli ve sürükleyici öğrenme ortamları sunarak eğitim deneyimlerinin zenginleştirilmesi için özgün fırsatlar sağlamaktadır (Ateş ve Kölemen, 2025). Sanal gerçeklik, deneyimsel öğrenmeyi kolaylaştırma potansiyeliyle tanınmakta olup, öğrencilerin karmaşık kavramlarla anlamlı bir şekilde etkileşime girmelerine olanak tanımaktadır (Araiza-Alba ve diğerleri, 2022; Chen, 2016). Araştırmalar, sanal gerçekliğin motivasyonu, katılımı ve bilgi kalıcılığını artırdığını göstermiş; bu da onu sürdürülebilirlik gibi zorlu konuların öğretiminde güçlü bir araç hâline getirmiştir (Persky ve McBride, 2009; Ververidis ve diğerleri, 2021).

Sanal gerçekliğin eğitimde uygulanması, çeşitli disiplinlerde incelenmiş ve aktif öğrenme ile eleştirel düşünmeyi teşvik etmedeki etkinliğini ortaya koymuştur (Kim ve diğerleri, 2022; Koutsoukos ve diğerleri, 2015). Örneğin, sanal gerçekliğin öğrencilerin soyut kavramları görselleştirmesine ve simüle edilmiş deneylere katılmasına imkân tanıdığı fen eğitiminde olumlu sonuçlar rapor edilmiştir; bu sayede bilimsel ilkelerin anlaşılması geliştirilmiştir (Freina ve Ott, 2015).

Sürdürülebilir kalkınma öğretiminde teknolojinin entegrasyonu, eğitimcilerin öğrencileri sürdürülebilirlik

kavramlarıyla etkileşime sokmak için yenilikçi yöntemler aramaları nedeniyle son yıllarda artan bir ilgi görmüştür (Sancar ve diğerleri, 2022; Sancar ve diğerleri, 2023; Scurati ve Ferrise, 2020). Araştırmalar, sanal gerçeklik gibi sürükleyici teknolojilerin kullanımının, insan davranışlarının çevre üzerindeki etkisini gösteren gerçekçi senaryolar sunarak öğrenme deneyimini zenginleştirebileceğini göstermektedir (Markowitz ve diğerleri, 2018). Çevresel zorlukları simüle ederek sanal gerçeklik, sürdürülebilirlik sorunlarının ele alınmasında temel olan eleştirel düşünme ve problem çözme becerilerini teşvik edebilir.

Eğitimde sanal gerçekliğin vaat ettiği potansiyele rağmen, çalışmalar aynı zamanda uygulanmasına ilişkin zorlukları da vurgulamaktadır. Teknik sınırlamalar, eğitim eksikliği ve değişime direnç gibi faktörler, sanal gerçeklik teknolojisinin öğretimde etkili kullanımını engelleyebilir (Al-Azawei ve Alowayr, 2020; Bano ve diğerleri, 2018). Bu nedenle, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma eğitimi için sanal gerçekliği benimseme niyetlerini etkileyen faktörlerin anlaşılması, sanal gerçekliğin öğretmen eğitimi programlarına entegrasyonunu teşvik etmek açısından hayati öneme sahiptir.

GETAMEL, e-öğrenme bağlamlarında bireylerin eğitim teknolojilerini kabulünü ve kullanım niyetlerini değerlendirmek amacıyla geniş çapta uygulanmış ve doğrulanmıştır (Strzelecki ve diğerleri, 2022). GETAMEL, Davis (1989) tarafından geliştirilen orijinal Teknoloji Kabul Modeli'ni (TAM), algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığını etkileyen dışsal faktörleri dâhil ederek genişletmektedir (Abdullah ve Ward, 2016). Genellenebilir bir model olarak GETAMEL, kullanıcı kabulünü ve e-öğrenme teknolojilerini kullanma niyetini analiz etmek için değerli bir çerçeve sunmaktadır (Doleck ve diğerleri, 2018). Ayrıca, e-öğrenme dışındaki çeşitli teknolojilerin kabulünü değerlendirmek için de uygulanabilmektedir (Ateş ve Gündüzalp, 2025; Ateş ve diğerleri, 2024; Yulianto ve diğerleri, 2021). Dolayısıyla, GETAMEL, fen bilgisi öğretmen adaylarının yenilikçi yaklaşımları ve teknolojileri öğretim uygulamalarına benimseme ve uygulama konusundaki hazırbulunuşluklarını değerlendirmek için isabetli bir model sunmaktadır.

Algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığı, teknoloji benimsemenin iyi bilinen belirleyicileridir (Abdullah ve Ward, 2016; Ateş ve Garzón, 2022; Ateş ve Garzón, 2023; Revythi ve Tselios, 2019; Venkatesh ve diğerleri, 2003). Algılanan fayda, bireyin belirli teknolojik araçların benimsenmesinin bir görevin başarılı bir şekilde tamamlanmasını artıracığına dair inancını ifade etmektedir. Buna karşılık, algılanan kullanım kolaylığı, bireylerin görevlerin teknoloji aracılığıyla daha verimli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebileceğine inanmalarının derecesini tanımlamaktadır (Davis, 1989). E-öğrenme ortamlarında algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığını genellikle beş dışsal faktör etkilemektedir: öznel

normlar, deneyim, algılanan hoşnutluk, kaygı ve öz-yeterlik (Abdullah ve Ward, 2016; Hanif ve diğerleri, 2018).

Öznel normlar, bireylerin eğitim teknolojilerini kullanımına ilişkin sosyal etkileri algılamalarıyla, özellikle de başkalarının neyi kabul edilebilir ve uygun gördükleriyle ilgilidir (Venkatesh ve diğerleri, 2003). Bireyler belirli teknolojileri benimsemeleri yönünde sosyal baskı hissettiklerinde, bu teknolojilerin faydasına dair değerlendirmeleri olumlu yönde etkilenebilir. Bu durum, sosyal normlara uyma arzusundan veya başkalarının görüşlerinin bir teknolojinin değeri konusunda güvenilir göstergeler olduğuna inanılmasından kaynaklanabilir (Kemp ve diğerleri, 2019). Buna bağlı olarak, aşağıdaki hipotezleri öneriyoruz:

H1: Öznel normlar, algılanan faydayı olumlu yönde etkiler.

H2: Öznel normlar, algılanan kullanım kolaylığını olumlu yönde etkiler.

Deneyim faktörü, bireylerin eğitim teknolojileri ile ilgili aşinalıklarının ve bilgilerini türü ve kapsamını içerir (Smith ve diğerleri, 1999). Önceden deneyime sahip bireyler, teknolojiye doğrudan etkileşim yoluyla kazandıkları güven ve anlayış nedeniyle, teknolojiyi daha faydalı ve kullanımı daha kolay olarak algılama eğilimindedirler (Durodolu, 2016). Bu doğrultuda şu hipotezleri ileri sürüyoruz:

H3: Deneyim, algılanan faydayı olumlu yönde etkiler.

H4: Deneyim, algılanan kullanım kolaylığını olumlu yönde etkiler.

Algılanan hoşnutluk, eğitim teknolojileri kullanımından elde edilen içsel memnuniyeti ifade etmektedir (Kemp ve diğerleri, 2019). Algılanan hoşnutluk, hem fayda hem de kullanım kolaylığı algılarını önemli ölçüde artırabilir. Kullanıcılar bir etkinliği zevkli bulduklarında, onu daha yararlı ve etkileşime geçmesi kolay olarak görme olasılıkları artar (Agarwal ve Karahanna, 2000). Bu nedenle aşağıdaki hipotezleri öneriyoruz:

H5: Algılanan hoşnutluk, algılanan faydayı olumlu yönde etkiler.

H6: Algılanan hoşnutluk, algılanan kullanım kolaylığını olumlu yönde etkiler.

Kaygı faktörü, eğitim teknolojileri kullanımına ilişkin duygusal tepkileri ve endişeleri kapsar (Kemp ve diğerleri, 2019). Kaygı, potansiyel zorlukların farkındalığını artırarak, bir teknolojinin faydası ve kullanım kolaylığı algısını azaltabilir. Bu ilişkinin spesifik doğası, bağlama ve ilgili bireylere bağlı olarak değişebilir (Abdullah ve Ward, 2016). Bu nedenle şu hipotezleri belirliyoruz:

H7: Kaygı, algılanan faydayı olumsuz yönde etkiler.

H8: Kaygı, algılanan kullanım kolaylığını olumsuz yönde etkiler.

Öz-yeterlik, bireylerin eğitim teknolojileri sistemlerini kullanarak belirli görevleri gerçekleştirme konusundaki

özgüvenlerini ifade eder (Bandura, 1982; Kemp ve diğerleri, 2019). Yüksek öz-yeterlik, motivasyonu artırabilir, algılanan zorluğu azaltabilir ve teknolojinin faydalarına olan inancı güçlendirebilir. Bu bağlamda aşağıdaki hipotezleri öneriyoruz:

H9: Öz-yeterlik, algılanan faydayı olumlu yönde etkiler.

H10: Öz-yeterlik, algılanan kullanım kolaylığını olumlu yönde etkiler.

GETAMEL, algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan faydanın, bireylerin yeni teknolojileri benimseme niyetlerini belirleyen temel faktörler olduğunu öne sürer. Model, algılanan kullanım kolaylığının algılanan faydayı olumlu yönde etkilediğini (H11) ve bu faktörlerin sırasıyla bireylerin tutumlarını (H12 ve H13) ve teknoloji benimseme niyetlerini (H14 ve H15) şekillendirdiğini savunur. Buna bağlı olarak, aşağıdaki hipotezler belirlenmiştir:

H11: Algılanan kullanım kolaylığı, algılanan faydayı olumlu yönde etkiler.

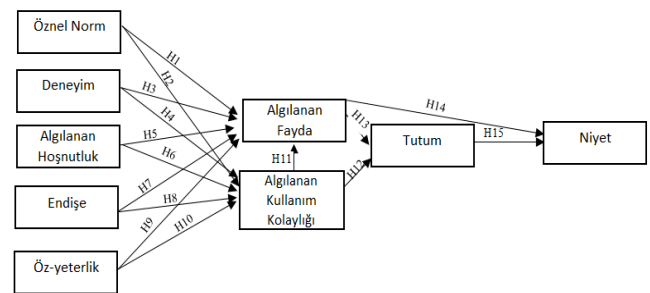
H12: Algılanan kullanım kolaylığı, tutumu olumlu yönde etkiler.

H13: Algılanan fayda, tutumu olumlu yönde etkiler.

H14: Algılanan fayda, niyeti olumlu yönde etkiler.

H15: Tutum, niyeti olumlu yönde etkiler.

Şekil 1, araştırma hipotezlerini göstermekte ve bu çalışma için GETAMEL'den uyarlanmış önerilen modeli sunmaktadır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..
Önerilen Model

2. Yöntem

2.1. Desen

Bu çalışma, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilirlik konularını öğretmek için sanal gerçeklik teknolojisini benimseme niyetlerini etkileyen faktörleri incelemek amacıyla kesitsel bir desen kullanmaktadır.

2.2. Çalışma Grubu

Bu araştırma kapsamında başlangıçta, 2023-2024 akademik yarıyılı boyunca Türkiye'nin çeşitli üniversitelerin öğretmen yetiştirme programlarına kayıtlı fen bilgisi öğretmen adaylarına 600 ölçek dağıtılmıştır. Bunların 520'si geri dönmüş; ancak yapılan tarama sonrasında, kalite standartlarını karşılamayan 40 yanıt hariç tutulmuş ve analiz için nihai olarak 480 geçerli ölçek elde edilmiştir.

Katılımcı fen bilgisi öğretmen adaylarının demografik profili, %75'inin kadın ve %25'inin erkek olduğunu ortaya koymuştur. Katılımcıların çoğunluğu %40 ile 20–25 yaş aralığında olup, %35'i 26–30 yaş grubundadır. 31–35 ve 35 yaş üstü gruplar ise sırasıyla katılımcıların %15 ve %10'unu temsil etmektedir. Dikkate değer bir şekilde, katılımcıların %80'i günlük yaşamlarında düzenli olarak teknoloji kullandıklarını belirtmiş ve bunların yarısı eğitim bağlamında sanal gerçeklik teknolojisiyle önceki deneyime sahip olduklarını ifade etmiştir. Bu aşinalığa rağmen, sadece %12'si sürdürülebilir kalkınma kavramlarının öğretiminde özel olarak sanal gerçeklik teknolojisini kullanmıştır.

2.3. İşlem

Bu çalışma, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma kavramlarının öğretiminde sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımına yönelik niyetlerini ve algılarını incelemek amacıyla kesitsel bir desen kullanmıştır. Katılımcılar, Türkiye'de çeşitli üniversitelerdeki fen bilgisi öğretmen adaylarından oluşmaktadır.

Katılımcılardan yaklaşık 30 dakika süren bir ölçeği tamamlamaları istenmiştir. Ölçek, GETAMEL ile uyumlu olacak şekilde titizlikle hazırlanmış ve öğretimlerinde sanal gerçeklik teknolojisini benimseme niyetlerini etkileyebilecek faktörlere odaklanmıştır.

2.4. Veri Analizi

Ölçek verilerinin analizi, SPSS ve AMOS olmak üzere iki istatistiksel yazılım paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analitik süreç, Anderson ve Gerbing (1988) tarafından önerilen maksimum olabilirlik tahmin teknikleri kullanılarak, ölçüm modelinin değerlendirilmesi ve ardından yapısal modelin incelenmesi şeklinde iki ana aşamada ilerlemiştir.

İlk aşamada, kullanılan ölçeklerin güvenirlik ve geçerliliğini sağlamak amacıyla ölçüm modeline odaklanılmıştır. Bu amaçla Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) uygulanmış ve modelin verilerle yüksek uyum gösterdiği belirlenmiştir ($\chi^2 = 762.45$, $df = 289$; $p < 0.01$; $\chi^2/df = 2.64$; GFI = 0.93; TLI = 0.94; CFI = 0.92; RMSEA = 0.06; SRMR = 0.05). Tüm faktör yüklerinin kabul edilebilir eşik değer olan 0.45'in üzerinde olduğu saptanmış, bu da maddelerin ilgili yapılarla anlamlı bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir (Ford ve diğerleri, 1986).

Ölçeklerin iç tutarlılığını daha ayrıntılı değerlendirmek için bileşik güvenirlik ve Cronbach's alfa değerleri hesaplanmıştır. Bileşik güvenirlik değerleri 0.80 ile 0.92 arasında, Cronbach's alfa değerleri ise 0.85 ile 0.93 arasında bulunmuştur. Tüm değerlerin 0.70'lik minimum kriteri aştığı göz önüne alındığında, ölçüm araçlarının yüksek düzeyde güvenirliğe sahip olduğu teyit edilmiştir (Bagozzi ve Yi, 1989; Nunnally, 1978).

Ayrıca, ortalama varyans açıklaması (AVE) değerleri hesaplanmış ve 0.60 ile 0.75 arasında değiştiği belirlenmiştir; bu değerler, yakınsak geçerliliğin sağlanması için gerekli olan 0.50 eşik değerinin üzerindedir. Bunun yanı sıra, her bir yapının AVE'sinin karekökü, yapılar arası korelasyonlardan daha büyük bulunmuş ve bu durum kullanılan ölçeklerin ayırt edici geçerliliğini desteklemektedir (Bagozzi ve Yi, 1989; Fornell ve Larcker, 1981).

Güvenirlik ve geçerlilik testlerinden elde edilen bulgular, bu çalışmada kullanılan ölçüm modelinin sağlamlığını ortaya koymakta olup, detayları Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1.*GETAMEL yaklaşımında yapıların geçerlilik ve güvenirliği*

Yapılar ve İfadeler	Faktör Yükleri	Ortalama Varyans Açıklaması (AVE)	Bileşik Güvenirlik
Algılanan Kullanım Kolaylığı (AKK)		.702	.889
AKK 1	.82		
AKK 2	.85		
AKK 3	.87		
Algılanan Kullanışlık (AK)		.643	.875
AK 1	.78		
AK 2	.82		
AK 3	.81		
Algılanan Hoşnutluk (AH)		.810	.942
AH 1	.90		
AH 2	.89		
AH 3	.91		
Kaygı (KAY)		.626	.857
KAY 1	.77		
KAY 2	.79		
KAY 3	.81		
Deneyim (DEN)		.791	.931
DEN 1	.88		
DEN 2	.89		
DEN 3	.90		
Öz-Yeterlik (ÖY)		.636	.867
ÖY 1	.76		
ÖY 2	.79		
ÖY 3	.82		
Tutum (TUT)		.584	.846
TUT 1	.78		
TUT 2	.75		
TUT 3	.76		
Öznel Norm (ÖN)		.610	.816
ÖN 1	.80		
ÖN 2	.76		
Niyet (NİY)		.743	.911
NİY 1	.84		
NİY 2	.88		
NİY 3	.87		

Tablo 2.*Tanımlayıcı istatistikler ve ayırt edici geçerlilik*

Yapılar	Ort.	SS	α	AKK	AK	AH	KAY	DEN	ÖY	TUT	ÖN	NİY
1. AKK	3.15	.90	.87	.838								
2. AK	3.10	.85	.82	.62	.802							
3. AH	3.05	.88	.89	.58	.54	.900						
4. KAY	3.20	1.00	.81	.44	.42	.41	.791					
5. DEN	3.12	.95	.88	.31	.29	.35	.30	.889				
6. ÖY	3.10	.92	.84	.28	.26	.20	.22	.33	.798			
7. TUT	3.41	1.05	.80	.34	.32	.25	.53	.27	.30	.764		
8. ÖN	3.00	.90	.79	.26	.29	.31	.42	.45	.38	.52	.782	
9. NİY	3.25	.95	.83	.38	.35	.34	.25	.21	.41	.60	.55	.862

Not: AVE değerlerinin karekökleri kalın olarak vurgulanmıştır. Ort.: Ortalama, SS: Standart Sapma, α : Cronbach Alfa

2.5. Veri Toplama Araçları

Bu araştırma kapsamında, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma konularının öğretiminde sanal gerçeklik teknolojisini kullanma niyetlerini değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir ölçek geliştirilmiştir. Ölçek, çeşitli çalışmalardan elde edilen katkıları içeren yerleşik model ve çerçevelere dayalı olarak titizlikle tasarlanmıştır (Abdullah ve diğerleri, 2016; Ajzen, 2006; Davis, 1989; Lu ve diğerleri, 2009; Moon ve Kim, 2001; Nikou ve Economides, 2017; Salloum ve diğerleri, 2019; Taylor ve Todd, 1995; Zhai ve Ma, 2022).

Ölçek, iki ana bölümden oluşmaktadır: ilk bölümde demografik bilgiler toplanmış, ikinci bölüm ise GETAMEL yapısal bileşenlerine odaklanmıştır. Demografik bölümde katılımcıların cinsiyeti, yaşı, öğretim deneyimi, günlük teknoloji kullanımı, fen derslerinde teknoloji kullanımı ve sanal gerçeklik teknolojisine aşinalıkları hakkında veriler elde edilmiştir.

GETAMEL bölümü, Teknoloji Kabul Modeli'nden (TAM) türetilen temel yapılar ve çeşitli dışsal faktörler olmak üzere iki kategori halinde yapılandırılmıştır. Özellikle, TAM yapıları arasında Algılanan Kullanım Kolaylığı (üç madde), Algılanan Kullanışlılık (iki madde), Tutum (üç madde) ve Niyet (üç madde) yer almaktadır. Dışsal

faktörler ise Algılanan Hoşnutluk (üç madde), Kaygı (üç madde), Deneyim (üç madde), Öz-Yeterlik (üç madde) ve Özne Norm (iki madde) olarak belirlenmiştir. Toplamda, ölçek 25 maddeden oluşmakta ve "Kesinlikle Katılmıyorum" (1) ile "Kesinlikle Katılıyorum" (5) arasında değişen beşli Likert ölçeği kullanılarak değerlendirilmiştir.

Ölçek maddelerinin içerik geçerliliğini sağlamak için, Hinkin vd. (1997) tarafından önerilen titiz yönergeler izlenmiştir. Ölçek, fen eğitimi ve eğitim teknolojisi bölümlerinden öğretim üyeleri, alanda uzmanlaşmış lisansüstü öğrenciler ve ortaokullardan deneyimli fen bilgisi öğretmenlerinden oluşan üç uzman paneli tarafından eleştirel bir değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Uzmanlardan gelen geri bildirimler doğrultusunda, ölçeğin ilk versiyonu netlik ve uygunluk açısından revize edilmiştir.

Uzman değerlendirmesinin ardından, maddelerin anlaşılabilirliğini test etmek ve hedeflenen yapılarla uyumunu değerlendirmek amacıyla fen bilgisi öğretmen adaylarından oluşan bir örnekleme pilot bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Pilot çalışma sonuçlarına dayanarak gerekli düzeltmeler yapılmış ve böylece ölçeğin son hali oluşturulmuştur. Ölçeğin ayrıntıları Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3.*Araştırma değişkenleri ve maddeleri*

Değişkenler ve Maddeler	Kaynak
Algılanan Kullanım Kolaylığı	Davis (1989); Nikou ve Economides (2017)
Öğretim sürecinde sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımı kolaydır.	
Sanal gerçeklik teknolojisini öğretim sürecinde kullanma konusunda yetkinleşmek benim için kolaydır.	
Öğretim sürecinde sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımı açık ve anlaşılabilir.	
Algılanan Kullanışlılık	Davis (1989); Nikou ve Economides (2017)
Sanal gerçeklik teknolojisinin, öğretme sürecime katkı sağlayacağına inanıyorum.	
Sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımının, öğretme sürecimdeki öğrenme etkinliğimi artıracak kanaatindeyim.	
Algılanan Hoşnutluk	Lu ve diğerleri (2009); Moon ve Kim (2001)
Sanal gerçeklik teknolojisi ile öğretme sürecinin keyifli olacağını düşünüyorum.	
Sanal gerçeklik teknolojisi ile öğretme ortamının eğlenceli olacağına inanıyorum.	
Sanal gerçeklik teknolojisi ile öğretme sürecinde daha motive olacağımı düşünüyorum.	
Kaygı	Zhai ve Ma (2022)
Öğretme sürecinde sanal gerçeklik teknolojisini kullanma konusunda endişeliyim.	
Öğretme sürecinde sanal gerçeklik teknolojisini kullanırken telafisi mümkün olmayan hatalar yapma düşüncesi beni tedirgin etmektedir.	
Öğretme sürecinde sanal gerçeklik teknolojisini kullanma ihtimali bana biraz korkutucu gelmektedir.	
Deneyim	Abdullah ve diğerleri (2016)
Çalışmalarında sanal gerçeklik teknolojisini kullanmak öğretme deneyimimi geliştirecektir.	
Sanal gerçeklik teknolojisini öğretim sürecime dahil ederken kendimi rahat hissedeceğime inanıyorum.	
Sanal gerçeklik teknolojisini öğretme amacıyla verimli bir şekilde kullanabileceğimi düşünüyorum.	
Öz-Yeterlik	Salloum ve diğerleri (2019)
Dışarıdan yardım almaksızın sanal gerçeklik teknolojisini kullanabilme yetkinliğime olan güvenim tamdır.	
Öğretme sürecime sanal gerçeklik teknolojisini etkin bir biçimde entegre etme noktasında gereken yetkinliklere sahibim.	

Çalışmalarında sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımı konusunda kendime olan güvenim tamdır.

Tutum	Lu ve diğerleri (2009); Taylor ve Todd (1995)
Sanal gerçeklik teknolojisinin öğretim sürecime entegrasyonunun yararlı olacağı kanaatindeyim.	
Öğretme faaliyetlerimde sanal gerçeklik teknolojisini kullanmaktan memnuniyet duyuyorum.	
Çalışmalarında sanal gerçeklik teknolojisini kullanmak bana güzel bir deneyim sağlamaktadır.	
Öznel Norm	Ajzen (2006); Lu ve diğerleri (2009); Taylor ve Todd (1995)
Düşüncelerine önem verdiğim insanlar öğretim sürecimde sanal gerçeklik teknolojisinden yararlanmam konusunda tavsiyelerde bulunmaktadırlar.	
Görüşlerine saygı duyduğum insanlar, çalışmalarında sanal gerçeklik teknolojisini kullanımım konusunda bana destek vermektedirler.	
Niyet	Ajzen (2006); Davis (1989); Nikou ve Economides (2017)
Gelecekte öğretim sürecinde sanal gerçeklik teknolojisine yönelik kullanımımı sürdürmeyi düşünüyorum.	
Öğretim amaçlı sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımını gelecekte artırmayı planlıyorum.	
Gelecekte, öğretim sürecinde sanal gerçeklik teknolojisi kullanarak yeni yöntemler keşfetmeye açık olduğumu belirtmek isterim.	

3. Bulgular

3.1. Model Uyumunun Karşılaştırmalı Analizi

Bu çalışmada, hipotez testleri Maksimum Olabilirlik Tahmin yöntemi kullanılarak Yapısal Eşitlik Modellemesi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Model uyum indekslerinin analizi, GETAMEL'in fen bilgisi öğretmen adaylarından toplanan verilerle tatmin edici bir uyum sağladığını ortaya koymuştur. Bu model, öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma kavramlarını öğretmede sanal gerçeklik teknolojisini kullanma niyetlerini araştırmak için seçilmiştir. Sonuçlar, GETAMEL modelinin güçlü bir uyum gösterdiğini ve fen bilgisi öğretmen adaylarının davranışsal niyetleri için öngörü gücünü artırdığını göstermiştir.

Özellikle, sanal gerçeklik teknolojisini kullanma niyetine ilişkin çoklu kareler korelasyon (R^2) değeri 0.54 olarak bulunmuş, bu da niyet değişkenindeki varyansın %54'ünün modeldeki yapılar tarafından açıklandığını göstermektedir. Bu durum, GETAMEL çerçevesinin, öğretmen adaylarının öğretim uygulamalarında sanal gerçekliği benimsemeye yönelik hazırbulunuşluklarını anlamak için sağlam bir temel sunduğunu önermektedir.

Kapsamlı bir değerlendirme sağlamak için birden fazla uyum iyiliği indeksi dikkate alınmıştır. Uyum indeksleri, model ile toplanan veriler arasında yüksek derecede bir uyumluluk olduğunu göstermiştir; önemli değerler arasında $\chi^2 = 760.15$, $df = 285$, $p < 0.01$, $\chi^2/df = 2.67$, GFI = 0.94, TLI = 0.93, CFI = 0.95, RMSEA = 0.05 ve SRMR = 0.04 yer almaktadır. Bu uyum istatistikleri kabul edilebilir eşik değerlerini karşılamakta olup, GETAMEL modelinin fen bilgisi öğretmen adaylarının davranışsal niyetlerini açıklamada uygunluğunu pekiştirmektedir.

3.2. Hipotez Testleri

Yapısal modelin değerlendirilmesi için Maksimum Olabilirlik Tahmin yöntemi uygulanmıştır. Bulgular, öznel norm ($\beta = 0.42$, $t = 6.85$), deneyim ($\beta = 0.30$, $t = 5.75$), algılanan hoşnutluk ($\beta = 0.38$, $t = 7.15$), kaygı ($\beta = 0.41$, $t = 8.25$) ve öz-yeterliğin ($\beta = 0.33$, $t = 6.20$) her birinin algılanan fayda üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiş ve bu yapıdaki varyansın yaklaşık %39'unu açıklamıştır. Bu sonuçlar, H1, H3, H5, H7 ve H9 hipotezlerini doğrulamaktadır.

Ayrıca, öznel norm ($\beta = 0.48$, $t = 8.95$), deneyim ($\beta = 0.39$, $t = 7.10$), algılanan hoşnutluk ($\beta = 0.47$, $t = 9.20$), kaygı ($\beta = 0.32$, $t = 6.25$) ve öz-yeterlik ($\beta = 0.37$, $t = 6.90$) algılanan kullanım

kolaylığını önemli ölçüde etkilemiş ve bu yapının varyansının yaklaşık %43'ünü açıklamıştır. Bu bulgular, H2, H4, H6, H8 ve H10 hipotezlerini teyit etmektedir.

GETAMEL temel yapıları üzerinde yoğunlaşarak, sonuçlar algılanan kullanım kolaylığının algılanan fayda ($\beta = 0.28$, $t = 5.55$) ve sürdürülebilir kalkınmanın öğretiminde sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımına yönelik tutumlar ($\beta = 0.40$, $t = 7.40$) üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir; böylece H11 ve H12 hipotezleri desteklenmiştir.

Ek olarak, analiz algılanan faydanın tutum ($\beta = 0.52$, $t = 9.85$) ve eğitimde sanal gerçeklik kullanım niyeti ($\beta = 0.45$, $t = 8.45$) ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu ortaya koymuş

ve H13 ve H14 hipotezleri için kanıt sağlamıştır. Algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda birlikte, sanal gerçeklik kullanımına yönelik tutumlarda gözlenen varyansın %47'sini açıklamıştır. Ayrıca, tutum ile sürdürülebilir kalkınmanın öğretiminde sanal gerçeklik kullanma niyeti arasında anlamlı bir ilişki bulunmuş ($\beta = 0.51$, $t = 9.95$) ve H15 hipotezi desteklenmiştir. Model, algılanan fayda ve tutumun etkisiyle sanal gerçeklik teknolojisinin kullanma niyetindeki varyansın yaklaşık %53'ünü açıklamıştır.

Bu bulgular, değişkenler arasındaki ilişkileri ve bunların davranışsal niyet üzerindeki etkilerini özetleyerek Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4.

GETAMEL modeline ilişkin YEM sonuçları

Hipotez Numarası	İlişkiler	Standartlaştırılmış Katsayılar (β)	t-değeri	Hipotez Durumu
H1	ÖN → AK	.42**	6.85	Desteklendi
H2	ÖN → AKK	.48**	8.95	Desteklendi
H3	DEN → AK	.30*	5.75	Desteklendi
H4	DEN → AKK	.39**	7.10	Desteklendi
H5	AH → AK	.38*	7.15	Desteklendi
H6	AH → AKK	.47**	9.20	Desteklendi
H7	KAY → AK	.41**	8.25	Desteklendi
H8	KAY → AKK	.32*	6.25	Desteklendi
H9	ÖY → AK	.33*	6.20	Desteklendi
H10	ÖY → AKK	.37**	6.90	Desteklendi
H11	AKK → AK	.28*	5.55	Desteklendi
H12	AKK → TUT	.40**	7.40	Desteklendi
H13	AK → TUT	.52**	9.85	Desteklendi
H14	AK → NİY	.45**	8.45	Desteklendi
H15	TUT → NİY	.51**	9.95	Desteklendi

Not: * $p < 0.001$, ** $p < 0.0001$, ÖN: Öznel Norm, DEN: Deneyim, AH: Algılanan Hoşnutluk, KAY: Kaygı, ÖY: Öz-Yeterlik, AKK: Algılanan Kullanım Kolaylığı, AK: Algılanan Kullanışlılık (Algılanan Fayda), TUT: Tutum, NİY: Niyet

4. Tartışma

Bu çalışma, GETAMEL'i kullanarak, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma konularının öğretiminde sanal gerçeklik teknolojisinin entegre etme niyetlerinin belirleyicilerini araştırmıştır. Sonuçlar, öğretmen adayları arasında teknoloji kabulünü etkileyen faktörlere ilişkin önemli bulgular sunmuştur.

Öncelikle, öznel normlar, deneyim, algılanan hoşnutluk, kaygı ve öz-yeterlik, sanal gerçeklik teknolojisinin hem algılanan faydası hem de algılanan kullanım kolaylığı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Öznel normlar, önemli bir yordayıcı olarak ortaya çıkmış ve akranların ile mentorların görüş ve beklentilerinin,

öğretmenlerin yeni teknolojilere yönelik algılarını şekillendirmede kritik bir rol oynadığını göstermiştir. Deneyim ve algılanan hoşnutluk da anlamlı olumlu etkiler göstermiş; bu durum, aşinalık ve zevkin, sanal gerçeklik araçlarının öğretim amaçlı kabulünde hayati bileşenler olduğunu ortaya koymuştur.

Kaygı, algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmuş; bu da daha yüksek kaygı düzeylerine sahip öğretmen adaylarının, sanal gerçeklik teknolojisinin faydalı veya uygulanması kolay olarak görme eğilimlerinin daha düşük olduğunu vurgulamıştır. Bu bulgu, yenilikçi öğretim teknolojilerinin benimsenmesini engelleyebilecek duygusal engellere dikkat çekmektedir.

GETAMEL modelinin temel yapıları bağlamında, algılanan kullanım kolaylığının, algılanan fayda ve sanal gerçekliğe yönelik tutumlar üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu bulunmuş; bu da teknoloji kabul modeli temel ilkeleriyle uyumludur. Öğretmenler, sanal gerçekliği kullanımı kolay olarak algıladıklarında, onun faydasını görme ve öğretim uygulamalarına entegrasyonu konusunda olumlu tutumlar geliştirme olasılıkları artmaktadır. Algılanan fayda, hem tutumları hem de sanal gerçekliği öğretimde kullanma niyetini doğrudan etkilemiş ve böylece teknoloji benimsemenin önemli bir belirleyicisi olarak rolünü teyit etmiştir.

Ayrıca, sanal gerçeklik kullanımına yönelik tutumların, teknolojiyi kullanma niyetinin güçlü bir yordayıcısı olduğu belirlenmiş; bu da olumlu tutumların, öğretmen adaylarını öğretim uygulamalarında sanal gerçekliği benimsemeye motive etmek için temel olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın bulguları, eğitim bağlamlarında teknoloji kabulünü anlamaya yönelik önemli kuramsal çıkarımlar sunmaktadır; özellikle, fen bilgisi öğretmen adayları arasında sürdürülebilir kalkınma eğitimi için sanal gerçeklik kullanımına ilişkin. Çalışma, GETAMEL modelinin uygulama alanını genişletmekte ve sanal gerçekliğin eğitim ortamlarında benimsenmesini açıklamada modelin geçerliliğini destekleyen ampirik kanıtlar sağlamaktadır.

Öncelikle, öznel normların hem algılanan fayda hem de algılanan kullanım kolaylığı üzerindeki etkisi, teknoloji benimsemede sosyal etkinin rolünü vurgulayan önceki çalışmaların bulgularıyla uyumludur (Ateş ve diğerleri, 2024; Zhang ve Yang, 2024). Mevcut sonuçlar, öğretmen adayları için sosyal beklentilerin ve akranlar veya mentörlerden alınan desteğin kritik faktörler olduğunu doğrulamaktadır; bu da sosyal etkinin, sanal gerçeklik gibi yenilikçi öğretim teknolojilerini benimseme istekliliklerinin temel bir belirleyicisi olduğunu göstermektedir. Bu durum, öğretmen eğitimi programlarına işbirlikçi ve destekleyici ortamların entegre edilmesinin, yeni eğitim teknolojilerinin benimsenmesini kolaylaştırabileceğini ima etmektedir.

Algılanan hoşnutsuzluk ve deneyimin, algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığı üzerindeki etkisi de teknoloji benimsemeye ilişkin önceki araştırmalarla örtüşmektedir (Alvarez ve diğerleri, 2024). Bu çalışmalara tutarlı bir şekilde, bulgularımız öğretmen adaylarının sanal gerçeklik kullanımını zevkli bulduklarında ve önceki deneyimlere sahip olduklarında, teknolojiyi daha faydalı ve kullanımı kolay olarak algılama olasılıklarının arttığını göstermektedir. Bu durum, içsel motivasyon ve aşinalığın, yeni ortaya çıkan eğitim araçlarının kabulünde önemli bir rol oynadığını vurgulayan kuramsal perspektifi güçlendirmekte ve zevkin sadece bir yan ürün değil, teknoloji benimsemede önemli bir motivasyon kaynağı olduğunu önermektedir.

Ayrıca, kaygı ile algılanan kullanım kolaylığı arasındaki olumsuz ilişki, daha yüksek kaygı düzeylerinin teknoloji kabulüne engel teşkil edebileceğini belirten literatürle uyumludur (Saif ve diğerleri, 2024). Bu bulgu, teknoloji benimseme modellerinde duygusal faktörlerin kuramsal anlaşılmasını genişletmekte ve öğretmenlerin kaygılarının ele alınmasının, teknolojinin kullanılabilirliğine ilişkin olumlu algıların geliştirilmesi için gerekliliğini vurgulamaktadır. Etkili eğitim müdahalelerinin kaygıyı azaltarak algılanan kullanım kolaylığını artırabileceği ve dolayısıyla benimseme oranını yükseltebileceği çıkarımını yapmaktadır.

Çalışma ayrıca, teknoloji kabul modelinin kuramsal temelini, algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan faydanın tutumları ve davranışsal niyetleri şekillendirmedeki merkezi rolünü yeniden teyit ederek zenginleştirmektedir (Davis, 1989). Önceki çalışmalara benzer şekilde, algılanan kullanım kolaylığının algılanan faydayı olumlu yönde etkilediği bulunmuş; bu da kullanıcı dostu teknolojinin daha avantajlı olarak görülme olasılığını desteklemektedir (Liesa-Orús ve diğerleri, 2023). Bu kuramsal çıkarım, sanal gerçeklik teknolojisinin algılanan basitliğinin, teknolojinin tasarımında ve öğretmen eğitimi programlarında eğitsel entegrasyonunu teşvik etmek için odak noktası olması gerektiğini önermektedir.

Son olarak, sanal gerçeklik kullanımına yönelik tutumlar, niyetin güçlü bir yordayıcısı olarak bulunmuş ve Ajzen'in (1991) Planlanmış Davranış Teorisi'nin bulgularıyla uyumludur. Tutum ile niyet arasındaki güçlü ilişki, destekleyici eğitim ortamları ve olumlu kullanıcı deneyimleri aracılığıyla sanal gerçekliğe yönelik olumlu tutumların geliştirilmesinin, öğretmen adaylarını öğretim uygulamalarında sanal gerçekliği benimsemeye motive etmek için gerekli olduğunu ima etmektedir. Bu durum, olumlu tutumların algılanan fayda ve kullanım kolaylığını gerçek davranışsal niyetlere dönüştürmede kritik olduğunu savunan kuramsal önermeyi desteklemektedir.

Özetle, bu çalışmanın kuramsal çıkarımları, teknoloji kabulünde bilişsel, duygusal ve sosyal faktörlerin önemini vurgulamaktadır. Bulgularımızın mevcut literatürle uyumu, GETAMEL modelinin eğitim teknolojisi bağlamlarındaki uygulanabilirliğini doğrulamakta ve sanal gerçekliğin öğretmen eğitim programlarına etkili bir şekilde nasıl entegre edilebileceğine dair kuramsal katkılarını genişletmektedir. Bu içgörüler, teknoloji benimseme teorileri üzerine mevcut bilgi birikimini zenginleştirmenin yanı sıra, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma öğretiminde sanal gerçekliği benimseme niyetlerini etkileyen dinamiklere ilişkin ayrıntılı bir anlayış sunmaktadır.

Bu çalışmanın bulguları, özellikle fen bilgisi öğretmen adayları arasında, eğitim ortamlarında sanal gerçeklik teknolojisinin benimsenmesini artırmaya yönelik çeşitli pratik çıkarımlara sahiptir. Bu çıkarımlar, sanal gerçekliğin sürdürülebilir kalkınma kavramlarının öğretiminde etkili

bir şekilde entegrasyonunu kolaylaştırmak için öğretmen eğitimi programlarını, politika oluşturmayı ve müfredat tasarımını bilgilendirebilir.

Öncelikle, öznel normların önemli rolü, sanal gerçekliğin benimsenmesinde sosyal desteğin önemini göstermektedir. Eğitim kurumları, öğretmen adaylarının akranlarından ve yöneticilerinden teşvik aldığı destekleyici bir kültür geliştirmelidir. İşbirlikçi öğrenme topluluklarını teşvik ederek öğretmen eğitimi programları sanal gerçeklik kullanımının normalleştirildiği ve desteklendiği ortamlar yaratabilir, böylece öğretmenlerin bu teknolojiyi uygulama konusundaki güvenlerini ve istekliliklerini artırabilir.

Deneyim ve algılanan hoşnutluğun algılanan fayda ve kullanım kolaylığı üzerindeki olumlu etkisi, sanal gerçeklik teknolojisiyle uygulamalı deneyim sağlamanın kritik olduğunu göstermektedir. Öğretmen eğitimi programları, öğretmen adaylarının düşük baskı ortamlarında sanal gerçeklik araçlarıyla etkileşime girmelerine olanak tanıyan pratik atölye çalışmaları ve deneyimsel öğrenme etkinliklerini içermelidir. Bu tür deneyimler, onların sanal gerçeklik ile aşinalık ve olumlu ilişkiler geliştirmelerine yardımcı olabilir; bu da teknoloji kabulünün anahtarıdır.

Kaygının azaltılması bir diğer önemli pratik çıkarımdır. Kaygının hem algılanan fayda hem de kullanım kolaylığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu bulunduğundan, öğretmenlerin sanal gerçeklik kullanımı konusundaki endişelerini hafifletmek için hedefli eğitim ve sürekli destek sağlamak esastır. Bu, rehberli uygulama oturumları sunmayı, sorun giderme kaynakları sağlamayı ve teknik desteğe erişimi garanti etmeyi içerebilir. Bu duygusal engellerin aşılması, öğretmenlerin derslerine sanal gerçekliği entegre etme konusunda daha rahat ve yetkin hissetmelerine yardımcı olabilir.

Bulgular ayrıca, kullanıcı dostu sanal gerçeklik teknolojilerinin tasarımının önemini vurgulamaktadır. Eğitim amaçlı sanal gerçeklik araçlarının geliştiricileri, sezgisel arayüzleri önceliklendirmeli ve öğretmenlerin ihtiyaç ve beklentileriyle uyumlu içerikler oluşturmalıdır. Sanal gerçeklik teknolojisi kullanımı kolay olarak algılandığında, öğretmenlerin onun eğitsel değerini görme ve sınıflarında benimseme olasılığı daha yüksektir.

Son olarak, tutum ile niyet arasındaki güçlü ilişki, sanal gerçekliğe yönelik olumlu tutumları geliştirmeye odaklanan eğitim programlarına duyulan ihtiyacı pekiştirmektedir. Bu, sanal gerçekliğin pedagojik faydalarını göstererek, başarı hikayelerini paylaşarak ve sanal gerçekliğin öğrenci katılımını ve öğrenme çıktıları üzerindeki olumlu etkisini sergileyerek başarılabılır. Sanal gerçekliğin pratik avantajlarını vurgulayarak, eğitimcilerin daha olumlu tutumlar geliştirmeleri ve bu da öğretimlerinde teknolojiyi kullanma niyetlerini artırmaları daha olasıdır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın pratik çıkarımları, sosyal destek, deneyimsel öğrenme, duygusal destek, kullanıcı

dostu teknoloji tasarımı ve tutum geliştirmeyi kapsayan çok yönlü bir yaklaşımın; fen bilgisi öğretmen adayları arasında sanal gerçeklik teknolojisinin benimsenmesini teşvik etmek için gerekli olduğunu göstermektedir. Bu stratejiler, sanal gerçekliğin sürdürülebilir kalkınmanın öğretiminde etkili bir şekilde entegre edildiği ve nihayetinde hem öğretmen hem de öğrenci öğrenme deneyimlerini geliştiren bir eğitim ortamı yaratmaya yardımcı olabilir.

Bu çalışmanın sağladığı değerli içgörülere rağmen, gelecekteki araştırmalara kapı aralayacak birkaç sınırlılığın not edilmesi gerekmektedir. İlk olarak, çalışmanın kesitsel deseni, değişkenler arasındaki nedenselliği belirleme yeteneğini kısıtlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, öğretmen adaylarının sanal gerçeklik teknolojisiyle daha fazla deneyim kazandıkça tutum ve niyetlerindeki değişimleri daha iyi anlamak için boylamsal bir desen kullanılabilir.

Bir diğer sınırlılık, örneklemin yalnızca fen bilgisi öğretmen adaylarından oluşmasıdır. Bu durum, bulguların diğer öğretim bağlamlarına veya disiplinlere genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Gelecek araştırmalar, sonuçların eğitim ortamları genelinde uygulanabilirliğini artırmak amacıyla, hizmet içi öğretmenler veya farklı branşlardan öğretmenler gibi daha çeşitli bir örneklem içerebilir.

Çalışma ayrıca, teknoloji kabulünün diğer potansiyel modelleriyle karşılaştırma yapmaksızın sadece GETAMEL modeline odaklanmıştır. Gelecek araştırmalarda, UTAUT veya TAM gibi farklı modellerin karşılaştırmalı bir analizi yapılarak, sanal gerçeklik teknolojisinin eğitim ortamlarında benimsenmesini en iyi açıklayan çerçevenin hangisi olduğunun belirlenmesi sağlanabilir.

Ek olarak, veriler öz-bildirimli ölçekler aracılığıyla toplanmış olup, sosyal beğenilirlik veya yanlış öz-değerlendirme gibi yanlılıklara yol açabilir. Gelecek araştırmalar, sanal gerçeklik benimsemesini etkileyen faktörlere daha nüanslı bir anlayış kazandırmak için nitel ve nicel verileri birleştiren karma yöntem yaklaşımlarını kullanabilir. Gözlemsel çalışmalar veya mülakatlar, öğretmenlerin sanal gerçeklik kullanırken algıladıkları pratik zorluklar ve faydalar hakkında daha derinlemesine içgörüler sağlayabilir.

Son olarak, bu çalışma, sanal gerçeklik teknolojisinin kabulü üzerinde kaynaklara erişim veya kurumsal destek gibi bağlamsal faktörlerin potansiyel etkisini incelememiştir. Gelecek araştırmalar, bu dışsal faktörlerin öğretmenlerin niyet ve tutumlarını nasıl etkilediğini inceleyerek, başarılı teknoloji entegrasyonu için gerekli koşulların daha kapsamlı bir resmini sunabilir.

Bu çalışma, fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma konularının öğretiminde sanal gerçeklik teknolojisini entegre etme niyetlerini etkileyen faktörlere dair değerli içgörüler sunmuştur. GETAMEL kullanarak, bilişsel, duygusal ve sosyal faktörlerin birleşiminin sanal

gerçeklik teknolojisinin kabulünü önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir.

Öznel normlar, deneyim, algılanan hoşnutluk, öz-yeterlik ve kaygı, hem algılanan fayda hem de algılanan kullanım kolaylığının şekillendirilmesinde kritik roller oynamıştır. Bu algılar, sanal gerçekliğin öğretimde kullanımına yönelik tutum ve niyetleri etkilemiştir. Bulgular, destekleyici sosyal ortamların oluşturulmasının, uygulamalı deneyimlerin sağlanmasının, kaygının azaltılmasının ve olumlu tutumların geliştirilmesinin, eğitimde sanal gerçekliğin benimsenmesini teşvik etmek için temel stratejiler olduğunu önermektedir.

Çalışmanın kuramsal çıkarımları, GETAMEL modelinin eğitimciler arasında teknoloji kabulünü anlamada uygulanabilirliğini pekiştirirken pratik çıkarımlar, benimseme konusundaki duygusal ve bilişsel engelleri ele almak için hedefli müdahalelerin önemini vurgulamaktadır. Gelecek araştırmaların, burada sunulan bulguları geliştirmek amacıyla boylamsal yaklaşımları, çeşitli örneklemeleri ve karma yöntemleri dikkate alması önerilmektedir.

Genel olarak, sanal gerçeklik teknolojisinin eğitim ortamlarına entegrasyonu, özellikle sürdürülebilir kalkınma eğitimi bağlamında, hem öğretim hem de öğrenme deneyimlerini geliştirme potansiyeline sahiptir. Teknoloji benimsenmesini etkileyen faktörleri anlayarak ve ele alarak, eğitim paydaşları öğretmen adaylarını sanal gerçeklik gibi yenilikçi araçların tam potansiyelini kullanmaları için daha iyi donatabilir; bu da nihayetinde daha ilgi çekici ve etkili bir fen eğitimine katkıda bulunacaktır.

Yazar Notu : Bu çalışma ikinci yazarın danışmanlığında birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

Yazar Katkıları : Giriş: Birinci yazar, İkinci yazar. Yöntem: Birinci yazar. Bulgular: Birinci yazar, İkinci yazar. Sonuç: Birinci yazar, İkinci yazar. Düzenleme ve Nihai Gözden Geçirme: İkinci yazar.

Finansman : Çalışmamızda finansal bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması : Çalışmamızda potansiyel herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Veri Erişilebilirliği : Yazarlardan talep edilmesi durumunda paylaşılabılır.

Kaynakça

- Abd-Elaty, I., Kuriqi, A. & Shahawy, A. E. (2022). Environmental rethinking of wastewater drains to manage environmental pollution and alleviate water scarcity. *Natural Hazards*, 110(3), 2353-2380.
- Abdullah, F. & Ward, R. (2016). Developing a general extended technology acceptance model for E-Learning (GETAMEL) by analysing commonly used external factors. *Computers in Human Behavior*, 56, 238–256.
- Abdullah, F., Ward, R., & Ahmed, E. (2016). Investigating the influence of the most commonly used external variables of TAM on students' Perceived Ease of Use (PEOU) and Perceived Usefulness (PU) of e-portfolios. *Computers in Human Behavior*, 63, 75-90.
- Agarwal, R. & Karahanna, E. (2000). Time flies when you're having fun: Cognitive absorption and beliefs about information technology usage. *MIS Quarterly*, 24(4) 665–694.
- Ahmad, M., Muslija, A., & Satrovic, E. (2021). Does economic prosperity lead to environmental sustainability in developing economies? Environmental Kuznets curve theory. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 22588-22601. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12276-9>
- Ajzen, I. (1991). The Theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Alvarez, L., Ortoleva, G., Widmer, D. S., Fritz, M., Bugmann, J., Boéchat-Heer, S. & Ramillon, C. (2024). Future teachers' beliefs about generative AI. Assessing technology acceptance as students or as aspiring professionals. *Journal of Technology and Teacher Education*, 32(3), 383-408.
- Araiza-Alba, P., Keane, T. & Kaufman, J. (2022). Are we ready for virtual reality in K–12 classrooms?. *Technology, Pedagogy, and Education*, 31(4), 471-491. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2022.2033307>
- Ardoin, N. M., Bowers, A. W. & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224.
- Ateş, H. (2020). Merging theory of planned behavior and value identity personal norm model to explain pro-environmental behaviors. *Sustainable Production, and Consumption*, 24, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.006>
- Ateş, H. (2021). Understanding students' and science educators' eco-labeled food purchase behaviors: Extension of the theory of planned behavior with self-identity, personal norm, willingness to pay and eco-label knowledge. *Ecology of Food and Nutrition*, 60(4), 454-472. <https://doi.org/10.1080/03670244.2020.1865339>
- Ateş, H. & Garzón, J. (2022). Drivers of teachers' intentions to use mobile applications to teach science. *Education and Information Technologies*, 27, 2521-2542.
- Ateş, H. & Garzón, J. (2023). An integrated model for examining teachers' intentions to use augmented reality in science courses. *Education and Information Technologies*, 28(2), 1299-1321.
- Ateş, H. & Kölemen, C. Ş. (2025). Integrating theories for insight: an amalgamated model for gamified virtual reality adoption by science teachers. *Education and Information Technologies*, 30, 2123–2153.
- Ateş, H., Garzón, J. & Lampropoulos, G. (2024). Evaluating science teachers' flipped learning readiness: a GETAMEL approach test. *Interactive Learning Environments*, 32(10), 6283–6300.
- Ateş, H., & Gündüzalp, C. (2025). The convergence of GETAMEL and protection motivation theory: A study on augmented reality-based gamification adoption among science teachers. *Education and Information Technologies*, 1-43.
- Azadi, Y., Yazdanpanah, M. & Mahmoudi, H. (2019). Understanding smallholder farmers' adaptation behaviors through climate change beliefs, risk perception, trust, and psychological distance: Evidence from wheat growers in Iran. *Journal of Environmental Management*, 250, 1-25.
- Bandura, A. (1982). Self-Efficacy mechanism in human agency. *American Psychologist*, 37(2), 122–147.
- Birleşmiş Milletler (2024). Around 2.5 billion more people will be living in cities by 2050, projects new UN report. <https://www.un.org/en/desa/around-25-billion-more-people-will-be-living-cities-2050-projects-new-un-report>
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı. (2007). UNEP 2007 yıllık rapor (Yayın No. 2007). <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7647>
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (2012). Environmental education for behaviour change: Which actions should be targeted?. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1591-1614. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.584079>
- Casas Jr, E. V., Pormon, M. M., Manus, J. J. & Lejano, R. P. (2021). Relationality and resilience: Environmental education in a time of pandemic and climate crisis. *The Journal of Environmental Education*, 52(5), 314-324.
- Chen, Y. L. (2016). The effects of virtual reality learning environment on student cognitive and linguistic development. *Asia-Pacific Education Researcher*, 25(4), 637-646.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3) 319–340.
- Doleck, T., Bazelais, P. & Lemay, D. J. (2018). Is a general extended technology acceptance model for e-learning generalizable? *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, 10(2), 133–147.
- Dowd, K. & Burke, K. J. (2013). The influence of ethical values and food choice motivations on intentions to purchase sustainably sourced foods. *Appetite*, 69, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.05.024>
- Durodolu, O. (2016). *Technology acceptance model as a predictor of using information system to acquire information literacy skills*. Library Philosophy & Practice.

- Edgerton, E., Romice, O. & Spencer, C. (2021). *Environmental psychology: Putting research into practice*. Cambridge Scholars Publishing.
- Eurostat. (2014). *Final energy consumption by sector*. Eurostat - European Commission. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-5/assessment>
- Fan, S., Zhang, Y., Fan, J., He, Z. & Chen, Y. (2010, 23-25 Nisan). *The application of virtual reality in environmental education: model design and course construction*. [Bildiri sunumu]. 2010 International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science, Wuhan, Çin.
- Feroz, A. K., Zo, H. & Chiravuri, A. (2021). Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda. *Sustainability*, 13(3), 1-20.
- Fraser, R. & Jamieson, G. (2003). Community environmental education: challenges within the biosphere reserve concept. *Prospects*, 33(3), 293-302.
- Freina, L. & Ott, M. (2015, 23-24 Nisan). *A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives*. [Bildiri sunumu]. The 11th International Scientific Conference e-Learning and Software for Education, Bükreş, Romanya.
- Hanif, A., Jamal, F. Q. & Imran, M. (2018). Extending the technology acceptance model for use of E-learning systems by digital learners. *IEEE Access*, 6, 73395-73404.
- Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (2021). *Climate Change 2021 The physical science basis working group i contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Singer
- Issock, P. B. I., Mpiganjira, M. & Roberts-Lombard, M. (2021). Trying to recycle domestic waste and feelings of guilt: a moderated mediation model applied to South African households. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.003>
- Ke, F., Lee, S. & Xu, X. (2016). Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment. *Computers in Human Behavior*, 62, 212-220.
- Kemp, A., Palmer, E. & Strelan, P. (2019). A taxonomy of factors affecting attitudes towards educational technologies for use with technology acceptance models. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2394-2413.
- Kim, J., Kim, K. & Kim, W. (2022). Impact of Immersive Virtual Reality Content Using 360-degree Videos in Undergraduate Education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(1), 137-149. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3157250>
- Kirikaleli, D. & Adebayo, T. S. (2021). Do renewable energy consumption and financial development matter for environmental sustainability? New global evidence. *Sustainable Development*, 29(4), 583-594.
- Koutsoukos, M., Fragoulis, I. & Valkanos, E. (2015). Connection of environmental education with application of experiential teaching methods: a case study from Greece. *International Education Studies*, 8(4), 23-28. <http://dx.doi.org/10.5539/ies.v8n4p23>
- Lacroix, K., Gifford, R. & Rush, J. (2020). Climate change beliefs shape the interpretation of forest fire events. *Climatic Change*, 159(1), 103-120. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02584-6>
- Lange, F. & Dewitte, S. (2019). Measuring pro-environmental behavior: Review and recommendations. *Journal of Environmental Psychology*, 63, 92-100.
- Lehman, P. K., & Geller, E. S. (2004). Behavior analysis and environmental protection: Accomplishments and potential for more. *Behavior and Social Issues*, 13(1), 13-33.
- Liesa-Orús, M., Latorre-Coscolluela, C., Sierra-Sánchez, V. & Vázquez-Toledo, S. (2023). Links between ease of use, perceived usefulness and attitudes towards technology in older people in university: A structural equation modelling approach. *Education and Information Technologies*, 28(3), 2419-2436.
- Littledyke, M., Lakin, L. & Ross, K. (2013). *Science knowledge and the environment: A guide for students and teachers in primary education*. Routledge.
- Markowitz, D. M., Laha, R., Perone, B. P., Pea, R. D. & Bailenson, J. N. (2018). Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change. *Frontiers in Psychology*, 9, 2364. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364>
- Ngo, C. C., Poortvliet, P. M. & Feindt, P. H. (2020). Drivers of flood and climate change risk perceptions and intention to adapt: an explorative survey in coastal and delta Vietnam. *Journal of Risk Research*, 23(4), 424-446. <https://doi.org/10.1080/13669877.2019.1591484>
- Nielsen, K. S., Cologna, V., Lange, F., Brick, C. & Stern, P. C. (2021). The case for impact-focused environmental psychology. *Journal of Environmental Psychology*, 74. <https://osf.io/preprints/psyarxiv/w39c5>
- Norton, T. A., Parker, S. L., Zacher, H., & Ashkanasy, N. M. (2015). Employee green behavior: A theoretical framework, multilevel review, and future research agenda. *Organization & Environment*, 28(1), 103-125.
- Persky, S., & McBride, C. M. (2009). Immersive virtual environment technology: A promising tool for future social and behavioral genomics research and practice. *Health Communication*, 24(8), 677-682.
- Revythi, A. & Tselios, N. (2019). Extension of technology acceptance model by using system usability scale to assess behavioral intention to use e-learning. *Education and Information Technologies*, 24, 2341-2355.
- Ricart, S., Villar-Navascués, R. A., Hernández-Hernández, M., Rico-Amorós, A. M., Olcina-Cantos, J. & Moltó-Mantero, E. (2021). Extending natural limits to address water scarcity? The role of non-conventional water fluxes in climate change adaptation capacity: A review. *Sustainability*, 13(5), 2473.
- Ronaghi, M. H. (2023). The effect of virtual reality technology and education on sustainable behavior: A comparative quasi-experimental study. *Interactive Technology and Smart Education*, 20(4), 475-492.

- Saif, N., Khan, S. U., Shaheen, I., ALotaibi, F. A., Alnfai, M. M. & Arif, M. (2024). Chat-GPT; validating Technology Acceptance Model (TAM) in education sector via ubiquitous learning mechanism. *Computers in Human Behavior*, 154, 108097.
- Sancar, R., Atal Demirbacak, D. ve Ateş, H. (2022). *Sürdürülebilir çevre eğitiminde sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımı*. A. Şimşek ve S. Fiş Erümit (Ed.), *Pedagojiden uygulamaya yansımalar: teknolojinin öğretim ortamlarında kullanımı* (1. baskı, s. 199-222). Pegem Akademi.
- Sancar, R., Atal Demirbacak, D. & Ateş, H. (2023). Designing context-rich learning by extending reality. In J. Braun & G. Trajkovski (Ed.), *The use of virtual reality in education for sustainable development* (pp. 298-318). IGI Global.
- Savari, M., Zhoolideh, M. & Khosravipour, B. (2023). Explaining pro-environmental behavior of farmers: A case of rural Iran. *Current Psychology*, 42, 7752-7770. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02093-9>
- Scurati, G. W. & Ferrise, F. (2020). Looking into a future which hopefully will not become reality: How computer graphics can impact our behavior-A study of the potential of VR. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 40(5), 82-88. <https://doi.org/10.1109/MCG.2020.3004276>
- Smith, B., Caputi, P., Crittenden, N., Jayasuriya, R. & Rawstorne, P. (1999). A review of the construct of computer experience. *Computers in Human Behavior*, 15(2), 227-242.
- Sonnett, J. (2022). Climate change risks and global warming dangers: a field analysis of online US news media. *Environmental Sociology*, 8(1), 41-51. <https://doi.org/10.1080/23251042.2021.1960098>
- Strzelecki, A., Cicha, K., Rizun, M. & Rutecka, P. (2022). Using a general extended technology acceptance model for e-learning (GETAMEL). A literature review of empirical studies. In R. A. Buchmann, G. C. Silaghi, D. Bunea, V. Niculescu, G. Czibula, C. Barry, M. Lang, H. Linger & C. Schneider (Ed.), *Information systems development: Artificial intelligence for information systems development and operations (ISD2022 proceedings)*. Risoprint.
- Thøgersen, J. (2009). The motivational roots of norms for environmentally responsible behavior. *Basic and Applied Social Psychology*, 31(4), 348-362. <https://doi.org/10.1080/01973530903317144>
- Trevors, J. T. (2007). Environmental education. *Water, Air, and Soil Pollution*, 180(1), 1-1.
- Tukker, A. & Jansen, B. (2006). Environmental impacts of products: A detailed review of studies. *Journal of Industrial Ecology*, 10(3), 159-182.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- Ververidis, D., Migkatzidis, P., Nikolaidis, E., Anastasovitis, E., Chalikias, A. P., Nikolopoulos, S. & Kompatsiaris, I. (2021). An authoring tool for democratizing the creation of high-quality VR experiences. *Virtual Reality*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00541-2>
- Wals, A. E., Brody, M., Dillon, J. & Stevenson, R. B. (2014). Convergence between science and environmental education. *Science*, 344(6184), 583-584.
- Wynes, S., & Nicholas, K. A. (2017). The climate mitigation gap: education and government recommendations miss the most effective individual actions. *Environmental Research Letters*, 12(7), 074024.
- Yulianto, D. & Setyaningsih, E. (2021). To use it or reject it? EFL students' perceptions and constraints of using e-learning during COVID-19 pandemic. *ICOTEL Proceeding MPBING*, 2(1), 146-153.
- Zeiske, N., Venhoeven, L., Steg, L. & van der Werff, E. (2021). The normative route to a sustainable future: Examining children's environmental values, identity, and personal norms to conserve energy. *Environment and Behavior*, 53(10), 1118-1139. <https://doi.org/10.1177/0013916520950266>
- Zhai, M. & Wolff, H. (2021). Air pollution and urban road transport: Evidence from the world's largest low-emission zone in London. *Environmental Economics and Policy Studies*, 23(4), 721-748.
- Zhang, G., Yao, T., Xie, H., Yang, K., Zhu, L., Shum, C. K., Bolch, T., Yi, S., Allen, S., Jiang, L., Chen, W. & Ke, C. (2020). Response of Tibetan Plateau lakes to climate change: Trends, patterns, and mechanisms. *Earth-Science Reviews*, 208, 1-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103269>
- Zhang, P. & Yang, H. (2024). The GETAMEL Model: Features of the adaptation of teachers in the transition to on-line learning. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1-13.
- Zhang, X., Luo, L. & Skitmore, M., (2015). Household carbon emission research: an analytical review of measurement, influencing factors and mitigation prospects. *Journal of Cleaner Production*, 103, 873-883. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.024>



ENGLISH VERSION

1. Introduction

In recent decades, the global community has become increasingly concerned with environmental sustainability, a priority that has intensified as environmental degradation continues to escalate (Ahmad et al., 2021; Feroz et al., 2021; Kirikkaleli & Adebayo, 2021). Since the onset of the Industrial Revolution, the acceleration of production and consumption has significantly contributed to various ecological crises (Thøgersen, 2009). Issues such as rising global temperatures, freshwater shortages, atmospheric and terrestrial pollution, biodiversity loss, and deforestation collectively represent severe threats to the planet's long-term viability (Abd-Elaty et al., 2022; Azadi et al., 2019; Lange & Dewitte, 2019; Ricart et al., 2021). Of particular concern is climate change, widely regarded as one of the most formidable global threats to human and ecological systems (Sonnett, 2022; Yu et al., 2019). Empirical studies consistently emphasize the disruptive consequences of climate change on human health and well-being (Lacroix et al., 2020; Ngo et al., 2020; Zhang et al., 2020). According to the 2021 assessment by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), rising CO₂ levels have triggered profound and rapid alterations in the Earth's atmosphere, hydrosphere, and biosphere, exemplified by a 20 cm rise in sea levels between 1901 and 2018 and a 1.07 °C increase in global ocean temperatures since 1850.

The United Nations Environment Programme (UNEP) asserted as early as 2007 that climate transformations witnessed over the preceding half-century largely stemmed from anthropogenic activities that endanger both planetary ecosystems and human societies (Wynes & Nicholas, 2017). A growing body of literature underscores the pivotal role of human behavior in environmental degradation (Ateş, 2021; Nielsen et al., 2021; Savari et al., 2021). Behaviors such as energy use in households (Zeiske et al., 2021), personal transportation choices (Zhai & Wolff, 2021), dietary consumption (Ateş, 2021), and waste recycling (Issack et al., 2021) are

identified as critical determinants of environmental sustainability. For example, household energy accounts for roughly 27% of total consumption in Europe (Eurostat, 2014), while food-related expenditures constitute up to 30% of household-level resource use (Tukker & Jansen, 2006). These behavioral patterns, exacerbated by urban expansion and population growth, are projected to intensify environmental challenges. Indeed, the World Health Organization (2021) anticipates an additional 2.5 billion people living in urban areas by 2050, likely reinforcing carbon-intensive consumption practices (Zhang et al., 2015).

Despite the persistence of these challenges, societal awareness regarding ecological protection has increased markedly (Dowd & Burke, 2013). Disciplines such as environmental psychology (Edgerton et al., 2021), behavior analysis (Lehman & Geller, 2004), organizational psychology (Norton et al., 2015), and environmental education (Casas Jr et al., 2021) have progressively focused on the behavioral dimensions of environmental action. Among these, environmental education has emerged as a transformative avenue for fostering eco-responsible behavior (Ardoin et al., 2020). By engaging students in experiential, inquiry-based learning, environmental education enhances knowledge acquisition and cultivates awareness regarding pressing environmental issues (Trevors, 2007). Learners who develop environmental consciousness are more likely to become informed and responsible citizens capable of contributing to sustainability in their communities (Fraser & Jamieson, 2003). Accordingly, well-structured environmental education aligned with curricular standards is essential for advancing the sustainable management of natural resources (Ateş, 2020; Fan et al., 2010).

Recent educational innovations have increasingly emphasized the use of interactive technologies to support sustainability learning. Among these, virtual reality (VR) offers immersive and engaging environments that can facilitate deeper understanding of

complex sustainability topics (Sancar et al., 2022, 2023). By simulating real-world ecological phenomena, VR enhances learners' engagement and comprehension, ultimately fostering a stronger commitment to sustainable behaviors (Ronaghi, 2023). Therefore, incorporating VR into pedagogical practices presents a promising strategy for enriching sustainability education.

However, the successful adoption of VR in educational settings hinges on understanding the psychological and contextual factors that shape educators' willingness to use such tools. In this regard, theoretical models of technology acceptance provide a valuable analytical lens. One particularly relevant framework is the General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL), which incorporates cognitive, affective, and social dimensions of user behavior to explain adoption processes. Applying the GETAMEL framework enables researchers to examine in detail the determinants of pre-service teachers' intentions to adopt VR for instructional purposes.

Accordingly, the present study seeks to explore the factors that influence pre-service science teachers' intentions to integrate VR into their teaching of sustainability-related content. Grounded in the GETAMEL model, this research aims to shed light on the cognitive, emotional, and social mechanisms underlying technology adoption, ultimately contributing to the formulation of effective strategies that support the pedagogical integration of VR.

Environmental sustainability is increasingly recognized as a critical global issue, necessitating the integration of sustainability education into teaching practices (Ahmad et al., 2021; Feroz et al., 2021). Education plays a vital role in fostering environmental awareness and behaviors among students, particularly in the context of climate change and resource management. Effective environmental education promotes knowledge, skills, and values that empower students to engage in sustainable practices (Ateş, 2020; Fan et al., 2010). The significance of environmental education is underscored by its potential to cultivate responsible citizenship and proactive environmental stewardship among future generations (Fraser & Jamieson, 2003).

The preparation of pre-service teachers plays a pivotal role in equipping future educators to address sustainability topics effectively. Empirical evidence underscores that teachers' environmental knowledge, attitudes, and pedagogical beliefs have a direct influence on how they incorporate sustainability into their classroom instruction (Boyes & Stanisstreet, 2012; Wals et al., 2014). As such, it is imperative that teacher education programs offer comprehensive training on environmental issues to build the competencies needed for sustainability-oriented teaching (Littledyke et al.,

2013). Embedding sustainability into the curricula of teacher preparation programs can help ensure that future educators possess both the content knowledge and pedagogical skills necessary for fostering environmentally responsible citizens.

Emerging technologies, especially virtual reality (VR), present transformative opportunities to enrich science education by immersing learners in interactive and experiential learning contexts (Ateş & Kölemen, 2024). Through VR, students can explore complex environmental phenomena in ways that traditional methods cannot easily facilitate (Araiza-Alba et al., 2022; Chen, 2016). Prior research illustrates that VR enhances learners' motivation, engagement, and knowledge retention, making it particularly effective for teaching challenging content like sustainability (Persky & McBride, 2009; Ververidis et al., 2021).

A growing body of literature demonstrates that VR has been successfully implemented across multiple disciplines to promote active learning and foster analytical thinking (Kim et al., 2022; Koutsoukos et al., 2015). In science education contexts specifically, VR has been shown to support students in visualizing abstract scientific concepts and participating in virtual simulations that mirror real-world experimentation (Freina & Ott, 2015). These affordances are instrumental in enhancing learners' conceptual understanding.

The push to incorporate technology into sustainability education has become increasingly prominent, as educators seek out engaging pedagogical strategies to make abstract environmental issues more accessible (Sancar et al., 2022, 2023; Scurati & Ferrise, 2020). Immersive tools like VR enable the simulation of ecological challenges, helping students grasp the consequences of human-environment interactions through realistic, scenario-based learning experiences (Markowitz et al., 2018). Such experiences can develop students' capacity for critical thinking and problem-solving—essential skills for navigating sustainability issues.

Despite its benefits, implementing VR in educational settings presents several challenges. Technical limitations, insufficient training, and attitudinal barriers among educators have been identified as significant obstacles to effective VR integration (Al-Azawei & Alowayr, 2020; Bano et al., 2018). Therefore, exploring the factors that shape pre-service science teachers' willingness and readiness to adopt VR is crucial for informing teacher education practices aimed at advancing sustainable development education.

To investigate these factors, the General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL) offers a comprehensive analytical framework. This model builds upon Davis' original Technology Acceptance Model (TAM) by incorporating

a range of external variables that affect users' perceptions of a technology's usefulness and ease of use (Abdullah & Ward, 2016; Davis, 1989). Widely validated in educational technology research, GETAMEL has proven effective in explaining users' behavioral intentions toward adopting digital tools in learning environments (Strzelecki et al., 2022; Doleck et al., 2018). Its flexibility also makes it suitable for evaluating technologies beyond conventional e-learning platforms, including immersive systems like VR (Ateş et al., 2023; Yulianto et al., 2021).

Within the GETAMEL framework, two core constructs—perceived usefulness and perceived ease of use—emerge as primary predictors of technology adoption (Abdullah & Ward, 2016; Revyathi & Tselios, 2019; Venkatesh et al., 2003). Perceived usefulness refers to users' beliefs that a particular technology will enhance their task performance, whereas perceived ease of use pertains to how effortless they expect the technology will be to implement (Davis, 1989). Five contextual factors are posited to influence these perceptions: subjective norms, prior experience, perceived enjoyment, computer anxiety, and self-efficacy (Hanif et al., 2018).

Among these, subjective norms pertain to the perceived social pressure individuals experience regarding the use of technological tools. When educators believe that significant others—such as peers, mentors, or institutional stakeholders—support the use of VR, they may be more inclined to view the technology favorably (Venkatesh et al., 2003; Kemp et al., 2019). The internalization of such social cues can shape attitudes toward VR adoption and, consequently, the behavioral intention to use it in pedagogical settings. Based on this theoretical grounding, we put forward the following hypotheses:

H1: Social influences are expected to have a positive impact on how useful individuals perceive a technology to be.

H2: Social influences are also presumed to enhance perceptions regarding how easy a technology is to use.

Experience: This variable reflects the level and nature of an individual's prior engagement with digital technologies. Individuals who have hands-on experience with information and communication technologies (ICT) typically develop greater familiarity and confidence, which in turn can foster more favorable evaluations of both usefulness and usability (Smith et al., 1999; Durodolu, 2016). Accordingly, the following hypotheses are proposed:

H3: Prior experience contributes positively to perceived usefulness.

H4: Prior experience contributes positively to perceived ease of use.

Perceived Enjoyment: This refers to the intrinsic pleasure derived from interacting with technological tools. When users perceive the process of engaging with ICT as enjoyable, their evaluations of the system's value and simplicity tend to improve (Agarwal & Karahanna, 2000; Kemp et al., 2019). In this light:

H5: Perceived enjoyment enhances the perception of usefulness.

H6: Perceived enjoyment enhances the perception of ease of use.

Anxiety: Emotional discomfort or apprehension experienced when using new technologies may reduce users' confidence, thereby diminishing their assessment of a system's practicality and simplicity (Abdullah & Ward, 2016; Kemp et al., 2019). Given this, we propose:

H7: Anxiety is negatively associated with perceived usefulness.

H8: Anxiety is negatively associated with perceived ease of use.

Self-Efficacy: This construct involves an individual's belief in their capability to successfully utilize digital tools. Higher self-efficacy tends to support positive expectations about performance and can mitigate the perceived complexity of technology use (Bandura, 1982; Kemp et al., 2019). Based on these insights:

H9: Self-efficacy positively influences perceived usefulness.

H10: Self-efficacy positively influences perceived ease of use.

In this study, the General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL) is employed as a conceptual framework to investigate pre-service science teachers' propensity to utilize VR in sustainability education. This model facilitates the identification of psychological, behavioral, and contextual variables shaping technology integration in pedagogical practices.

Within the GETAMEL structure, perceived ease of use and perceived usefulness are theorized as fundamental determinants of technology adoption. Furthermore, perceived ease of use is thought to contribute to perceived usefulness (H11), and both constructs influence users' attitudes toward the technology (H12, H13) as well as their behavioral intentions (H14, H15) to employ it in educational settings. Thus, the final hypotheses are outlined as follows:

H11: Perceived ease of use enhances perceived usefulness.

H12: Perceived ease of use positively influences user attitude.

H13: Perceived usefulness positively influences user attitude.

H14: Perceived usefulness positively influences intention to use.

H15: Attitude positively influences intention to use.

The conceptual model incorporating these hypotheses is illustrated in Figure 1, which adapts and extends the GETAMEL framework to the specific context of VR adoption in science teacher education.

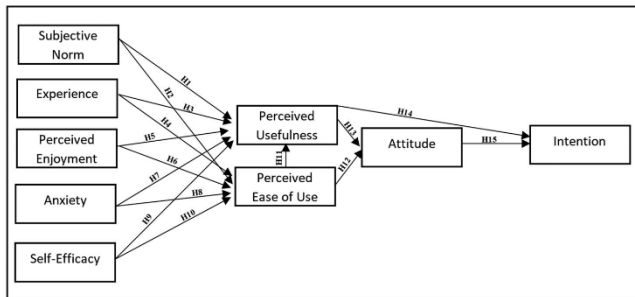


Figure 1. Proposed model.

2. Method

4.1. Design

This study employs a cross-sectional design to investigate the factors influencing pre-service science teachers' intentions to adopt virtual reality technology for teaching sustainability topics.

4.2. Sample

The participants in this study were pre-service science teachers from various universities situated in Turkey. A total of 600 surveys were initially distributed to pre-service science teachers enrolled in teacher education programs at several universities across metropolitan Turkey during the 2023 academic year. Of these, 520 surveys were returned. After excluding 40 responses that did not meet the quality criteria (e.g., incompleteness, inattentive responding), a final sample of 480 valid surveys was retained for analysis.

The demographic profile of the sample showed that 75% of the participants identified as female and 25% as male. In terms of age distribution, 40% were in the 20–25 age range, 35% were aged 26–30, 15% were aged 31–35, and 10% were over 35. Furthermore, 80% of respondents reported regular use of technology in their daily lives. Approximately 50% had prior experience with VR technology in educational settings, though only 12% had used it specifically for teaching sustainable development concepts.

4.3. Procedure

This study employed a cross-sectional design to explore the intentions and perceptions of pre-service science teachers regarding the use of VR technology in teaching sustainable development concepts. To gather data, a self-administered survey was utilized, which took approximately 30 minutes to complete. The survey instrument was carefully developed to align with the GETAMEL framework, focusing on factors influencing the intention to adopt VR technology for instructional purposes.

Participants were invited to voluntarily complete the survey, which was disseminated through teacher education programs at multiple Turkish universities. The data collection process ensured participant anonymity and adhered to ethical standards concerning voluntary participation and informed consent.

4.3.1. Ethical disclosure

In this study, all the rules specified within the scope of the "Directive on Scientific Research and Publication Ethics of Higher Education Institutions" were followed. None of the actions listed under the second section of the directive, titled "Violations of Scientific Research and Publication Ethics," were committed. The study was approved by the Ethics Committee for Social and Human Sciences at Erciyes University (Approval No: 526; Date: 29.11.2022).

4.4. Measures

To investigate pre-service science teachers' intentions regarding the integration of virtual reality (VR) in instructional practices, a structured data collection instrument was carefully developed. The survey design drew on a synthesis of well-established theoretical models and previous empirical work, incorporating insights from multiple foundational studies (Abdullah et al., 2016; Ajzen, 2006; Davis, 1989; Lu et al., 2009; Moon & Kim, 2001; Nikou & Economides, 2017; Salloum et al., 2019; Taylor & Todd, 1995; Zhai & Ma, 2022).

The finalized questionnaire consisted of two primary sections. The first section was dedicated to gathering demographic and background information, including participants' gender, age, previous teaching experience, frequency of daily technology usage, the extent of technology integration in science instruction, and familiarity with VR applications. The second section was designed to capture responses related to the key dimensions of the General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL).

This model-based section of the instrument was organized into two main domains: core constructs from the original Technology Acceptance Model (TAM) and a set of external influencing variables. The TAM-related

constructs comprised perceived ease of use, perceived usefulness, attitude toward using VR, and behavioral intention to use, each measured using three items. In addition, five external dimensions were assessed: perceived enjoyment, anxiety, prior experience, technological self-efficacy, and subjective norm. Among these, each construct was operationalized using three items, except for subjective norm, which was measured through two statements. Altogether, the instrument included 26 items, with responses recorded using a five-point Likert scale (1 = Strongly Disagree to 5 = Strongly Agree).

To establish the survey's content validity, the item pool underwent a multi-stage expert review process, as advised by Hinkin et al. (1997). Three expert groups

were consulted: academic staff specializing in science education and instructional technology, graduate students with research expertise in technology adoption, and experienced middle school science teachers. These reviewers provided critical feedback concerning item clarity, relevance, and conceptual alignment, which informed subsequent revisions to the instrument.

Following expert validation, a pilot implementation was carried out involving 150 pre-service science teachers. This trial phase was essential for assessing the comprehensibility of survey items and the extent to which each item accurately reflected its associated construct. Based on the insights gained from pilot testing, minor revisions were made, leading to the final form of the questionnaire presented in Table 1.

Table 1.

Research Constructs and Source Citations

Constructs and Statements	Source
Perceived Ease of Use	
I find using VR technology in science teaching easy.	Davis (1989); Nikou & Economides (2017)
I can quickly become skilled at using VR technology for teaching.	
My interactions with VR technology during science lessons are clear.	
Perceived Usefulness	
Using VR technology enhances my effectiveness as a teacher.	Davis (1989); Nikou & Economides (2017)
VR technology is beneficial for my teaching.	
Perceived Enjoyment	
I think that teaching processes with virtual reality technology will be enjoyable.	Lu et al. (2009); Moon & Kim (2001)
I believe that the teaching environment with virtual reality technology will be fun.	
I think that I will be more motivated in teaching processes with virtual reality technology.	
Anxiety	
I am anxious about using virtual reality technology in teaching processes.	
The thought of making irreparable mistakes while using virtual reality technology in teaching processes makes me apprehensive.	Zhai & Ma (2022)
The possibility of using virtual reality technology in teaching processes is somewhat intimidating to me.	
Experience	
Using virtual reality technology in my studies will enhance my teaching experience.	
I believe that I will feel comfortable integrating virtual reality technology into my teaching processes.	Abdullah et al. (2016)
I believe that I can use virtual reality technology efficiently for teaching purposes.	
Self-Efficacy	
I am fully confident in my ability to use virtual reality technology without external assistance.	Salloum et al. (2019)
I possess the necessary competencies to effectively integrate virtual reality technology into my teaching processes.	

Constructs and Statements	Source
I am completely confident in my ability to use virtual reality technology in my studies.	
Attitude	
I believe that the integration of virtual reality technology into my teaching processes will be beneficial.	Lu et al. (2009); Taylor & Todd (1995)
I am pleased to use virtual reality technology in my teaching activities.	
Using virtual reality technology in my studies provides me with a positive experience.	
Subjective Norm	
People whose opinions I value recommend that I utilize virtual reality technology in my teaching processes.	Ajzen (2006); Lu et al. (2009); Taylor & Todd (1995)
Individuals whose views I respect support me in using virtual reality technology in my work.	
Intention	
I plan to continue using virtual reality technology in teaching processes in the future.	Ajzen (2006); Davis (1989); Nikou & Economides (2017)
I intend to increase my use of virtual reality technology for teaching purposes in the future.	
I would like to express that I am open to discovering new teaching methods by utilizing virtual reality technology in the future.	

4.5. Data Analysis

The analysis of survey data was conducted using two statistical software packages: SPSS and AMOS. The analytical process unfolded in two main stages: the measurement model assessment followed by the structural model evaluation, utilizing maximum likelihood estimation techniques as recommended by Anderson and Gerbing (1988).

In the first stage, we focused on the measurement model to ensure the reliability and validity of the scales employed. To achieve this, Confirmatory Factor Analysis (CFA) was performed, revealing that the model achieved a strong fit with the data ($\chi^2 = 762.45$, $df = 289$; $p < 0.01$; $\chi^2/df = 2.64$; $GFI = 0.93$; $TLI = 0.94$; $CFI = 0.92$; $RMSEA = 0.06$; $SRMR = 0.05$). All factor loadings were found to be above the acceptable threshold of 0.45, indicating that the items were significantly associated with their respective constructs (Ford et al., 1986).

To further evaluate the internal consistency of the scales, we computed both composite reliability and Cronbach's alpha. The composite reliability values ranged from 0.80 to 0.92, while Cronbach's alpha values ranged from 0.85 to 0.93, confirming the high reliability of the measurement instruments as all values exceeded the minimum criterion of 0.70 (Bagozzi & Yi, 1989; Nunnally, 1978).

In addition, the average variance extracted (AVE) values were calculated, showing a range from 0.60 to 0.75, thus surpassing the 0.50 threshold necessary to establish convergent validity. Furthermore, the square root of the

AVE for each construct was greater than the inter-construct correlations, supporting the discriminant validity of the scales used (Bagozzi & Yi, 1989; Fornell & Larcker, 1981).

The findings from the reliability and validity tests are detailed in Tables 2 and 3, illustrating the robustness of the measurement model employed in this study.

Table 2.*Validity and Reliability of Constructs in the GETAMEL Approach*

Constructs and Statements	Factor Loadings	Average Variance Extracted (AVE)	Composite Reliability
Perceived Ease of Use (PEOU)			
PEOU 1	0.82	0.702	0.889
PEOU 2	0.85		
PEOU 3	0.87		
Perceived Usefulness (PU)			
PU 1	0.78	0.643	0.875
PU 2	0.82		
PU 3	0.81		
Perceived Enjoyment (PE)			
PE 1	0.90	0.810	0.942
PE 2	0.89		
PE 3	0.91		
Anxiety (ANX)			
ANX 1	0.77	0.626	0.857
ANX 2	0.79		
ANX 3	0.81		
Experience (EXP)			
EXP 1	0.88	0.791	0.931
EXP 2	0.89		
EXP 3	0.90		
Self-Efficacy (SE)			
SE 1	0.76	0.636	0.867
SE 2	0.79		
SE 3	0.82		
Attitude (ATT)			
ATT 1	0.78	0.584	0.846
ATT 2	0.75		
ATT 3	0.76		
Subjective Norm (SN)			
SN 1	0.80	0.610	0.816
SN 2	0.76		
Intention (INT)			
INT 1	0.84	0.743	0.911
INT 2	0.88		
INT 3	0.87		

Table 3.*Descriptive Statistics and Discriminant Validity*

Constructs	Mean	SD	α	PEOU	PU	PE	ANX	EXP	SE	ATT	SN	INT
1. PEOU	3.15	0.90	0.87	0.838								
2. PU	3.10	0.85	0.82	0.62	0.802							
3. PE	3.05	0.88	0.89	0.58	0.54	0.900						
4. ANX	3.20	1.00	0.81	0.44	0.42	0.41	0.791					
5. EXP	3.12	0.95	0.88	0.31	0.29	0.35	0.30	0.889				
6. SE	3.10	0.92	0.84	0.28	0.26	0.20	0.22	0.33	0.798			
7. ATT	3.41	1.05	0.80	0.34	0.32	0.25	0.53	0.27	0.30	0.764		
8. SN	3.00	0.90	0.79	0.26	0.29	0.31	0.42	0.45	0.38	0.52	0.782	
9. INT	3.25	0.95	0.83	0.38	0.35	0.34	0.25	0.21	0.41	0.60	0.55	0.862

Note. The square roots of the AVE values are highlighted in bold, SD: Standard Deviation, α =Cronbach Alpha, PEOU = Perceived Ease of Use, PU = Perceived Usefulness, PE = Perceived Enjoyment, ANX = Anxiety, EXP = Experience, SE = Self-Efficacy, ATT = Attitude, SN = Subjective Norm, INT = Intention.

3. Results

In the present study, the testing of hypothesized relationships was carried out through Structural Equation Modeling (SEM), utilizing the maximum likelihood estimation approach. The primary aim was to examine pre-service science teachers' intentions to integrate virtual reality (VR) technology into sustainability education, employing the GETAMEL framework as the theoretical foundation. The model demonstrated an adequate fit with the empirical data, confirming its suitability for explaining behavioral intentions within this context.

The overall model performance was evaluated through multiple fit indices. The statistical indicators revealed a strong alignment between the proposed model and the observed data: $\chi^2 = 760.15$, $df = 285$, $p < 0.01$; $\chi^2/df = 2.67$; GFI = 0.94; TLI = 0.93; CFI = 0.95; RMSEA = 0.05; SRMR = 0.04. These results fall within acceptable threshold values, indicating a well-fitting model. Furthermore, the explained variance (R^2) for the construct of behavioral intention to adopt VR technology was 0.54, suggesting that the model accounted for 54% of the variance in intention. This emphasizes the predictive utility of the GETAMEL framework in understanding future educators' technological adoption behaviors.

To evaluate the structural paths, standardized regression weights and t-values were analyzed. The analysis revealed that subjective norm ($\beta = 0.42$, $t = 6.85$), experience ($\beta = 0.30$, $t = 5.75$), perceived enjoyment ($\beta = 0.38$, $t = 7.15$), anxiety ($\beta = 0.41$, $t = 8.25$), and self-efficacy ($\beta = 0.33$, $t = 6.20$) significantly predicted perceived usefulness, collectively explaining 39% of its variance.

These findings lend empirical support to hypotheses H1, H3, H5, H7, and H9.

Parallel effects were observed for perceived ease of use, which was also significantly shaped by subjective norm ($\beta = 0.48$, $t = 8.95$), experience ($\beta = 0.39$, $t = 7.10$), perceived enjoyment ($\beta = 0.47$, $t = 9.20$), anxiety ($\beta = 0.32$, $t = 6.25$), and self-efficacy ($\beta = 0.37$, $t = 6.90$), explaining 43% of its variance. These findings validated hypotheses H2, H4, H6, H8, and H10.

Further structural relationships among the core constructs of GETAMEL revealed that perceived ease of use significantly contributed to both perceived usefulness ($\beta = 0.28$, $t = 5.55$) and attitudes toward VR integration in teaching ($\beta = 0.40$, $t = 7.40$), affirming hypotheses H11 and H12.

In addition, perceived usefulness was positively linked to attitude ($\beta = 0.52$, $t = 9.85$) and intention to use VR ($\beta = 0.45$, $t = 8.45$), supporting hypotheses H13 and H14. Notably, perceived usefulness and ease of use together explained 47% of the variance in participants' attitudes toward the use of VR.

Lastly, attitude emerged as a significant predictor of behavioral intention, with a path coefficient of $\beta = 0.51$ ($t = 9.95$), confirming H15. Altogether, the constructs of the GETAMEL framework accounted for approximately 53% of the variance in the intention to implement VR in sustainability-focused instruction.

A summary of these statistical relationships and their implications for the structural model can be found in Table 4, which provides a consolidated view of all hypothesized effects and their significance levels.

Table 4.*SEM Results for the GETAMEL Model*

Hypothesis Number	Paths	Standardized Coefficients (β)	t-value	Hypothesis Status
H1	SN $\rightarrow$ PU	.42**	6.85	Supported
H2	SN $\rightarrow$ PEOU	.48**	8.95	Supported
H3	EXP $\rightarrow$ PU	.30*	5.75	Supported
H4	EXP $\rightarrow$ PEOU	.39**	7.10	Supported
H5	PE $\rightarrow$ PU	.38*	7.15	Supported
H6	PE $\rightarrow$ PEOU	.47**	9.20	Supported
H7	ANX $\rightarrow$ PU	.41**	8.25	Supported
H8	ANX $\rightarrow$ PEOU	.32*	6.25	Supported
H9	SE $\rightarrow$ PU	.33*	6.20	Supported
H10	SE $\rightarrow$ PEOU	.37**	6.90	Supported
H11	PEOU $\rightarrow$ PU	.28*	5.55	Supported
H12	PEOU $\rightarrow$ ATT	.40**	7.40	Supported
H13	PU $\rightarrow$ ATT	.52**	9.85	Supported
H14	PU $\rightarrow$ INT	.45**	8.45	Supported
H15	ATT $\rightarrow$ INT	.51**	9.95	Supported

Note. * $p < 0.001$, ** $p < 0.0001$

4. Discussion

This research examined the underlying variables influencing pre-service science teachers' intentions to implement virtual reality (VR) technology within the context of sustainable development instruction, using the General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL) as the guiding framework. The results yielded important findings regarding how cognitive, emotional, and social components shape prospective teachers' acceptance of educational technologies.

The analysis revealed that subjective norms, prior experience, perceived enjoyment, anxiety, and self-efficacy had significant predictive roles in shaping participants' perceptions of both the usefulness and ease of use of VR. In particular, subjective norms stood out as a critical variable, underscoring the importance of peer and mentor influence in shaping pre-service teachers' judgments about new technologies. Additionally, those who reported higher enjoyment and greater experience with VR tended to perceive it as both more effective and more user-friendly.

On the other hand, elevated anxiety levels were associated with more negative perceptions of VR's utility and usability. This highlights the potential emotional barriers that may hinder the adoption of innovative teaching tools, suggesting a need for psychological support mechanisms within teacher training programs.

The relationships among the central constructs of the GETAMEL model were also supported. Specifically,

perceived ease of use significantly influenced both perceived usefulness and attitudes toward the use of VR, consistent with prior research. When educators perceive a technology as easy to engage with, they are more inclined to recognize its pedagogical value and develop a favorable orientation toward its use. Moreover, perceived usefulness emerged as a strong determinant of both attitude and intention to use, reinforcing its foundational role in models of technology adoption. Ultimately, a positive attitude was found to be the strongest predictor of behavioral intention, indicating that shaping favorable perceptions is crucial for encouraging future technology use.

This study offers several theoretical contributions to the literature on educational technology acceptance. It affirms the applicability of the GETAMEL model in the context of emerging technologies like VR and provides empirical support for the relationships among its key constructs. The influence of subjective norms aligns with social influence theories, further emphasizing that social endorsement can significantly impact pre-service teachers' openness to adopting new tools (Ateş et al., 2024; Zhang & Yang, 2024). Similarly, the positive effects of enjoyment and experience confirm that intrinsic motivation and technological familiarity play critical roles in the acceptance process (Alvarez et al., 2024).

The detrimental impact of anxiety on perceived usefulness and usability expands on existing literature by highlighting the emotional dimensions of technology acceptance (Saif et al., 2024). This suggests that models such as GETAMEL may benefit from deeper integration of affective variables

to more comprehensively capture the psychological realities of technology integration in education. Furthermore, the clear pathways from perceived ease of use to perceived usefulness and attitudes, and from attitudes to intention, validate and extend Davis's (1989) original TAM and Ajzen's (1991) Theory of Planned Behavior, reinforcing their relevance in today's digital learning environments.

From a practical standpoint, this study identifies several actionable strategies for supporting VR adoption in teacher education. The prominent role of social support implies that teacher training institutions should foster collaborative, peer-oriented environments where the use of educational technology is both encouraged and normalized. Creating communities of practice can significantly influence perceptions and promote confidence.

Second, the strong influence of experience and enjoyment points to the importance of hands-on, experiential learning in teacher education curricula. Workshops and simulations that expose pre-service teachers to VR in low-risk, supportive settings can improve familiarity, increase engagement, and build positive associations with the technology.

Addressing anxiety is also essential. Structured guidance, continued technical assistance, and reassurance during initial exposure to VR tools can mitigate stress and improve perceptions of control and efficacy. This suggests that emotional readiness should be treated as a core component of technology training, not a peripheral concern.

The results further indicate the need for developers to prioritize usability and intuitive design when creating VR platforms for educational purposes. If the interface is perceived as complicated, even high-value content may fail to be adopted. Therefore, aligning design features with the needs and digital competencies of educators is crucial.

Finally, fostering positive attitudes toward VR is vital. Teacher education programs should highlight the tangible benefits of VR integration through real-world examples, case studies, and testimonials. Doing so can shift perceptions from novelty to necessity, increasing the likelihood of future implementation.

While this study provides meaningful insights, several limitations should be noted. First, the use of a cross-sectional design restricts the capacity to infer causal relationships. Future investigations employing longitudinal designs could better capture how technology perceptions and intentions evolve with experience.

Second, the sample was confined to pre-service science teachers, limiting generalizability. Further research should include in-service educators and pre-service teachers across various disciplines to enhance external validity and explore discipline-specific dynamics in technology acceptance.

Third, the study exclusively relied on the GETAMEL model. Comparative analyses involving alternative models

such as UTAUT, TPB, or Diffusion of Innovations could offer broader theoretical insights and test the robustness of the findings across frameworks.

Additionally, data were gathered using self-report measures, which may be influenced by response biases. To mitigate this, future work could integrate qualitative components, such as interviews or classroom observations, to triangulate data and enrich the interpretation of findings.

Lastly, the study did not consider institutional and contextual factors such as access to infrastructure, administrative support, or curriculum constraints. These variables may significantly influence teachers' technology adoption decisions and warrant investigation in future research.

This study advances the understanding of how cognitive (e.g., usefulness, ease of use), emotional (e.g., anxiety, enjoyment), and social (e.g., norms) dimensions influence pre-service science teachers' readiness to adopt virtual reality in the context of sustainability education. The empirical validation of the GETAMEL framework in this context not only supports its theoretical relevance but also sheds light on practical measures that can enhance the integration of innovative technologies in teacher education.

By strategically addressing factors such as social reinforcement, practical exposure, emotional preparedness, and attitudinal development, teacher education institutions can better prepare future educators to effectively use immersive technologies like VR. Such integration has the potential to significantly enrich science instruction, particularly in complex and abstract domains like sustainability, ultimately leading to more engaging and transformative learning experiences.

Author Note : This study was produced under the supervision of the second author from the PhD thesis of the first author.

Author Contributions : Introduction: First author, Second author. Methodology: First author. Results: First author, Second author. Conclusion: First author, Second author. Editing and Final Review: Second author.

Funding : No financial support was received in our study.

Conflict of Interest : There is no potential conflict of interest in our study.

Data Availability : It can be shared upon request from the authors.

References

- Abd-Elaty, I., Kuriqi, A. & Shahawy, A. E. (2022). Environmental rethinking of wastewater drains to manage environmental pollution and alleviate water scarcity. *Natural Hazards*, 110(3), 2353-2380.
- Abdullah, F. & Ward, R. (2016). Developing a general extended technology acceptance model for E-Learning (GETAMEL) by analysing commonly used external factors. *Computers in Human Behavior*, 56, 238-256.
- Abdullah, F., Ward, R., & Ahmed, E. (2016). Investigating the influence of the most commonly used external variables of TAM on students' Perceived Ease of Use (PEOU) and Perceived Usefulness (PU) of e-portfolios. *Computers in Human Behavior*, 63, 75-90.
- Agarwal, R. & Karahanna, E. (2000). Time flies when you're having fun: Cognitive absorption and beliefs about information technology usage. *MIS Quarterly*, 24(4), 665-694.
- Ahmad, M., Muslija, A. & Satrovic, E. (2021). Does economic prosperity lead to environmental sustainability in developing economies? Environmental Kuznets curve theory. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 22588-22601. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12276-9>
- Ajzen, I. (1991). The Theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Alvarez, L., Ortoleva, G., Widmer, D. S., Fritz, M., Bugmann, J., Boéchat-Heer, S. & Ramillon, C. (2024). Future teachers' beliefs about generative AI. Assessing technology acceptance as students or as aspiring professionals. *Journal of Technology and Teacher Education*, 32(3), 383-408.
- Araiza-Alba, P., Keane, T. & Kaufman, J. (2022). Are we ready for virtual reality in K-12 classrooms?. *Technology, Pedagogy, and Education*, 31(4), 471-491. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2022.2033307>
- Ardoin, N. M., Bowers, A. W. & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224.
- Ateş, H. (2020). Merging theory of planned behavior and value identity personal norm model to explain pro-environmental behaviors. *Sustainable Production, and Consumption*, 24, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.006>
- Ateş, H. (2021). Understanding students' and science educators' eco-labeled food purchase behaviors: Extension of the theory of planned behavior with self-identity, personal norm, willingness to pay and eco-label knowledge. *Ecology of Food and Nutrition*, 60(4), 454-472. <https://doi.org/10.1080/03670244.2020.1865339>
- Ateş, H. & Garzón, J. (2022). Drivers of teachers' intentions to use mobile applications to teach science. *Education and Information Technologies*, 27, 2521-2542.
- Ateş, H. & Garzón, J. (2023). An integrated model for examining teachers' intentions to use augmented reality in science courses. *Education and Information Technologies*, 28(2), 1299-1321.
- Ateş, H. & Kölemen, C. Ş. (2025). Integrating theories for insight: an amalgamated model for gamified virtual reality adoption by science teachers. *Education and Information Technologies*, 30, 2123-2153.
- Ateş, H., Garzón, J. & Lampropoulos, G. (2024). Evaluating science teachers' flipped learning readiness: a GETAMEL approach test. *Interactive Learning Environments*, 32(10), 6283-6300.
- Ateş, H., & Gündüzalp, C. (2025). The convergence of GETAMEL and protection motivation theory: A study on augmented reality-based gamification adoption among science teachers. *Education and Information Technologies*, 1-43.
- Azadi, Y., Yazdanpanah, M. & Mahmoudi, H. (2019). Understanding smallholder farmers' adaptation behaviors through climate change beliefs, risk perception, trust, and psychological distance: Evidence from wheat growers in Iran. *Journal of Environmental Management*, 250, 1-25.
- Bandura, A. (1982). Self-Efficacy mechanism in human agency. *American Psychologist*, 37(2), 122-147.
- Birleşmiş Milletler (2024). Around 2.5 billion more people will be living in cities by 2050, projects new UN report. <https://www.un.org/en/desa/around-25-billion-more-people-will-be-living-cities-2050-projects-new-un-report>.
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı. (2007). UNEP 2007 yıllık rapor (Yayın No. 2007). <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7647>
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (2012). Environmental education for behaviour change: Which actions should be targeted?. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1591-1614. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.584079>
- Casas Jr, E. V., Pormon, M. M., Manus, J. J. & Lejano, R. P. (2021). Relationality and resilience: Environmental education in a time of pandemic and climate crisis. *The Journal of Environmental Education*, 52(5), 314-324.
- Chen, Y. L. (2016). The effects of virtual reality learning environment on student cognitive and linguistic development. *Asia-Pacific Education Researcher*, 25(4), 637-646.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3) 319-340.
- Doleck, T., Bazelais, P. & Lemay, D. J. (2018). Is a general extended technology acceptance model for e-learning generalizable? *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, 10(2), 133-147.

- Dowd, K. & Burke, K. J. (2013). The influence of ethical values and food choice motivations on intentions to purchase sustainably sourced foods. *Appetite*, 69, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.05.024>
- Durodolu, O. (2016). *Technology acceptance model as a predictor of using information system to acquire information literacy skills*. Library Philosophy & Practice.
- Edgerton, E., Romice, O. & Spencer, C. (2021). *Environmental psychology: Putting research into practice*. Cambridge Scholars Publishing.
- Eurostat. (2014). *Final energy consumption by sector*. Eurostat - European Commission. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-5/assessment>
- Fan, S., Zhang, Y., Fan, J., He, Z. & Chen, Y. (2010, 23-25 Nisan). *The application of virtual reality in environmental education: model design and course construction*. [Bildiri sunumu]. 2010 International Conference on Biomedical Engineering and Computer Science, Wuhan, Çin.
- Feroz, A. K., Zo, H. & Chiravuri, A. (2021). Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda. *Sustainability*, 13(3), 1-20.
- Fraser, R. & Jamieson, G. (2003). Community environmental education: challenges within the biosphere reserve concept. *Prospects*, 33(3), 293-302.
- Freina, L. & Ott, M. (2015, 23-24 Nisan). *A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives*. [Bildiri sunumu]. The 11th International Scientific Conference e-Learning and Software for Education, Bükreş, Romanya.
- Hanif, A., Jamal, F. Q. & Imran, M. (2018). Extending the technology acceptance model for use of E-learning systems by digital learners. *IEEE Access*, 6, 73395-73404.
- Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (2021). *Climate Change 2021 The physical science basis working group i contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Singer
- Issock, P. B. I., Mpiganjira, M. & Roberts-Lombard, M. (2021). Trying to recycle domestic waste and feelings of guilt: a moderated mediation model applied to South African households. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.003>
- Ke, F., Lee, S. & Xu, X. (2016). Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment. *Computers in Human Behavior*, 62, 212-220.
- Kemp, A., Palmer, E. & Strelan, P. (2019). A taxonomy of factors affecting attitudes towards educational technologies for use with technology acceptance models. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2394-2413.
- Kim, J., Kim, K. & Kim, W. (2022). Impact of Immersive Virtual Reality Content Using 360-degree Videos in Undergraduate Education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(1), 137-149. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3157250>
- Kirikaleli, D. & Adebayo, T. S. (2021). Do renewable energy consumption and financial development matter for environmental sustainability? New global evidence. *Sustainable Development*, 29(4), 583-594.
- Koutsoukos, M., Fragoulis, I. & Valkanos, E. (2015). Connection of environmental education with application of experiential teaching methods: a case study from Greece. *International Education Studies*, 8(4), 23-28. <http://dx.doi.org/10.5539/ies.v8n4p23>
- Lacroix, K., Gifford, R. & Rush, J. (2020). Climate change beliefs shape the interpretation of forest fire events. *Climatic Change*, 159(1), 103-120. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02584-6>
- Lange, F. & Dewitte, S. (2019). Measuring pro-environmental behavior: Review and recommendations. *Journal of Environmental Psychology*, 63, 92-100.
- Lehman, P. K., & Geller, E. S. (2004). Behavior analysis and environmental protection: Accomplishments and potential for more. *Behavior and Social Issues*, 13(1), 13-33.
- Liesa-Orús, M., Latorre-Cosculluela, C., Sierra-Sánchez, V. & Vázquez-Toledo, S. (2023). Links between ease of use, perceived usefulness and attitudes towards technology in older people in university: A structural equation modelling approach. *Education and Information Technologies*, 28(3), 2419-2436.
- Littledyke, M., Lakin, L. & Ross, K. (2013). *Science knowledge and the environment: A guide for students and teachers in primary education*. Routledge.
- Markowitz, D. M., Laha, R., Perone, B. P., Pea, R. D. & Bailenson, J. N. (2018). Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change. *Frontiers in Psychology*, 9, 2364. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364>
- Ngo, C. C., Poortvliet, P. M. & Feindt, P. H. (2020). Drivers of flood and climate change risk perceptions and intention to adapt: an explorative survey in coastal and delta Vietnam. *Journal of Risk Research*, 23(4), 424-446. <https://doi.org/10.1080/13669877.2019.1591484>
- Nielsen, K. S., Cologna, V., Lange, F., Brick, C. & Stern, P. C. (2021). The case for impact-focused environmental psychology. *Journal of Environmental Psychology*, 74. <https://osf.io/preprints/psyarxiv/w39c5>
- Norton, T. A., Parker, S. L., Zacher, H., & Ashkanasy, N. M. (2015). Employee green behavior: A theoretical framework, multilevel review, and future research agenda. *Organization & Environment*, 28(1), 103-125.
- Persky, S., & McBride, C. M. (2009). Immersive virtual environment technology: A promising tool for future social and behavioral genomics research and practice. *Health Communication*, 24(8), 677-682.

- Revythi, A. & Tselios, N. (2019). Extension of technology acceptance model by using system usability scale to assess behavioral intention to use e-learning. *Education and Information Technologies*, 24, 2341-2355.
- Ricart, S., Villar-Navascués, R. A., Hernández-Hernández, M., Rico-Amorós, A. M., Olcina-Cantos, J. & Moltó-Mantero, E. (2021). Extending natural limits to address water scarcity? The role of non-conventional water fluxes in climate change adaptation capacity: A review. *Sustainability*, 13(5), 2473.
- Ronaghi, M. H. (2023). The effect of virtual reality technology and education on sustainable behavior: A comparative quasi-experimental study. *Interactive Technology and Smart Education*, 20(4), 475-492.
- Saif, N., Khan, S. U., Shaheen, I., ALotaibi, F. A., Alnfai, M. M. & Arif, M. (2024). Chat-GPT; validating Technology Acceptance Model (TAM) in education sector via ubiquitous learning mechanism. *Computers in Human Behavior*, 154, 108097.
- Sancar, R., Atal Demircak, D. ve Ateş, H. (2022). *Sürdürülebilir çevre eğitiminde sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımı*. A. Şimşek ve S. Fiş Erümit (Ed.), Pedagojiden uygulamaya yansımalar: teknolojinin öğretim ortamlarında kullanımı (1. baskı, s. 199-222). PEGEM Akademi.
- Sancar, R., Atal Demircak, D. & Ateş, H. (2023). Designing context-rich learning by extending reality. In J. Braun & G. Trajkovski (Ed.), *The use of virtual reality in education for sustainable development* (pp. 298-318). IGI Global.
- Savari, M., Zhooldideh, M. & Khosravipour, B. (2023). Explaining pro-environmental behavior of farmers: A case of rural Iran. *Current Psychology*, 42, 7752-7770. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02093-9>
- Scurati, G. W. & Ferrise, F. (2020). Looking into a future which hopefully will not become reality: How computer graphics can impact our behavior-A study of the potential of VR. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 40(5), 82-88. <https://doi.org/10.1109/MCG.2020.3004276>
- Smith, B., Caputi, P., Crittenden, N., Jayasuriya, R. & Rawstorne, P. (1999). A review of the construct of computer experience. *Computers in Human Behavior*, 15(2), 227-242.
- Sonnett, J. (2022). Climate change risks and global warming dangers: a field analysis of online US news media. *Environmental Sociology*, 8(1), 41-51. <https://doi.org/10.1080/23251042.2021.1960098>
- Strzelecki, A., Cicha, K., Rizun, M. & Rutecka, P. (2022). Using a general extended technology acceptance model for e-learning (GETAMEL). A literature review of empirical studies. In R. A. Buchmann, G. C. Silaghi, D. Bufnea, V. Niculescu, G. Czibula, C. Barry, M. Lang, H. Linger & C. Schneider (Ed.), *Information systems development: Artificial intelligence for information systems development and operations (ISD2022 proceedings)*. Risoprint.
- Thøgersen, J. (2009). The motivational roots of norms for environmentally responsible behavior. *Basic and Applied Social Psychology*, 31(4), 348-362. <https://doi.org/10.1080/01973530903317144>
- Trevors, J T. (2007). Environmental education. *Water, Air, and Soil Pollution*, 180(1), 1-1.
- Tukker, A. & Jansen, B. (2006). Environmental impacts of products: A detailed review of studies. *Journal of Industrial Ecology*, 10(3), 159-182.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- Ververidis, D., Miglotzidis, P., Nikolaidis, E., Anastasovitis, E., Chalikias, A. P., Nikolopoulos, S. & Kompatsiaris, I. (2021). An authoring tool for democratizing the creation of high-quality VR experiences. *Virtual Reality*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00541-2>
- Wals, A. E., Brody, M., Dillon, J. & Stevenson, R. B. (2014). Convergence between science and environmental education. *Science*, 344(6184), 583-584.
- Wynes, S., & Nicholas, K. A. (2017). The climate mitigation gap: education and government recommendations miss the most effective individual actions. *Environmental Research Letters*, 12(7), 074024.
- Yulianto, D. & Setyaningsih, E. (2021). To use it or reject it? EFL students' perceptions and constraints of using e-learning during COVID-19 pandemic. *ICOTEL Proceeding MPBING*, 2(1), 146-153.
- Zeiske, N., Venhoeven, L., Steg, L. & van der Werff, E. (2021). The normative route to a sustainable future: Examining children's environmental values, identity, and personal norms to conserve energy. *Environment and Behavior*, 53(10), 1118-1139. <https://doi.org/10.1177/0013916520950266>
- Zhai, M. & Wolff, H. (2021). Air pollution and urban road transport: Evidence from the world's largest low-emission zone in London. *Environmental Economics and Policy Studies*, 23(4), 721-748.