

**MATEMATİK EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKA:
EĞİLİMLER, ROLLER VE GELECEK YÖNELİMLERİ
ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR İNCELEME**

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MATHEMATICS
EDUCATION: A SYSTEMATIC REVIEW OF
TRENDS, ROLES AND FUTURE DIRECTIONS

Mervegöl IŞIK, Kamuran TARIM

126

MATEMATİK EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKA: EĞİLİMLER, ROLLER VE GELECEK YÖNELİMLERİ ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR İNCELEME

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MATHEMATICS EDUCATION: A SYSTEMATIC REVIEW OF TRENDS, ROLES AND FUTURE DIRECTIONS

Mervegül IŞIK¹, Kamuran TARIM²

Anahtar Kelimeler:

Matematik eğitimi,
Sistemik literatür
incelemesi,
Yapay zeka,
Eğitim teknolojileri,
Pedagojik entegrasyon.

Keywords:

Mathematics education,
Systematic literature
review,
Artificial intelligence,
Educational
technologies,
Pedagogical integration.

ÖZ

Günümüzde yapay zekâ teknolojilerinin eğitim ortamlarına entegrasyonu, özellikle matematik öğretimi bağlamında köklü dönüşümler yaratmaktadır. Bu sistematik literatür incelemesi, 2020–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmaları analiz ederek yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin matematik eğitimine entegrasyonuna dair eğilimleri, üstlenilen rolleri ve gelecekteki araştırma ihtiyaçlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Scopus ve ERIC veri tabanlarında PRISMA yönergeleri doğrultusunda yürütülen tarama sonucunda 87 nitelikli makale incelenmiştir. İçerik analiziyle elde edilen bulgular, matematik eğitiminde YZ (MEYZ) rollerinin beş ana kategori altında toplandığını göstermektedir: öğrenci öğrenmesi, öğretmen odaklı uygulamalar, materyal hazırlama, araç odaklı değerlendirmeler ve veri odaklı çalışmalar. Öğrenci öğrenmesi rolü en baskın kategori olup, özellikle bireyselleştirilmiş öğrenme, anlık geri bildirim ve motivasyon artışı gibi işlevlerle öne çıkmıştır. Bu kategoride en sık kullanılan YZ araç-ları Akıllı Özel Ders Sistemleri (ITS) ve Büyük Dil Modelleri (LLM) olmuştur. Araştırma tasarımları açısından karma yöntem çalışmaları ağırlık kazanırken, örneklem düzeyinde üniversite öğrencilerine odaklanan çalışmalar çoğunluktadır. Öte yandan, okul öncesi gruplar, öğretmen eğitimi ve ölçme gibi içerik alanları araştırmalarda oldukça sınırlı temsil edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, MEYZ alanındaki araştırmaların giderek çeşitlendiğini, ancak öğretmen merkezli uygulamalar, veri analitiği kullanımı ve pedagojik materyal geliştirme gibi kritik alanlarda derinlemesine çalışmalara ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

ABSTRACT

The integration of artificial intelligence (AI) technologies into educational settings is currently creating profound transformations, particularly in the context of mathematics instruction. This systematic literature review aims to identify the trends, assumed roles, and future research needs regarding the integration of AI technologies into mathematics education by analyzing studies published between 2020 and 2025. Following the PRISMA guidelines, 87 high-quality articles were examined through a screening process conducted in the Scopus and ERIC databases. The findings obtained through content analysis show that the roles of AI in mathematics education (AIME) are grouped under five main categories: student learning, teacher-oriented practices, material development, tool-based evaluations, and data-driven studies. The student learning role emerged as the most dominant category, especially standing out with functions such as personalized learning, real-time feedback, and increased motivation. In this category, the most frequently used AI tools were Intelligent Tutoring Systems (ITS) and Large Language Models (LLMs). In terms of research design, mixed-method studies were predominant, and most of the sample groups focused on university students. On the other hand, preschool groups, teacher training, and content areas such as assessment were found to be significantly underrepresented in the literature. The results of the study indicate that research in the field of AIME is becoming increasingly diversified; however, there is still a critical need for in-depth studies in areas such as teacher-centered practices, data analytics usage, and the development of pedagogical materials.

¹ Doktora Öğrencisi, Çukurova Üniversitesi Matematik Eğitimi Anabilim Dalı, mervegulisk@gmail.com, ORCID: 0009-0007-2037-4877

² Profesör Doktor, Çukurova Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, kamuran.tarim@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2048-5207

Alıntılanmak için/Cite as:
Işık, M., & Tarım, K. (2026).
Matematik eğitiminde yapay
zeka: eğilimler, roller ve
gelecek yönelimleri üzerine
sistemik bir inceleme.
Çukurova Üniversitesi Sosyal
Bilimler Enstitüsü Dergisi,
s. 1-23.

GİRİŞ

Matematik eğitimi, mühendislik, fen bilimleri ve ekonomi gibi disiplinler için temel bir yapı taşıdır. Ancak birçok öğrenci, matematiksel kavramları anlamakta güçlük çekmekte, bu da öğrenme sürecini olumsuz etkileyebilmektedir (Tarım, 2009). Yapay zeka (YZ/AI) teknolojileri, bu engelleri aşarak öğrencilerin matematik başarısını artırmada etkili bir çözüm sunma potansiyeline sahiptir (Yi vd., 2024). Son zamanlarda bu potansiyelin fark edilmesi, matematik eğitiminde yapay zeka (MEYZ/AIME) alanında yapılan çalışmalarda büyük bir artış meydana getirmiştir.

YZ, bilgisayarların insan benzeri zekâ ve öğrenme yeteneklerine sahip olmasını sağlayarak veri analizi, problem çözme, karar verme ve dil işleme gibi bilişsel işlevleri taklit eden bir teknoloji alanıdır (Işık & Sarpkaya Aktaş, 2024; Ng vd., 2024; Siemens vd., 2022). MEYZ alanında, bu teknolojiden faydalanan çeşitli YZ araçları kullanılmaktadır. Bu araçlar, öğrencilerin bireysel ihtiyaçlarına odaklanan ve öğrenme süreçlerini destekleyen uygulamalar sunmaktadır. Örneğin, YZ destekli Uyarlanabilir Öğrenme Sistemleri (ALS), öğrencilerin bireysel öğrenme süreçlerini analiz ederek kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sağlamaktadır. Bu sistemler, matematik başarısını artırma, öğrenmeyi kişiselleştirme, kaygıyı azaltma ve motivasyonu yükseltme gibi birçok avantaj sunmaktadır (Cunsk, 2022; Han vd., 2024; Hwang vd., 2020; Rzyankina vd., 2024; Sayed vd., 2023). Bunun yanında, YZ destekli Akıllı Özel Ders Sistemleri (ITS), öğrencilere gerçek zamanlı geri bildirim sağlayarak bireysel ihtiyaçlara göre rehberlik eden, öğretmen benzeri kişiselleştirilmiş öğretim sunan sistemlerdir. Bu sistemler, özellikle öğrencilerin modelleme ve problem çözme becerilerini geliştirmeyi, öğrenme süreçlerine aktif katılımı teşvik etmeyi ve motivasyonu artırmayı amaçlamaktadır (de Chiusole vd., 2020; Krygin vd., 2024; Le, & Jia, 2022; VanLehn vd., 2020; VanLehn vd., 2024).

MEYZ alanında sıklıkla kullanılan bir diğer YZ uygulaması ise Eğitimsel Veri Madenciliği'dir (EDM). EDM, büyük ölçekli eğitim verilerini analiz ederek öğrenme modelleri oluşturma, öğrenci performansını tahmin etme ve öğretim süreçlerini iyileştirme amacı

taşımaktadır (Aleem, & Gore, 2020; Bošnjaković, & Babić, 2023). Bu bağlamda, MEYZ'de EDM; veri kümelerindeki kalıpları keşfetme, önemli öznitelikleri belirleme ve öğrenci performansını modelleme gibi işlevlerde kullanılmaktadır (Jones, 2022; Özgen, & Narlı, 2020; Pérez-Suay vd., 2023). Bir başka önemli YZ alanı olan Doğal Dil İşleme (NLP), bilgisayarların insan dilini anlaması, analiz etmesi ve üretmesini içermektedir (Jacobs vd., 2024). Matematik eğitiminde ise NLP; öğretmen-öğrenci etkileşimlerini analiz etme, bireyselleştirilmiş geri bildirim sağlama, sohbet robotları oluşturma ve rutin görevleri otomatikleştirme gibi işlevler sunmaktadır (Jacobs vd., 2024; Li vd., 2022; Moral-Sánchez vd., 2023).

Bunlara ek olarak, son dönemde dikkat çeken Üretken YZ (GenAI), büyük dil modelleri (LLM) temelinde çalışan ve internet ile çeşitli veri kaynaklarından öğrenerek insan benzeri içerikler üretebilen bir teknolojidir (Ng vd., 2025). ChatGPT ve Gemini gibi LLM tabanlı sistemler, MEYZ bağlamında matematik problemi çözümünde rehberlik etme, bireyselleştirilmiş geri bildirim sağlama, kavramsal karmaşıklığı azaltma ve öğretmenlere destek olma gibi birçok işlevi yerine getirmektedir (Groothuisen vd., 2024; Kahraman, & Goksu, 2024; Remoto, 2023; Taani, & Alabidi, 2024). Bu sistemlerin temelinde yer alan Makine Öğrenimi (ML) ve Derin Öğrenme (DL) ise, YZ sistemlerinin yapıtaşları olarak modern analitik modellerin geliştirilmesinde kritik roller üstlenmektedir (Janiesch vd., 2021). Ayrıca Web 2.0 araçlarının, YZ'den bağımsız olarak da matematik eğitiminde etkililiği ortaya konmuşken (Işık, & Sarpkaya Aktaş, 2025), bu araçlara YZ entegrasyonunun sağlanması, mevcut pedagojik faydaların derinleşmesine olanak tanımıştır (Gürefe, 2024). Tüm bu YZ türleri, matematik eğitiminde öğretimi geliştirmesi ve öğrenci ihtiyaçlarına uygun çözümler sunması sayesinde alanyazında yaygın olarak tercih edilmektedir.

Sistemik literatür incelemeleri, geleneksel derlemelere kıyasla şeffaflığı ve tekrarlanabilirliği artırarak yanlılığı azaltan ve önceki araştırmalar üzerine yapı inşa etmeyi kolaylaştıran önemli bir yöntemdir (Lame, 2019). MEYZ alanında çalışmalar hızla artarken, alanyazın da genişlemekte; bu da bu teknolojilerin rolleri, eğilimler ve araştırma boşluklarını belirlemek için sistematik incelemeleri gerekli kılmaktadır. YZ'nin matematik

eğitime entegrasyonunu ele alan araştırmalar, bu teknolojilerin öğrenme süreçlerine etkisi, pedagojik uyumu ve araştırma eğilimlerini incelemektedir.

Panqueban ve Huincahue (2024) ve Yi vd. (2024), farklı veri setleri üzerinden yürüttükleri incelemelerde özellikle ALS ve ITS sistemlerinin öğrenci başarısına anlamlı katkılar sağladığını, buna karşın pedagojik ajanların etkisinin sınırlı kaldığını belirtmiştir. Her iki çalışmada da öğretmenlerin bu teknolojileri etkili biçimde kullanabilmeleri için özel bir eğitime ihtiyaç duyduklarının vurgulanması, literatürdeki yapısal bir boşluğa işaret etmektedir. Ayrıca Panqueban ve Huincahue'nun çalışmasında ABD ve Çin merkezli araştırmaların baskınlığı, erken çocukluk ve öğretmen eğitimi alanlarının ise büyük ölçüde ihmal edilmesi, mevcut bilgi birikiminin bağlamsal ve tematik açıdan sınırlı olduğunu göstermektedir.

Benzer eğilimler, farklı bağlamlara odaklanan diğer çalışmalarla da desteklenmektedir. Örneğin, Opesemowo ve Adewuyi (2024) kişiselleştirilmiş öğrenme, anlık değerlendirme ve öğretmen gelişimini öne çıkarırken, ChatGPT'nin en yaygın araç olarak öne çıkması ve nitel yöntemlerin ağırlığı, önceki derlemelerden ayrılan bir yön olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin eğitim eşitsizliklerini azaltma potansiyeli vurgulanırken, etik sorunlar, erişim kısıtlılıkları ve insan-YZ dengesi gibi meselelerin hâlen kritik önemde olduğu görülmektedir. Benzer biçimde, Son (2024) tarafından SAMR modeli üzerinden yapılan inceleme, ITS'lerin çoğunlukla "artırma" düzeyinde konumlandığını ve "yeniden tanımlama" düzeyine nadiren ulaşıldığını göstermiştir. Bu bulgu, öğrencilerin yoğun rehberlik ihtiyacı ve öğretmenlerin rolünün sınırlı kalışıyla ilişkilendirilerek, önceki çalışmalarla tutarlı bir şekilde pedagojik entegrasyon sorununu yeniden ortaya koymaktadır.

COVID-19 sürecinde ITS kullanımına odaklanan del Olmo-Muñoz vd. (2023) ise, bu teknolojilerin sosyoekonomik farkları azaltma potansiyeline sahip olduğunu, ancak öğretmen merkezli yaklaşımların hâlen baskınlığını koruduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, bir yandan YZ'nin fırsat eşitliği yaratma kapasitesine işaret ederken, diğer yandan pedagojik dönüşümün

sınırlı düzeyde gerçekleştiğini vurgulamaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut literatür, YZ tabanlı öğretim uygulamalarının öğrenci başarısını destekleme potansiyelini açık biçimde ortaya koymakta; ancak coğrafi sınırlılıklar, erken çocukluk ve öğretmen eğitimi alanlarındaki boşluklar, yöntemsel tekdüzelik ve öğretmen rolünün zayıf entegrasyonu, daha bütüncül ve yenilikçi araştırmalara duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

Tüm bu çalışmalar, bu teknolojilerin matematik eğitiminde büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve bireyselleştirilmiş öğrenme deneyimleri, anlık geri bildirim mekanizmaları ve öğretmen destekli teknoloji entegrasyonu gibi unsurların öne çıktığını göstermektedir. Bu bağlamda, YZ tabanlı öğretim sistemlerinin sadece destekleyici değil, öğrenme süreçlerini yeniden şekillendiren unsurlar olarak ele alınması, matematik eğitiminin geleceği açısından kritik bir öneme sahiptir. Alanyazın incelendiğinde, sistematik literatür taramalarına dâhil edilen çalışmaların sayıca az olduğu, genellikle belirli temalara ve YZ türlerine odaklandığı görülmektedir. Bu durum, elde edilen bulguların genellenebilirliğini ve alanın daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesini zorlaştırmakta, dolayısıyla MEYZ bağlamında daha kapsamlı ve çeşitlendirilmiş araştırmalara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, YZ teknolojilerinin matematik eğitime entegrasyonunu ele alan ve 2020-2025 yılları arasında yayımlanmış araştırmaları, alanyazındaki eğilimleri, uygulama alanlarını ve gelecekteki araştırma ihtiyaçlarını belirlemek için sistematik bir inceleme yapmak amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranacaktır:

1. MEYZ kullanımına yönelik araştırmalarda YZ'nin üstlendiği roller nasıl sınıflandırılabilir?
2. Belirlenen sınıflardaki çalışmalar, yayın yıllarına, araştırma tasarımlarına ve kullanılan YZ araçlarının türlerine göre nasıl bir dağılım göstermektedir?
3. YZ kullanım rollerine sahip çalışmalar kendi içlerinde hangi alt kategorilere ayrılmaktadır ve bu alt kategoriler hangi pedagojik ve teknolojik faktörlerle şekillenmektedir?

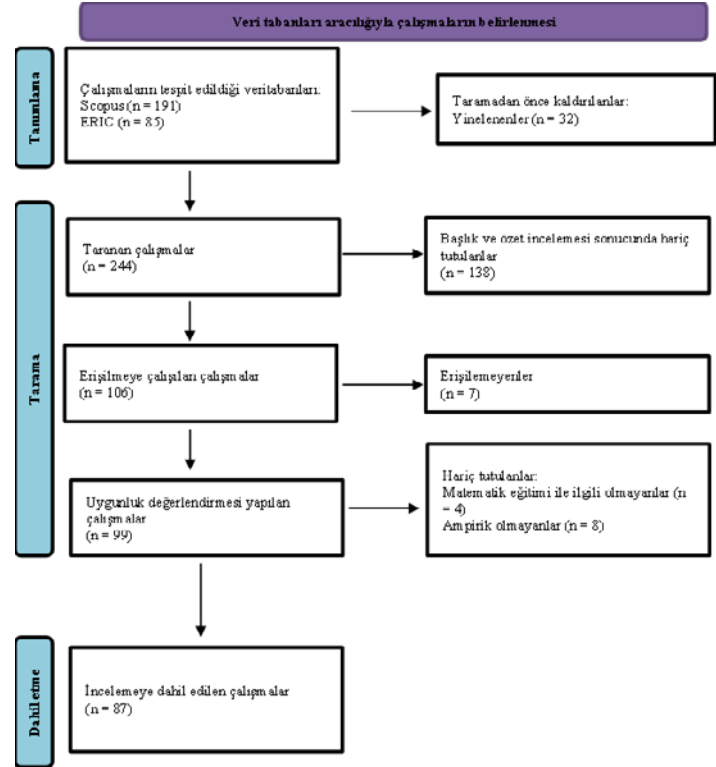
YÖNTEM

Araştırmada, çalışma konusunun bilimsel doğruluk, şeffaflık ve uygunluk ilkelerine bağlı kalarak kapsamlı bir şekilde ele alınabilmesi için, taramadan raporlamaya kadar tüm süreçlerde Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) yönergelerine uygun hareket edilmiştir. Bu metodolojik yönergeler, PRISMA kontrol listeleri kullanılarak özenle takip edilmiştir (Page vd., 2021).

Araştırma kapsamında, alanyazın taraması Scopus ve ERIC veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Veri tabanı seçimi, eğitim ve sosyal bilimler alanlarında kapsamlı indeksleme sağlamaları ve ilgili alanyazında sıkça tercih edilmeleri nedeniyle bu iki kaynakla sınırlandırılmıştır. Arama sürecinde, daha önce yapılmış çalışmaların anahtar kelimeleri dikkate alınmış, Boolean operatörlerinden yararlanılarak 4 Ocak 2025 tarihinde tarama yapılmıştır. Kullanılan arama stratejisi şu şekilde belirlenmiştir: (mathematics OR math) AND (education OR learning OR teaching) AND (AI OR "artificial intelligence"). Veri tabanlarının sunduğu filtreler aracılığıyla yayın yılı 2020-2025 arası, dil İngilizce ve belge türü olarak yalnızca hakemli araştırma makaleleri seçilmiştir. Bu kapsamda, Scopus veri tabanından 191, ERIC veri tabanından ise 85 çalışmaya ulaşılmıştır.

Toplamda 276 çalışmadan oluşan bu liste üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, yinelenen 32 çalışma çıkarılmıştır. Geriye kalan çalışmaların başlıkları ve özetleri incelenmiş ve bu incelemenin ardından 99 makalenin tam metin analizi yapılmıştır. Hariç tutma kriterleri doğrultusunda, matematik eğitimiyle ilişkili olmayan ve ampirik olmayan

çalışmalar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Tüm bu süreçlerin sonunda, 87 çalışmanın bu sistematik inceleme için uygun olduğuna karar verilmiştir. Bu sürecin akışı Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1 Makale Seçim Sürecindeki PRISMA Akış Diyagramı

Teorik Alt Yapı ve Analiz Prosedürü

2020 ile 2025 yılları arasındaki dahil etme kriterlerine uygun 87 çalışmaya yapılan tam metin incelemesinde içerik analizi ile kodlama yapılmıştır. Tablo 1’de yapılan kodlamanın şeması verilmiştir.

Tablo 1 Kodlama Şeması

Yapay zekanın rolü	Boyut	Sınıflandırma
Öğrenci öğrenmesi	Yayın yılı	2020
		2021
		2022
		2023
		2024
		2025
	Araştırma tasarımı	Nitel
		Nitel
		Karma
	Baskın YZ aracı türü	ALS
		ITS
		LLM
		NLP
		EDM
		ML
DL		
	Karışık hazır araçlar	
Örneklem	Okul öncesi	
	İlkokul	
	Ortaokul	
	Lise	
	Üniversite	
	Karışık	
Matematiksel içerik	Sayılar ve işlemler	
	Cebir	
	Geometri	
	Veri analizi ve olasılık	
	Karışık	
Bağlam	Fiziksel sınıf	
	Çevrimiçi	
	Hibrit	
	Bireysel çalışma	
Öğretmen odaklı	Yayın yılı	2023
		2024
	Araştırma tasarımı	Nitel
		Nitel
		Karma
	Baskın YZ aracı türü	ALS
		LLM
		NLP
		Karışık hazır araçlar
	Bağlam	Görüş alma
Deneyim		
Mesleki gelişim		
Öğretmen yetiştirme		

Tablo 1 Kodlama Şeması

Yapay zekanın rolü	Boyut	Sınıflandırma
Materyal hazırlama	Yayın yılı	2024
	Araştırma tasarımı	Nicel Nitel Karma
	Baskın YZ aracı türü	LLM
	Bağlam	Ders planı Çalışma yaprağı
	Yayın yılı	2023 2024
Araç odaklı	Araştırma tasarımı	Nicel Nitel Karma
	Baskın YZ aracı türü	LLM Karışık hazır araçlar
	Bağlam	İnceleme İnsanlarla karşılaştırma Araçları karşılaştırma
	Yayın yılı	2021 2022 2023 2024
	Araştırma tasarımı	Nicel Nitel Karma
Veri odaklı	Baskın YZ aracı türü	ALS ITS LLM NLP EDM ML
	Bağlam	Veri toplama Veri analizi Veri toplama ve analizi

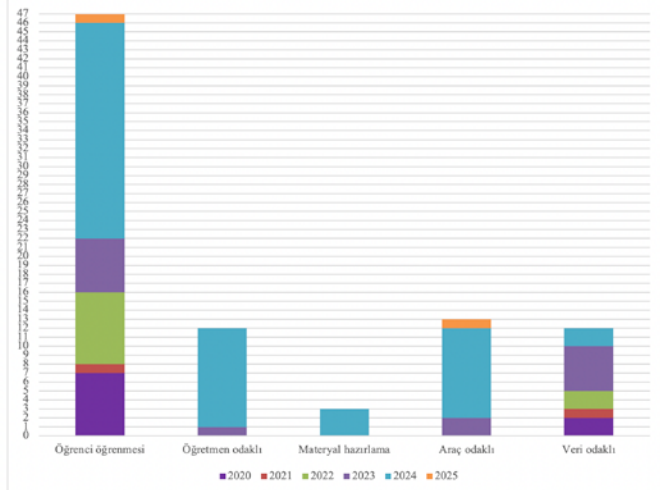
İlk önce makaleler içeriğinde kullanılan YZ'nin baskın olan rolüne göre sınıflandırıldıktan sonra, her bir rol kendi içinde farklı boyutlara ayrılarak kodlanmıştır. Araştırma tasarımı kategorisi, üç temel yöntemsel yaklaşımı kapsayacak şekilde yapılandırılmış olup, bu kapsamda nicel, nitel ve karma araştırma tasarımı alt kategorileri belirlenmiştir (Creswell & Creswell, 2021). Matematiksel içerik kategorileri ise, NCTM (2000) tarafından belirlenen standartlara dayanarak oluşturulmuştur. Tüm içerik analizi sürecinde mevcut sistematik incelemenin amacına uygun olarak alanyazın göz önünde bulundurulmuştur (Hidayat, & Wardat,

2024; Hwang, 2022; Hwang, & Tu, 2021; Maulida vd., 2024; Mohamudally-Boolaky, & Padachi, 2024; del Olmo-Muñoz vd., 2023; Rao, & Bhagat, 2024; Son, 2024; Xu, & Ouyang, 2022; Yi vd., 2024).

ARAŞTIRMA BULGULARI

MEYZ entegrasyonunu ele alan çalışmalarda, YZ araçlarının genellikle birden fazla işlev üstlendiği gözlemlenmiştir. Ancak her çalışmada, YZ'nin baskın olarak kullanıldığı belirli bir rol öne çıkmaktadır. Bu sistematik literatür taramasında incelenen 87 çalışmaya

içerik analizi uygulanmış ve çalışmalarda YZ'nin üstlendiği ana roller doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Yayın yılı, araştırma tasarımı ve baskın YZ aracı türü tüm roller için ortak alt kategoriler olduğundan birlikte sunulmuş, her role özgü alt kategoriler ise ayrı olarak verilmiştir. Rol sınıflandırmasına ve yayın yıllarına göre makalelerin dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Makalelerin YZ Rollerine ve Yıllara Göre Dağılımı

Söz konusu araçlarla gerçekleştirilen çalışmaların hangi kategorilerde odaklandığı görülmektedir. Öğrenci öğrenmesi, YZ'nin öğrencilerin matematiksel becerilerini geliştirmeye yönelik kullanımını; motivasyon, tutum ve öz düzenleme gibi duyuşsal özelliklerin desteklenmesini; öğrenme ortamlarının zenginleştirilmesini ve bireysel öğrenmenin teşvik edilmesini kapsamaktadır. Ayrıca, öğrenci öğrenmesi kategorisi, YZ'nin öğrenci başarısını izleme, geri bildirim sağlama ve öğrenme süreçlerini kişiselleştirme gibi işlevlerinin de odak noktası olduğu çalışmaları içermektedir.

Araç odaklı makalelerin yer aldığı kategori, eğitimde kullanılan YZ araçlarının araştırmanın odağına alınarak matematik eğitimindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlayan çalışmaları kapsamaktadır. Bu kategori, YZ tabanlı araçların öğrenciler veya öğretmenlerle karşılaştırılmasını; farklı YZ araçlarının birbirleriyle kıyaslanmasını, bu araçların kullanımına ilişkin avantajlar, sınırlılıklar ve uygulama süreçlerinin analiz edilmesini içermektedir. Ayrıca, araçların öğrenme sürecine entegrasyonuna yönelik pedagojik, teknik ve pratik

yönlerin incelenmesi de bu kapsamda ele alınmaktadır.

Öğretmen odaklı makaleleri içeren kategori ise, söz konusu araçlara ilişkin öğretmen algıları ve tutumları, YZ destekli matematik öğretimi konusundaki pedagojik uygulamalar ve öğretim deneyimleri üzerine odaklanmaktadır. Ayrıca, matematik öğretmenleri ve öğretmen adaylarının mesleki gelişimi, YZ tabanlı eğitim teknolojilerinin öğretim süreçlerine entegrasyonu ve bu teknolojilerin öğretmen eğitimi üzerindeki etkileri gibi konulara odaklanan; YZ destekli öğretim süreçlerinde öğretmenlerin rolü, karşılaştıkları fırsatlar ve zorluklar ile mesleki yeterliliklerini geliştirmeye yönelik yaklaşımlar üzerine çalışmalar da yer almaktadır.

Veri odaklı kategorisi, YZ araçlarının yalnızca öğretim ortamlarından veri toplamak amacıyla kullanıldığı çalışmaları veya yalnızca mevcut verilerin analizine odaklanan araştırmaları kapsamakta birlikte hem veri toplama hem de veri analizi süreçlerini birlikte ele alan çalışmalara da bu kategoriye dahil edilmiştir. Bu kapsamda, YZ destekli sistemlerin eğitim verilerinin toplanması, işlenmesi ve yorumlanmasına yönelik tüm çalışmalar bu kategoride ele alınmıştır.

Son olarak materyal hazırlama kategorisi, YZ araçlarının matematik eğitiminde yalnızca klasik bir öğretim materyali hazırlamak için kullanıldığı çalışmaları içermektedir. Özellikle çalışma yapıları ve ders planları hazırlanmasına yoğunlaşan bu çalışmalarda söz konusu araçların başka bir rolde kullanılmadığı görüldüğünden farklı bir kategori olarak ele almak uygun görülmüştür.

YZ araçlarının makalelerdeki baskın rolleri üzerinden yapılan sınıflandırmayla ayrılan çalışmaların araştırma tasarımlarına göre dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 YZ Rollerine Göre Sınıflandırılan Makalelerin Araştırma Tasarımlarına Göre Dağılımı

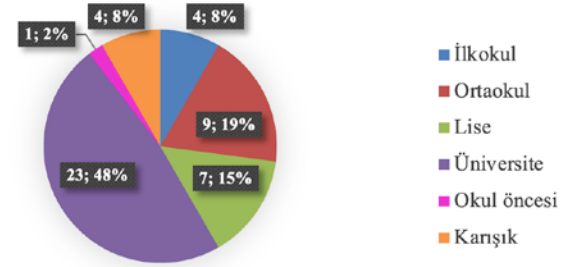
Roller	Nicel	Nitel	Karma
Öğrenci öğrenmesi	10	12	25
Öğretmen odaklı	4	3	5
Materyal hazırlama	1	1	1
Araç odaklı	2	3	8
Veri odaklı	4	4	4
Toplam makale sayısı	21	23	43

Tablo 2’de görüldüğü üzere toplam 21 çalışma nicel, 23 çalışma nitel, 43 çalışma ise karma tasarıma sahiptir. Bu çalışmalara içerik analizi uygulanırken hem veri toplama yöntemleri hem de veri toplama araçları incelenerek bu kategorilere dağılımları yapılmıştır. Öğrenci öğrenmesi, öğretmen odaklı, araç odaklı isimli kategorilerde çoğunlukla karma tasarımın tercih edildiği görülürken, diğer kategorilerde de nitel ve nicel araştırma tasarımlarıyla karma tasarım eşit sayıda tercih edilmiştir. Karma tasarımın baskınlığı, araştırmacıların yalnızca öğrenme çıktıları değil, süreç ve deneyimleri de anlamaya yöneldiklerini düşündürmektedir.

Mevcut sistematik taramada incelenen makalelerde kullanılan YZ araçları genellikle birden fazla türün birleşiminden elde edilmiştir. Bu makalelerdeki en baskın türlere odaklanarak Tablo 3’teki şekilde dağılımı yapılmıştır.

Tablo 3’te görüldüğü üzere en çok LLM odaklı YZ araçları tercih edilmiştir. Bu bulgu, son yıllarda ChatGPT gibi araçların hızlı yaygınlaşmasıyla ilişkili olabilir. Bunu ITS, EDM, NLP ve ALS türlerinin baskın olduğu YZ araçlarının kullanıldığı çalışmalar takip etmektedir. Öte yandan ML ve DL türlerinin baskın tür olarak daha az tercih edildiği görülmektedir. Rollere göre ise en baskın türler değişkenlik göstermektedir. Öğrenci öğrenmesi rolünde en çok tercih edilen YZ türü ITS’ler olmuştur. Öğretmen odaklılarda dil modelleri daha çok tercih edilmiştir. Materyal hazırlama rolünde tek tip araç tercih edildiği görülmektedir. Yine aynı şekilde araç odaklı kategoride LLM’ler ağırlıktadır. Veri odaklı rolünde ise EDM türünün baskın olduğu araçlar öne çıkmaktadır.

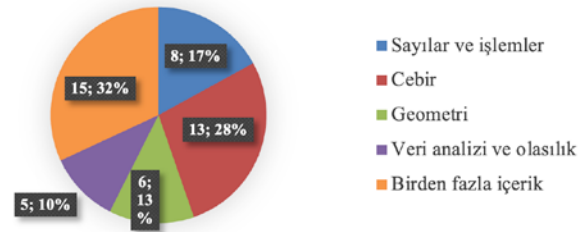
Şekil 3 öğrenci öğrenmesi kategorisindeki makalelerin örneklem dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 3 Öğrenci Öğrenmesi Kategorisindeki Makalelerin Örneklem Türlerine Göre Dağılımı

Şekil 3’teki daire grafiği incelendiğinde en çok üniversite öğrencileri ile çalışma yapıldığı görülmektedir. Bunu sıralı olarak ortaokul, lise, ilkokul ve okul öncesi öğrencileri ile yapılan çalışmalar takip etmektedir. Birden fazla örneklem grubu ile çalışma yapan makaleler de bulunmaktadır.

YZ’nin öğrenci öğrenmesi üzerindeki rolüne odaklanan makalelerin matematik içeriklerine göre dağılımı Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4 Öğrenci Öğrenmesi Kategorisindeki Makalelerin Matematik İçeriklerine Göre Dağılımı

Tablo 3 Çalışmalardaki YZ Araçlarında Baskın Olan Türlerle Göre Makalelerin Dağılımı

Roller	ALS	EDM	NLP	LLM	ITS	ML	DL	Karışık hazır araçlar
Öğrenci öğrenmesi	5	3	3	9	13	4	2	8
Öğretmen odaklı	1	0	3	4	0	0	0	4
Materyal hazırlama	0	0	0	3	0	0	0	0
Araç odaklı	0	0	0	12	0	0	0	1
Veri odaklı	1	5	2	2	1	1	0	0
Toplam makale sayısı	7	8	8	30	14	5	2	13

Şekil 4’te görüldüğü üzere matematik içeriklerinin dağılımında ağırlık birden fazla içeriğin aynı anda çalışılmasındadır. Bunu 13 çalışma ile cebir alt alanı ve 8 çalışma ile sayılar ve işlemler alt alanı takip etmektedir. 6 çalışma ile geometri alanı ve 5 çalışma ile veri analizi ve olasılık alanı da bu kategoriler arasında yer almaktadır. Ancak incelemeler sonucunda ölçme alanına odaklanan hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bulgu, matematik eğitimi araştırmalarında ölçme alt alanının YZ bağlamında henüz ele alınmadığını ortaya koymaktadır.

Öğrenci öğrenmesi kategorisinde YZ araçlarının kullanım ortamlarına ilişkin dağılım incelendiğinde, çalışmaların büyük bir kısmının fiziksel sınıf ortamında gerçekleştirildiği ve bu kapsamda 25 çalışmanın yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, çevrimiçi ortamlarda yürütülen uygulamalara 13 çalışmada rastlanmıştır. Hem fiziksel hem de çevrimiçi ortamları kapsayan 2 çalışma hibrit kategori altında değerlendirilmiştir. Ayrıca, öğrencilerin kendi bireysel öğrenme ortamlarında, belirli bir bağlamdan bağımsız olarak gerçekleştirdikleri uygulamaları içeren 7 çalışma ise bireysel çalışma kategorisi kapsamında ele alınmıştır.

YZ araçlarının matematik eğitiminde öğretmen odaklı kullanım amaçlarına ilişkin dağılım incelendiğinde, çalışmaların ağırlıklı olarak öğretmenlerin mesleki gelişimini YZ destekli olarak geliştirmeye odaklandığı ve bu kapsamda 4 çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, öğretmenlerin YZ araçlarının matematik derslerinde kullanımına yönelik görüşlerini ele alan 3 çalışma ile öğretmenlerin bu araçlarla gerçekleştirdikleri ders deneyimlerini inceleyen yine 3 çalışma yer almaktadır. Ayrıca, öğretmen adaylarının pedagojik gelişimini desteklemeyi amaçlayan 2 çalışma da bu kategori kapsamında değerlendirilmektedir.

YZ araçlarının matematik öğretiminde yalnızca ders materyali hazırlama amacıyla kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, toplam 3 çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmaların 2’sinde YZ araçlarının ders planı hazırlamak amacıyla kullanıldığı, 1’inde ise matematik konularına yönelik çalışma yaprağı oluşturmak için kullanıldığı belirlenmiştir.

YZ araçlarının merkeze alındığı matematik eğitimi çalışmalarının, araçların değerlendirilme biçimlerine göre dağılımı incelendiğinde üç farklı yaklaşımın öne çıktığı görülmektedir. Bu kapsamda, YZ araçlarının matematik konularındaki yetkinliğini doğrudan inceleyen 5 çalışma, farklı YZ araçlarını matematik eğitimi bağlamında karşılaştıran yine 5 çalışma ve bu araçların performansını insan uygulamalarıyla kıyaslayan 3 çalışma bulunmaktadır.

YZ araçlarının veri toplama ve analiz amaçlarıyla kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, bu araçların ağırlıklı olarak veri analizi sürecinde kullanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda 9 çalışma YZ araçlarının matematik eğitimiyle ilgili verileri analiz etme amacıyla kullanıldığını ortaya koyarken, 2 çalışmada yalnızca veri toplama amacıyla kullanıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, 1 çalışmada YZ araçlarının hem veri toplama hem de veri analizi süreçlerinde birlikte kullanıldığı görülmektedir.

TARTIŞMA

Bu çalışma, YZ teknolojilerinin matematik eğitime entegrasyonunu ele alarak, alandaki eğilimleri, uygulama alanlarını ve gelecekteki araştırma ihtiyaçlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, söz konusu teknolojinin matematik eğitimindeki rollerinin nasıl sınıflandırılabileceği, bu rollerin araştırmalarda hangi değişkenlere göre nasıl bir dağılım gösterdiği ve YZ türleri ile farklı öğrenme bağlamları arasındaki etkileşimin nasıl şekillendiği araştırılmıştır. Tartışma bölümünde, elde edilen bulgular ışığında bu sorulara yönelik çıkarımlar yapılacak ve alanyazındaki çalışmalarla ilişkili değerlendirmeler sunulacaktır.

MEYZ Araştırmalarında Kullanılan YZ’nin Üstlendiği Rollerin Sınıflandırılması

İncelenen çalışmalarda YZ’nin üstlendiği rollerden öğrenci öğrenmesi rolü öne çıkmakta olup, araştırmacıların YZ teknolojilerini büyük ölçüde matematiksel öğrenme süreçlerini desteklemek ve geliştirmek üzerine kullandığı söylenebilir. YZ araçlarının matematik eğitime olumlu etkisi birçok çalışmada gösterildiğinden (Yi vd., 2024), araştırmacıların bu teknolojileri ağırlıklı olarak bu amaçla kullanması şaşırtıcı değildir. Panqueban ve Huinchahue

(2024) çalışmalarında da benzer şekilde öğretimin desteklenmesindeki kullanım yönü daha fazla bulunmuştur. Bu araçların kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunması, öğrencilerin başarısını izlemede kolaylık sağlaması, anlık geri bildirim özelliklerini barındırması gibi öğretim süreçleriyle ilgili işlevsellikleri tercih edilebilirliğini arttırmış olabilir (Cunsa, 2022; Hwang vd., 2020; Li vd. 2025; Ng vd.,2025; VanLehn vd., 2024).

Araç odaklı kategori, en sık tercih edilen ikinci rol olmuştur. Bu kategoride, özellikle YZ araçlarının matematik konularındaki işlevlerinin değerlendirildiği, problem çözme becerilerinin incelendiği ve bu araçların birbirleriyle karşılaştırıldığı çalışmalar ele alınmıştır. Ayrıca, YZ araçlarının insan becerileriyle kıyaslandığı araştırmalara da bu kategoride yer verilmiştir. Günümüze yaklaştıkça YZ araçlarının ulaşılabilirliği ve çeşitliliğinin artması bu araçların performanslarının her açıdan merak edilmesine yol açmış olabilir (Elkefi vd., 2024; Long vd., 2024; King vd., 2024; Samala vd., 2024). Ayrıca araştırmacılar söz konusu araçları pedagojik aktörler olarak görmenin yanı sıra halihazırda var olan öğretim süreçlerini destekleyici bir araç olarak da görmelerinden dolayı da bu kategorideki araştırma sayısı diğerlerinden yüksek çıkmış olabilir (Chan vd. 2025; Sapkota, & Bondurant, 2024).

Öğretmen odaklı kategori, incelenen araştırmaların yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır ve özellikle öğretmenler ile öğretmen adaylarının örneklem olarak yer aldığı çalışmaları kapsamaktadır. MEYZ çalışmalarında öğretmenleri merkezine alan çalışmaların görece daha az olmasının birkaç nedeni olabilir. YZ araştırmaları genellikle eğitimdeki araçların doğrudan öğrenci üzerindeki etkilerine odaklanırken, öğretmenlerin rolünü inceleyen çalışmalar daha az ilgi görmüş olabilir (Ng vd., 2023; Panqueban, & Huinchahue, 2024), Ayrıca, öğretmenlerin YZ tabanlı teknolojileri benimseme süreci öğrencilerin benimsemesi veya eğitim araçlarının entegrasyonu kadar hızlı ilerlemeyebilir (Seo vd., 2021). Bunun yanı sıra, YZ destekli öğretmen eğitimi nispeten yeni bir alan olduğundan, bu konuda akademik çerçevelerin tam olarak oturmamış olması araştırma sayısının düşük kalmasına yol açmış olabilir (Ifenthaler vd., 2024; Sperling vd., 2024).

Veri odaklı kategori öğretmen odaklı kategori ile eşit sayıda çalışmayı kapsamaktadır. İçeriğindeki çalışmaların ana temaları, YZ araçlarıyla öğretmenlerden ve öğrencilerden veri toplayarak veya toplanmış olan verileri analiz ederek matematik başarısızlığı olan öğrencilerin düşük performans riskini tahmin etmek veya çeşitli değerlendirmeler yapmaktır (Li vd.; 2022; Zanellati vd., 2023). Veri odaklı çalışmaların sayısının azlığı dikkat çekmektedir. Oysaki bu teknolojilerin veri toplama ve analiz süreçlerinde kullanılması, bireyselleştirilmiş öğrenme, erken müdahale, gerçek zamanlı geri bildirim ve uyarlanabilir değerlendirme imkanları sunarak matematik eğitiminde öğrenme süreçlerini daha etkili ve verimli hale getirebilir (Bayaga, 2024; Pérez-Suay vd., 2023; Salas-Rueda vd., 2020).

En az çalışmanın rastlandığı materyal hazırlama kategorisindeki tüm araştırmalar hazır YZ araçlarıyla ders planları ve çalışma yaprakları hazırlama ve uygulamaya yönelik çalışmaları kapsamaktadır (Alhazzani, 2024; Hu vd., 2024; Rizos vd., 2024). Bu durum alandaki araştırmaların daha çok uygulama düzeyinde kaldığını ve özgün materyal geliştirme süreçlerine yeterince yer verilmediğini ortaya koymaktadır ve bu teknolojilerin öğretim materyalleri hazırlama süreçlerinde daha etkili ve yenilikçi kullanımları için yeni araştırmalara ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir.

Bu çalışmada ulaşılan beşli YZ rolü sınıflandırması, alanyazında önerilen kapsamlı çerçevelerle karşılaştırıldığında kuramsal katkısı daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin Holmes vd. (2019), eğitimde YZ uygulamalarını öğrenci öğrenmesi, öğretmen desteği, değerlendirme ve öğrenme analitikleri, kurum düzeyi kullanımlar ve etik boyutlar altında ele almıştır. Benzer biçimde Zawacki-Richter vd. (2019) yükseköğretim bağlamında öğretim-öğrenme, yönetim, araştırma ve etik-temelli dört tematik alan tanımlamıştır. Bu çerçevelerle karşılaştırıldığında, bu çalışmada ulaşılan beş kategori özellikle “araç odaklı” ve “materyal hazırlama” boyutlarıyla özgülleşmektedir. Holmes ve Zawacki-Richter’in sınıflandırmalarında doğrudan yer almayan bu iki kategori, matematik eğitimine özgü olarak YZ araçlarının pedagojik aktör ya da öğretim materyali üreticisi işlevini görünür kılmaktadır.

MEYZ Araştırmalarının Yayın Yıllarına, Araştırma Tasarımlarına ve Kullanılan YZ Araçlarının Türlerine Göre Dağılımları

Araştırmanın en önemli bulgularından biri öğrenci öğrenmesi kategorisinin 2020’den 2024’e kadar sürekli bir artış göstermesi ve 2024’te zirveye ulaşmasıdır. Öğretmen odaklı ve araç odaklı kategoriler 2023’ten itibaren yayınlarda bir artış göstermiş, ancak 2024’te zirve yapmışlardır. Materyal hazırlama kategorisi ise sadece 2024’te dikkat çekici bir yayın artışı göstermiş. Bu durumda MEYZ alanında yapılan çalışmaların son yıllarda çeşitlendiği ve 2024 yılının tüm kategoriler için bir dönüm noktası olduğu söylenebilir. Son yıllarda YZ modellerinin, özellikle LLM’ler ve DL algoritmalarının hızla gelişmesi, YZ uygulamalarını daha erişilebilir ve etkili hale getirmiştir (Fu vd., 2024; Mathew vd., 2025; Tan vd., 2025).

Ayrıca COVID-19 pandemisi, eğitimde dijital araçların kullanımını artırmıştır ve 2020-2022 yılları arasında dijitalleşmenin getirdiği ivme (Aguilar-Esteva vd., 2023; Mate, & Weidenhofer, 2022; del Olmo-Muñoz vd., 2023), 2023-2024 yıllarında YZ tabanlı araçların daha geniş kapsamlı araştırmalara konu olmasını tetiklemiş olabilir. Birçok ülkenin, eğitimde bu teknolojinin kullanımına yönelik teşvikler ve fonlar sağlamaya başlaması, YZ sistemlerini eğitmek için kullanılan eğitim verilerinin sayısı ve kalitesinin son yıllarda ciddi şekilde artması, akademik yayınlar ile konferansların YZ temalı çalışmalara daha fazla yer vermesi bunlara ek olarak söz konusu araçların öğretmenler ve öğrenciler tarafından daha kolay entegre edilebilmesi son dönemlerdeki bu artışın sebebi olabilir (Chen vd., 2020; Mohsen, & Ho, 2024; Tan vd., 2025).

Araştırma tasarımlarındaki dağılım incelendiğinde öğrenci öğrenmesi kategorisindeki makalelerde karma tasarımın öne çıktığı görülmektedir. Bu durum matematik eğitiminde öğrenme süreçlerini incelemek için hem sayısal verilerin (test sonuçları, başarı puanları) hem de öğrencilerin öğrenme deneyimlerine ilişkin nitel verilerin (mülakat, gözlem) birlikte analiz edilmesi önemli olmasından kaynaklanabilir (Argün vd., 2010; Leikin, & Pitta-Pantazi, 2013). Çalışmaların neredeyse yarısında karma yöntem araştırmalarının tercih edildiği görülmektedir. Nicel ve nitel yöntemlerin bir arada kullanılması, araştırma probleminin daha kapsamlı ve derinlemesine incelenmesine olanak

tanır (Creswell, & Creswell, 2021). Bu nedenle, sürekli güncellenen ve dinamik yapıya sahip MEYZ alanında karma yöntem kullanımının yaygın olması beklenen bir durumdur. Öğretmen odaklı çalışmalarda da karma yöntem kullanımı öne çıkmaktadır. YZ araçlarının öğretim sürecinde öğretmenler tarafından nasıl algılandığını ve benimsendiğini incelemek için öğretmen görüşlerini almayı gerektiren nitel çalışmalarla, öğretim performansına yönelik nicel verileri birleştirmek araştırmalar için değerli olabilir (Groothuisen vd., 2024; Taani, & Alabidi, 2024; Zakaria vd., 2024). Araç odaklı çalışmalarda da karma yöntemlerin öne çıkması dikkat çekicidir. Bu durum, yeni geliştirilen YZ araçlarının matematik konularında ne kadar etkili olduğunun anlaşılması ve hangi araçların hangi konularda kullanımının daha uygun olacağını seçilmesi için farklı veri kaynaklarından elde edilen bilgilerin bütüncül şekilde analiz edilmesinin önemi ile ilgili olabilir (Gandolfi, 2024; Schorcht vd., 2024; Zhang vd., 2024). Veri odaklı çalışmaların araştırma yöntemleri açısından dengeli bir dağılım göstermesi, bu çalışmalarda büyük veri kümelerinden anlamlı sonuçlar çıkarabilmek için nicel yöntemler kullanılırken öğrencilerin deneyimlerini daha iyi anlayabilmek için nitel veri toplama yöntemlerinden de yararlanıldığından kaynaklanabilir (Büscher, 2020; Pérez-Suay vd., 2023).

Mevcut sistematik literatür taramasında incelenen çalışmalardaki YZ araçları tasarımları itibariyle çok yönlü olduklarından genellikle birden fazla YZ türünü içinde barındırmaktadır. Bu nedenle çalışmada, özellikle araçlarda baskın olan YZ türlerine göre sınıflandırılma yapılmış ve bu teknolojinin çalışma içindeki rolüne göre ayrılmıştır. Kullanılan türlerin zirvesine LLM araçları yerleşmiştir. LLM araçlarının çok yönlü araştırmalara konu olmasının, bu araçların popülaritesinin son dönemlerde oldukça artması, kolay ulaşılabilirliği, pratik çözümler sunması, öğrencilerin kavramsal anlayışlarını geliştirmesi ve problem çözme stratejilerine rehberlik sunabilmesi gibi avantajlarla ilişkili olduğu, aynı zamanda alanyazında bu araçların içerik ve süreçlere etkisini, avantajlarını ve dezavantajlarını inceleyen çalışmaların merkezinde LLM araçlarının yer almasının da bu durumu desteklediği düşünülmektedir. (Ganfoldi, 2024; Getenet, 2024; Schorcht vd., 2024; Serhan, & Welcome, 2024; Wei, 2024; Zhang vd., 2024)

Özellikle öğrenci öğrenmesi kategorisindeki çalışmalarda ITS araçları öne çıkmaktadır. Bu durum matematik eğitiminde öğrenci öğrenmesindeki düşük başarı gösteren öğrencilere destek olma, bireyselleştirilmiş geri bildirim sağlama, matematiksel modelleme becerilerini geliştirme, problem çözme becerisi kazandırma, öğrenme sürecini takip ve değerlendirme ihtiyacından doğmuş olabilir (Karumbaiah vd., 2022; del Olmo-Muñoz vd., 2023; Son, 2024; VanLehn vd., 2024).

Araştırmada incelenen 13 çalışmada karışık hazır araçların kullanıldığı saptanmıştır. Birden fazla hazır araç kullanımı her aracın görselleştirme, otomatik değerlendirme, hikâye oluşturma gibi farklı işlevlerinden dolayı tercih edilmiş olabilir (Canonigo, 2024; Gürefe vd., 2024). 8 çalışmada EDM, 8 çalışmada NLP, 7 çalışmada ALS ve en az ML ve DL türlerine rastlanmıştır. EDM aslında çoğu çalışmada alt türlerde yer almasına rağmen çalışmaların merkezine aldıkları konu veri odaklı olmadığından diğer araçlara göre nispeten daha az tercih edilmiş gibi görülmektedir. EDM bazen verileri toplayıp analiz ederek matematik eğitiminde tahmin veya iyileştirme amaçlı kullanılsa da bazı çalışmalarda öğrencilere veri okuryazarlığı becerileri kazandırmak amacıyla da kullanılabilir (Jones, 2022; Li vd., 2022; Zanellati vd., 2023). NLP'ler, MEYZ çalışmalarında veri toplama, etkileşimli ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sağlama gibi amaçlarla baskın tür olarak tercih edilmiş olsa da (Banawan vd., 2023; Bednorz, & Kleine, 2023; Copur-Gençtürk vd., 2024) EDM'ler gibi aslında başka çalışmalarda da alt tür olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu özellikle MEYZ çalışmalarında çokça kullanılan GenAI'nın, doğal dil konuşma arayüzlerindeki istemlere yanıt olarak otomatik olarak içerik üreten bir YZ teknolojisi türü olmasından kaynaklanıyor olabilir (UNESCO, 2024). ALS'ler öğrencilerin öğrenme ihtiyaçlarını hassas bir şekilde tanımlayarak öğrencilerin motivasyonunu arttırması ve öğrenmeyi eğlenceli hale getirmesi gibi faydalarından dolayı çoğunlukla öğrenci öğrenmesi odaklı kullanılmış olabilir (Cunski, 2022; Gulz vd., 2020; Lechuga, & Doroudi, 2023). ML ve DL'nin baskın türler arasında en az görünmesi kullanımının en az olduğu izlenimini verse de birçok hazır aracın özellikle GenAI araçlarının alt yapısını oluşturduğundan aslında çoğu çalışmada kullanılan türlerdir (Mian vd., 2024; UNESCO, 2024).

MEYZ Kullanım Rollerinin Alt Kategorileri ve Şekillendirici Pedagojik-Teknolojik Faktörler

Elde edilen en önemli bulgulardan biri olan öğrenci öğrenmesi kategorisindeki makalelerin örneklem türlerine göre dağılımı, MEYZ entegrasyonuna yönelik araştırmaların büyük ölçüde üniversite öğrencileri (%48) üzerine yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Üniversitelerde güçlü dijital altyapı, kolay erişilebilen etik kurul süreçleri ve öğrencilerin soyut ve karmaşık konulara aşinalığı, YZ destekli eğitim sistemlerinin akademik araştırmalar kapsamında etkili ve verimli bir şekilde uygulanmasını diğer çalışma gruplarına göre daha mümkün kılabilir (Firat, 2023; Hopcan vd., 2023; Hwang, & Tu, 2021). K12 düzeyindeki öğrencilerle yapılan araştırmaların (ortaokul %19, lise %15 ve ilkököl %8) daha az olması da dikkat çekicidir. Bunun sebebi küçük yaş gruplarının soyut düşünme becerilerinin yeterince gelişmemiş olması, bu seviyedeki okulların teknik altyapı eksiklikleri ve öğretmenlerin ile velilerin bu araçlara yönelik endişeleri olabilir (Chen vd., 2020; Hwang, & Tu, 2021; Gouseti vd., 2024). Birden fazla yaş grubu ile çalışma yapılan %8'lik bir araştırma grubu vardır. Araştırmacıların, YZ'nin farklı yaş gruplarında nasıl farklı etkiler yarattığını anlamak için bu tür karşılaştırmalı çalışmalar yaptığı söylenebilir (Levy vd., 2023; Vitale, & Iacono, 2024). Okul öncesi yaş grubu ile yapılan çalışmaların en az düzeyde olması MEYZ alanındaki önemli bir eksiğe işaret etmektedir. Alanyazında da küçük yaş gruplarıyla bu tip çalışmaların daha az yapıldığı ifade edilmektedir (Moore vd., 2023; Panqueban, & Huinchahue, 2024).

NCTM (2000) tarafından belirlenen matematiksel içerik kategorilerinde ise MEYZ alanındaki öğrenci öğrenmesine odaklanan çalışmaların çoğunda birden fazla içeriğe odaklanıldığı görülmüştür. Bu durum YZ destekli araçların, birden fazla beceriyi aynı anda geliştirmek için güçlü bir fırsat sunmasından kaynaklanıyor olabilir (Elsayed, 2023; Han vd., 2024; Huang, & Qiao, 2024; Moral-Sánchez vd., 2023; VanLehn vd., 2024). Bir içeriğe sahip çalışmalarda en fazla tercih edilen alan cebir olmuştur. Bunun nedeni, cebirin hem matematiksel düşünmenin temelini oluşturması hem de öğrenciler için genellikle zorlayıcı bir alan olması olabilir (Işık ve Sarpkaya Aktaş, 2022). Bu bağlamda YZ

destekli eğitim araçları soyut kavramları somutlaştırarak, anlık geri bildirim ve kişiselleştirilmiş problem çözme önerileriyle öğrenme sürecini desteklediğinden cebir alanı araştırmacılar tarafından uygun bulunmuş olabilir (Bagno vd., 2024; Li vd., 2025; VanLehn vd., 2024; Wei, 2024;). Araştırmacılar tarafından üçüncü sırada tercih edilen sayılar ve işlemler alanı, özellikle okul öncesi dönemde toplama, çıkarma ve problem çözme gibi temel matematik becerilerinin kazandırılması yoluyla öğrencilerin matematiksel düşünme gelişimini desteklemesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Tarım, 2015). Bu matematik içeriğinin öğretiminde, özellikle küçük yaş grupları veya temel düzeydeki öğrenciler için YZ tabanlı araçların kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimlerinden faydalanılabileceği söylenebilir (Gulz, vd., 2020; Karumbaiah, vd., 2022). Geometri alanı ise nispeten daha az konu alınmıştır. Oysaki YZ araçlarının görselleştirme, üç boyutlu modelleme ve dinamik içerik sunma gibi özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, geometri alanındaki çalışmaların artırılması gerektiği söylenebilir (Elsayed, 2023; Gürefe vd., 2024; Wei, 2024). Çalışmaların yalnızca %12'si veri analizi ve olasılık alanındadır. YZ araçlarının temel algoritmalarıyla doğrudan ilişkili olan bu alan, veri okuryazarlığı ve analitik düşünmenin daha fazla vurgulanarak araştırmalarda daha çok yer verilmesi gerektiği söylenebilir. Araştırmada doğrudan ölçme alanına odaklanan herhangi bir MEYZ çalışmasına rastlanmamıştır. Bu durum, ölçmenin genellikle geometri veya sayılar ve işlemler gibi diğer konulara entegre bir beceri olarak görülmesi ve bağımsız bir içerik olarak ele alınmamasından, söz konusu araçlar daha çok soyut kavramların öğretimine odaklandığından, ölçme gibi pratik ve uygulamalı bir konu için geri planda kalmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu durum, YZ tabanlı artırılmış gerçeklik veya oyunlaştırma gibi yenilikçi yaklaşımların ölçme becerilerini destekleyebileceği gelecekteki araştırma fırsatlarını ortaya koymaktadır.

Araştırmada öğrenci öğrenmesi odaklı çalışmalar kategorisinde değerlendirilen 47 çalışmada dört farklı uygulama ortamı ortaya çıkmıştır. En fazla olan uygulama ortamı 25 çalışma ile fiziksel sınıflarda yüz yüze ortamlardır. Bu tip ortamlar, öğrenci-öğretmen ve öğrenci-öğrenci etkileşimi yoluyla tartışma, grup çalışmaları ve

akran öğrenimi gibi işbirlikçi etkinlikleri desteklerken, öğretmenlerin öğrencilerin zorlandığı noktaları anında gözlemleyip müdahale etmesine olanak tanır (Brocato vd., 2015; Teoh vd., 2025). Ayrıca fiziksel sınıf ortamlarına çeşitli dijital araçların ve donanımların etkili bir şekilde entegre edilmesi, akıllı tahtalar ile artırılmış ve sanal gerçeklik gibi yapay zekâ destekli teknolojilerin etkileşimli kullanımını mümkün kılarak, anında geri bildirim ve öğrenci performansının izlenmesini sağlar (Jacobs vd., 2024; Salas-Rueda vd., 2020). Araştırmadaki 13 makalede, çevrimiçi ortamlarda YZ uygulamaları yapılmıştır. Çevrimiçi ortamların tercihinde, zaman ve mekân esnekliği, bazı çevrimiçi kullanıma uygun araçların öğrencilerin öğrenme hızlarına ve ihtiyaçlarına uygun özelleştirilmiş içerik sunabilmesi ve çevrimiçi ortamdaki etkileşimlerin (Finch, & Jacobs, 2012; Reese, 2015; Sun, & Chen, 2016) YZ araçları tarafından toplanarak analiz edilebilmesi etkili olmuş olabilir. Hibrit ortamlar az tercih edilmiştir. Ancak hem çevrimiçi ortamların hem de yüz yüze ortamların avantajlarını birleştiren bu ortamlardaki (Azizah vd., 2024) çalışmaların arttırılması gerektiği söylenebilir. 7 makalede ise bireysel çalışma ortamlarındaki uygulamalar üzerine araştırma yapılmıştır. Öğrencilerin bireysel olarak kendi öğrenme süreçlerini yönetmelerinin teşvik edilmesi ve bazı YZ araçlarının özellikle öğrencilerin kendi başlarına keşfetmelerini ve deneyimlemelerini sağlaması amaçlı tasarlanması bu ortamlarda çalışma yapılmasına neden olmuş olabilir (Inoferio vd., 2024; Romoto, 2023; Ramprakash vd., 2024).

Mevcut araştırma, YZ araçlarının matematik eğitiminde öğretmen odaklı kullanımına ilişkin çeşitli bağlamları ortaya koymaktadır. Özellikle, çalışmaların büyük bir kısmı öğretmenlerin mesleki gelişimini desteklemeye yöneliktir. Ayrıca, öğretmen görüşlerini ele alan 3 çalışma, ders deneyimlerini inceleyen 3 çalışma ve öğretmen adaylarının pedagojik gelişimini destekleyen 2 çalışma bulunmaktadır. Söz konusu araçların, öğretmenlerin pedagojik yeterliliklerini geliştirmelerine, ders içeriklerini çeşitlendirmelerine, öğretim yaklaşımlarını keşfetmelerine ve uygulama süreçlerini iyileştirmelerine yardımcı olurken, MEYZ alanındaki akıllı içerik oluşturma, otomatik değerlendirme ve veri analitiği gibi araçların da öğretim süreçlerini destekleyerek ders hazırlığı, uygulama ve

değerlendirmeyi kolaylaştırması (Du vd., 2024; Kasneci vd., 2023; Kizilcec vd., 2024; Mate, & Weidenhofer, 2022; Moundridou vd., 2024; Ng vd., 2025) bu yöndeki araştırmaların tercih edilme nedenlerinden olabilir.

Araştırma bulguları, YZ araçlarının matematik öğretiminde ders materyali hazırlama amacıyla kullanıldığı üç çalışmadan ikisinde ders planı, birinde ise matematik çalışma yaprağı oluşturmak için tercih edildiğini göstermektedir. YZ araçlarıyla materyal hazırlama, öğretmenlerin ders içeriklerini zenginleştirerek farklı öğrenme düzeylerine uygun içerikler oluşturmasını, rutin hazırlık süreçlerini hızlandırarak zaman yönetimini iyileştirmesini ve öğrenci merkezli öğretim ortamları oluşturmasını sağlayabilir. Ayrıca bu araçlar ders materyali hazırlama sürecinde, içerik üretiminde otomasyon sağlayarak öğretmenlerin iş yükünü azaltma, öğrenci verilerine dayalı hedeflenmiş içerikler oluşturma ve YZ destekli şablonlar sayesinde hızlı, özgün materyaller hazırlanmasına imkân tanıma gibi teknolojik avantajlar sunabilmektedir (Chen vd., 2020; Ruiz-Rojas vd., 2023).

Bir diğer araştırma bulgusu, araç odaklı çalışmaların; beşinde araçların matematik konularındaki yetkinliklerinin, beşinde farklı YZ araçlarının karşılaştırılmasının ve üçünde YZ araçlarının insan uygulamalarıyla kıyaslanmasının ele alındığını göstermektedir.

Pedagojik yönü değerlendirildiğinde, MEYZ araçlarının incelenmesi, öğretim süreçlerinde hangi araçların öğrencilerin kavramsal öğrenme, problem çözme ve analitik düşünme becerilerini daha etkili geliştirdiğini belirlemeye yardımcı olabilir (Bagno vd., 2024; Plevris vd., 2023; Sapkota, & Bondurant, 2024). Araçların karşılaştırılması, öğretmenlerin hangi teknolojik çözümleri pedagojik hedeflerine uygun olarak seçmeleri gerektiğine dair rehberlik sağlayabilirken, insanlarla yapılan karşılaştırmalar ise, bu teknolojinin öğretmenlerin rehberlik rolünü tamamlayıcı mı yoksa alternatif bir yöntem olarak mı kullanılabileceğine dair önemli veriler sunar (Chan vd., 2025; Hu vd., 2024; Plevris vd., 2023). Teknolojik açıdan, farklı YZ araçlarının yetkinliklerinin incelenmesi, hangi teknolojilerin daha etkili algoritmalar, veri analitiği ve kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunduğunu ortaya çıkarabilir (Calonge vd., 2023; Wei, 2024). Ayrıca, araçlar arası karşılaştırmalar, teknoloji sağlayıcılarının

güçlü ve zayıf yönlerini belirlemelerine yardımcı olurken, insanlarla yapılan kıyaslamalar ise yapay zekânın öğretim süreçlerinde hangi açılardan daha hızlı, daha erişilebilir veya daha kişiselleştirilmiş çözümler sunduğunu analiz etme imkânı sağlar (Calogne vd., 2023; Long vd., 2024; Xu vd., 2024).

Söz konusu araçların matematik eğitiminde veri odaklı çalışmalarda daha çok veri analizinde kullanıldığı (9 makale), veri toplama amaçlı kullanımın daha sınırlı olduğu (2 makale) ve her iki sürecin bir arada kullanıldığı yalnızca bir makale olduğu görülmüştür. Veri analizi süreçlerinde YZ araçlarının daha fazla tercih edilmesi, bu araçların desenleri keşfetme, büyük veri kümelerini hızlı analiz etme ve çıkarımlarda bulunma yeteneklerinin güçlü olmasından kaynaklanıyor olabilir (del Mundo vd., 2024; Tan, 2022). Ek olarak, öğretim sürecinde öğrenci performansını izleme, başarısızlık ve okulu bırakma oranları gibi risk altındaki öğrenciler için hızlı tespitle bulunma, öğrenme güçlüklerini tespit etme ve öğretim materyallerini buna göre uyarlama gibi amaçlar MEYZ araçlarının veri analizinde kullanımını arttırmış olabilir (Azizah vd., 2024; Fu vd., 2024). Veri toplama süreci ise genellikle anketler, testler veya öğrenci etkileşim kayıtları gibi araçlarla manuel ya da geleneksel yöntemlerle de yapılabildiği için bu aşamada bu teknolojiye daha az ihtiyaç duyulmuş olabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, 2020–2025 yılları arasında yayımlanan araştırmaları sistematik biçimde inceleyerek YZ teknolojilerinin matematik eğitime entegrasyonuna ilişkin eğilimleri, rollerini ve araştırma boşluklarını ortaya koymuştur. Bulgular, YZ'nin matematik eğitiminde beş temel rolde konumlandığını göstermektedir: öğrenci öğrenmesi, öğretmen odaklı uygulamalar, materyal geliştirme, araç temelli değerlendirmeler ve veri odaklı araştırmalar. Çalışmaların büyük çoğunluğunun öğrenci öğrenmesine odaklandığı, buna karşın öğretmen odaklı ve veri temelli çalışmaların sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, öğretmenlerin YZ araçlarını nasıl benimsediği, bu araçların öğretim süreçlerine nasıl entegre edilebileceği ve öğretmenlerin mesleki gelişiminde nasıl kullanılabileceği konularında daha fazla araştırmaya gereksinim olduğunu göstermektedir.

Veri odaklı çalışmaların azlığı, söz konusu teknolojilerin öğrenci başarısını öngörme, bireyselleştirilmiş öğrenme planları oluşturma ve erken müdahale mekanizmalarını güçlendirme potansiyelinin yeterince değerlendirilemediğini ortaya koymaktadır. Gelecek araştırmaların bu alanlara yönelmesi önem taşımaktadır. Özellikle öğretmenlerin öğrencilerin düşük performans riskini erken tespit edebilmeleri için YZ sistemlerinden elde edilen verileri yorumlama yeterliliklerinin güçlendirilmesi gerekmektedir.

MEYZ alanındaki çalışmalarda kullanılan YZ araçlarının türlerine ilişkin analizler, özellikle LLM ve ITS türlerinin öğrenci öğrenmesi kategorisinde öne çıktığını göstermektedir. Öğretmen odaklı araştırmalarda ise LLM kullanımının daha yaygın olduğu görülmektedir. Diğer araç türlerinin kullanımının sınırlı olması, gelecekte bu teknolojilerin matematik eğitimindeki farklı boyutlarını ele alan daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

YZ'nin matematik eğitiminde kullanımına yönelik çalışmaların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, 2024 yılında tüm kategorilerde belirgin bir artış yaşandığı saptanmıştır. Bu artış, eğitimde YZ teknolojilerine yönelik ilginin hızla arttığını göstermektedir. Araştırma tasarımları açısından bakıldığında, özellikle öğrenci öğrenmesi ve öğretmen odaklı kategorilerde karma yöntem çalışmalarının ağırlık kazandığı görülmektedir. Bu durum, YZ'nin eğitim süreçlerindeki etkilerini derinlemesine anlamak için nicel ve nitel verilerin birlikte kullanılmasının önemine işaret etmektedir. Gelecekte, özellikle materyal geliştirme ve veri odaklı kategorilerde de karma yöntemlerin yaygınlaştırılması önerilmektedir.

MEYZ kullanım rollerinin alt kategorileri ve pedagojik-teknolojik şekillendirici faktörler açısından yapılan analizler, söz konusu teknolojinin matematik eğitiminde en yoğun biçimde öğrenci öğrenmesi kategorisinde kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca, araştırmaların çoğunlukla üniversite düzeyindeki öğrenciler üzerinde yürütüldüğü belirlenmiştir. Buna karşın, K12 düzeyindeki ve okul öncesi gruplara yönelik araştırmaların yetersizliği, bu yaş gruplarına odaklanan çalışmaların artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle okul öncesi düzeyde yürütülecek boylamsal araştırmalar ve YZ destekli pilot çalışmalar, küçük yaş gruplarının temel matematik

becerilerini desteklemeye katkı sağlayabilir. Bu bağlamda, öğretilebilir ajanlar veya sosyal robotlar aracılığıyla oyun temelli etkinlik tasarımları geliştirilmeli ve bu etkinliklerin öğrenme çıktıları sistematik biçimde incelenmelidir.

Ayrıca, mevcut çalışmaların büyük ölçüde cebir alanına yoğunlaştığı, buna karşılık geometri, veri analizi ve ölçme alanlarında araştırmaların sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, özellikle YZ'nin görselleştirme ve dinamik içerik sunma kapasitesinden yararlanan Artırılmış Gerçeklik tabanlı uygulamaların geometri ve ölçme becerileri üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmaların teşvik edilmesi gerekmektedir.

MEYZ çalışmalarının çoğunlukla fiziksel sınıf ortamlarında gerçekleştirilmesi de dikkat çekmektedir. Bu durum, çevrimiçi ve hibrit öğrenme ortamlarına ilişkin araştırmaların artırılması gerektiğini göstermektedir. Öte yandan, öğretmen odaklı çalışmaların azlığı, YZ destekli öğretmen eğitimi modellerinin geliştirilmesi gerektiğini; materyal hazırlama süreçlerine ilişkin sınırlı araştırmalar ise bu alanda yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Öğretmenlerin YZ araçlarını pedagojik süreçlere etkin biçimde entegre edebilmeleri için mesleki gelişim programları oluşturulmalı; bu programlar, öğretmenlerin ders planlarını, materyal tasarımlarını ve çalışma yapraklarını otomatikleştirmelerini ve yenilemelerini desteklemelidir.

Sonuç olarak, YZ'nin matematik eğitime entegrasyonunun daha kapsayıcı, farklı öğrenme düzeylerini ve çeşitli içerik alanlarını içerecek biçimde genişletilmesi; gelecekteki araştırmalarda ise pedagojik ve teknolojik faktörlerin daha dengeli biçimde ele alınması önerilmektedir.

SINIRLILIKLAR

Çalışma, 2020-2025 yılları arasında yayımlanmış, yalnızca Scopus ve ERIC veri tabanlarında bulunan araştırmalarla sınırlıdır. Ayrıca sistematik taramanın 2025 yılının ilk günlerinde yapılması sebebiyle 2025 verileri henüz çok azdır ve bu yıl için anlamlı bir eğilim çıkarmak için yetersiz kalmıştır. Çalışmada, YZ araçlarının pedagojik rollerine dair önemli bulgular elde edilmiş olsa da bu araçların öğretim süreçlerindeki pedagojik etkileşimleri, öğretmen-öğrenci iletişimine etkisi ve öğretim süreçlerini nasıl dönüştürdüğü gibi konular derinlemesine incelenmemiştir.

KAYNAKLAR

Not. Yıldız (*) ile işaretlenen çalışmalar sistematik incelemeye dâhil edilen birincil çalışmaları göstermektedir.

- Aguilar-Esteva, V., Acosta-Banda, A., Carreño Aguilera, R., & Patiño Ortiz, M. (2023). Sustainable social development through the use of artificial intelligence and data science in education during the COVID emergency: A systematic review using PRISMA. *Sustainability*, 15(8), 6498. <https://doi.org/10.3390/su15086498>
- Aleem, A., & Gore, M. M. (2020, April). Educational data mining methods: A survey. In *2020 IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)* (pp. 182–188). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSNT48778.2020.9115734>
- *Alhazzani, N. S. (2024). Enhancing mathematics teachers' pedagogical skills by using ChatGPT. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 7(4), 1614-1626. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v7i4.3460>
- Argün, Z., Arıkan, A., Bulut, S., & Sriraman, B. (2010). A brief history of mathematics education in Turkey: K-12 mathematics curricula. *ZDM*, 42, 429-441. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0250-0>
- Azizah, Z., Ohyama, T., Zhao, X., Ohkawa, Y., & Mitsuishi, T. (2024). Predicting at-risk students in the early stage of a blended learning course via machine learning using limited data. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100261. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100261>
- *Bagno, E., Dana-Picard, T., & Reches, S. (2024). ChatGPT in teaching linear algebra: Strides forward, steps to go. *Open Education Studies*, 6(1), 20240031. <https://doi.org/10.1515/edu-2024-0031>
- *Banawan, M. P., Shin, J., Arner, T., Balyan, R., Leite, W. L., & McNamara, D. S. (2023). Shared language: linguistic similarity in an algebra discussion forum. *Computers*, 12(3), 53. <https://doi.org/10.3390/computers12030053>
- *Bayaga, A. (2024). Enhancing M Enhancing mathematics problem-solving skills in AI-driven environment: Integrated SEM-neural network approach. *Computers in Human Behavior Reports*, 16, 100491. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100491>
- *Bednorz, D., & Kleine, M. (2023). Unsupervised Machine Learning to Classify Language Dimensions to Constitute the Linguistic Complexity of Mathematical Word Problems. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 18(1). <https://doi.org/10.29333/iejme/12588>

- Bošnjaković, N., & Đurđević Babić, I. (2023). Systematic review on educational data mining in educational gamification. *Technology, knowledge and learning*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10758-023-09686-2>
- Brocato, B. R., Bonanno, A., & Ulbig, S. (2015). Student perceptions and instructional evaluations: A multivariate analysis of online and face-to-face classroom settings. *Education and Information Technologies*, 20, 37-55. <https://doi.org/10.1007/s10639-013-9268-6>
- *Büscher, C. (2020). Scaling up qualitative mathematics education research through artificial intelligence methods. *For the Learning of Mathematics*, 40(2), 2-7. <https://www.jstor.org/stable/27091146>
- *Calonge, D. S., Smail, L., & Kamalov, F. (2023). Enough of the chit-chat: A comparative analysis of four AI chatbots for calculus and statistics. *Journal of Applied Learning and Teaching*, 6(2), 346-357. <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.2.22>
- *Canonigo, A. M. (2024). Levering AI to enhance students' conceptual understanding and confidence in mathematics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40(6), 3215-3229. <https://doi.org/10.1111/jcal.13065>
- *Chan, K. W., Ali, F., Park, J., Sham, K. S. B., Tan, E. Y. T., Chong, F. W. C., ... & Sze, G. K. (2025). Automatic item generation in various STEM subjects using large language model prompting. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100344. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100344>
- Chen, H., Park, H. W., & Breazeal, C. (2020). Teaching and learning with children: Impact of reciprocal peer learning with a social robot on children's learning and emotive engagement. *Computers & Education*, 150, 103836. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103836>
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264-75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- Chen, X., Xie, H., & Hwang, G.-J. (2020). A multi-perspective study on artificial intelligence in education: Grants, conferences, journals, software tools, institutions, and researchers. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100005>
- *Copur-Gencturk, Y., Li, J., Cohen, A. S., & Orrill, C. H. (2024). The impact of an interactive, personalized computer-based teacher professional development program on student performance: A randomized controlled trial. *Computers*

& Education, 210, 104963. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104963>

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2021). *Araştırma tasarımı* (Çev. E. Karadağ). Nobel Yayıncılık.

*Cunška, A. (2022). Prototype of project AI4Math: Interdisciplinary and innovative technology for accelerated learning of mathematics. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 19, 1839-1848. <https://doi.org/10.37394/23207.2022.19.165>

*de Chiusole, D., Stefanutti, L., Anselmi, P., & Robusto, E. (2020). Stat-Knowlab. Assessment and learning of statistics with competence-based knowledge space theory. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30, 668-700. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00223-1>

*del Mundo, M. A., Delos Reyes, E. F., Gervacio, E. M., Manalo, R. B., Book, R. J. A., Chavez, J. V., Espartero, M. M., & Sayadi, D. S. (2024). Discourse analysis on experience-based position of science, mathematics, and Tech-Voc educators on generative AI and academic integrity. *Environment and Social Psychology*, 9(8), 3028. <https://doi.org/10.59429/esp.v9i8.3028>

del Olmo-Muñoz, J., González-Calero, J. A., Diago, P. D., Arnau, D., & Arevalillo-Herráez, M. (2023). Intelligent tutoring systems for word problem solving in COVID-19 days: could they have been (part of) the solution?. *ZDM Mathematics Education*, 55(1), 35-48. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01396-w>

Du, H., Jia, Q., Gehringer, E., & Wang, X. (2024). Harnessing large language models to auto-evaluate the student project reports. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100268>

Elkefi, S., Tounsi, A., & Kefi, M. A. (2024). Use of ChatGPT for education by engineering students in developing countries: a mixed-methods study. *Behaviour & Information Technology*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2024.2354428>

*Elsayed, S. A. M. (2023). Applications of Artificial Intelligence and Their Relationship to Spatial Thinking and Academic Emotions Towards Mathematics: Perspectives from Educational Supervisors. *Eurasian Journal of Educational Research*, 107(107), 321-34. <https://doi.org/10.14689/ejer.2023.107.019>

Finch, D., & Jacobs, K. (2012). Online Education: Best Practices to Promote Learning. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 546-550. <https://doi.org/10.1177/1071181312561114>

Firat, M. (2023). What ChatGPT means for universities: Perceptions of scholars and students. *Journal of Applied Learning and Teaching*, 6(1), 57-63. <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.1.22>

Fu, Y., Weng, Z., & Wang, J. (2024). Examining AI Use in Educational Contexts: A Scoping Meta-Review and Bibliometric Analysis. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1-57. <https://doi.org/10.1007/s40593-024-00442-w>

*Gandolfi, A. (2024). GPT-4 in Education: Evaluating Aptness, Reliability, and Loss of Coherence in Solving Calculus Problems and Grading Submissions. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1-31. <https://doi.org/10.1007/s40593-024-00403-3>

*Getenet, S. (2024). Pre-Service Teachers and ChatGPT in Multistrategy Problem-Solving: Implications for Mathematics Teaching in Primary Schools. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 19(1). <https://doi.org/10.29333/iejme/14141>

Gouseti, A., James, F., Fallin, L., & Burden, K. (2024). The ethics of using AI in K-12 education: a systematic literature review. *Technology, Pedagogy and Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2024.2428601>

*Groothuijsen, S., van den Beemt, A., Remmers, J. C., & van Meeuwen, L. W. (2024). AI chatbots in programming education: Students' use in a scientific computing course and consequences for learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100290. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100290>

*Gulz, A., Londos, L., & Haake, M. (2020). Preschoolers' understanding of a teachable agent-based game in early mathematics as reflected in their gaze behaviors—an experimental study. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30, 38-73. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00193-4>

*Gürefe, N., Sarpkaya Aktaş, G., & Öksüz, H. (2024). Investigating the Impact of the AI-Supported 5E (AI-s5E) Instructional Model on Spatial Ability. *Behavioral Sciences*, 14(8), 682. <https://doi.org/10.3390/bs14080682>

*Han, J. Y., Burm, E., & Chun Y-E. (2024). Applying artificial intelligence-based adaptive learning on mathematical attitudes and self-directed learning. *Nanofabricated Materials for Optical Communication and Intelligent Manufacturing* 20(S3). <https://doi.org/10.62441/nano-ntp.v20iS3.598>

Hidayat, R., & Wardat, Y. (2024). A systematic review of

augmented reality in science, technology, engineering and mathematics education. *Education and Information Technologies*, 29(8), 9257-9282. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12157-x>

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign. <https://curriculumredesign.org/our-work/artificial-intelligence-in-education/>

Hopcan, S., Polat, E., Ozturk, M. E., & Ozturk, L. (2023). Artificial intelligence in special education: A systematic review. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 7335-7353. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2067186>

*Hu, B., Zheng, L., Zhu, J., Ding, L., Wang, Y., & Gu, X. (2024). Teaching plan generation and evaluation with GPT-4: Unleashing the potential of LLM in instructional design. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1445-1459. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3384765>

*Huang, X., & Qiao, C. (2024). Enhancing computational thinking skills through artificial intelligence education at a STEAM high school. *Science & Education*, 33(2), 383-403. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00392-6>

*Hwang, G. J., Sung, H. Y., Chang, S. C., & Huang, X. C. (2020). A fuzzy expert system-based adaptive learning approach to improving students' learning performances by considering affective and cognitive factors. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100003>

Hwang, G. J., & Tu, Y. F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics*, 9(6), 584. <https://doi.org/10.3390/math9060584>

Hwang, S. (2022). Examining the effects of artificial intelligence on elementary students' mathematics achievement: A meta-analysis. *Sustainability*, 14(20), 13185. <https://doi.org/10.3390/su142013185>

Ifenthaler, D., Majumdar, R., Gorissen, P., Judge, M., Mishra, S., Raffaghelli, J., & Shimada, A. (2024). Artificial intelligence in education: Implications for policymakers, researchers, and practitioners. *Technology, Knowledge and Learning*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10758-024-09747-0>

*Inoferio, H. V., Espartero, M., Asiri, M., Damin, M., & Chavez, J. V. (2024). Coping with math anxiety and lack of confidence through AI-assisted Learning. *Environment and Social Psychology*, 9(5). <https://doi.org/10.54517/esp.v9i5.2228>

Işık, M. ve Sarpkaya Aktaş, G. (2022). Web 2.0 Destekli Matematik Öğretiminin Ortaokul Öğrencilerinin Cebirsel Düşünme Becerilerine ve Tutumlarına Etkisi. *IXth International Eurasian Educational Research Congress. Tam Metin Bildiri Kitabı*. 1699-1715. <https://www.ejercongress.org/ejercongress-2022-tam-metinler-kitabi/>

Işık, M. ve Sarpkaya Aktaş, G. (2024). *Yapay zekanın matematik eğitiminde yükselen rolü*. M. Orçan Kaçan (Ed.), *Matematik eğitiminde yeni eğilimler* (pp. 46-71). BİDGE Yayınları. <https://doi.org/10.70269/10.70269/1532828164>

Işık, M. ve Sarpkaya Aktaş, G. (2025). A maths adventure with web 2.0: Examining middle school students' problem solving skills and attitudes towards it. *INESJOURNAL (The Journal of International Education Science)*, 12(42), 75-105. <https://doi.org/10.29228/INESJOURNAL.79576>

*Jacobs, J., Scornavacco, K., Clevenger, C., Suresh, A., & Sumner, T. (2024). Automated feedback on discourse moves: teachers' perceived utility of a professional learning tool. *Educational technology research and development*, 72, 1307-1329. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10338-6>

Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>

*Jones, J. D. (2022). Using school mathematics to develop students' data literacy skills. *Mathematics Teacher: Learning and Teaching PK-12*, 115(8), 576-581. <https://doi.org/10.5951/MTLT.2021.0239>

*Karaman, M. R. & Goksu, I. (2024). Are lesson plans created by ChatGPT more effective? An experimental study. *International Journal of Technology in Education (IJTE)*, 7(1), 107-127. <https://doi.org/10.46328/ijte.607>

*Karumbaiah, S., Ocumpaugh, J., & Baker, R. S. (2022). Context matters: Differing implications of motivation and help-seeking in educational technology. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(3), 685-724. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00272-0>

Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ... & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

*King, S., Estapa, A., Bell, T., & Boyer, J. (2024). Behavioral skills training through smart virtual reality: Demonstration of feasibility for a verbal mathematical questioning strategy. *Journal of Behavioral Education*, 33(2), 396-420. <https://doi.org/10.1007/s10864-022-09492-3>

- Kizilcec, R. F., Huber, E., Papanastasiou, E. C., Cram, A., Makridis, C. A., Smolansky, A., ... & Radulescu, C. (2024). Perceived impact of generative AI on assessments: Comparing educator and student perspectives in Australia, Cyprus, and the United States. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100269. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100269>
- Krygin, A. I., Gumerov, M. R., Moskalenko, N. A., & Sychev, O. A. (2024). A Framework for Developing Intelligent Tutoring Systems Based on Domain Models in the Form of Decision Trees. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 34(3), 710-716. <https://doi.org/10.1134/S1054661824700561>
- Lame, G. (2019). Systematic Literature Reviews: An Introduction. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 1633–1642. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.169>
- *Le, H., & Jia, J. (2022). Design and implementation of an intelligent tutoring system in the view of learner autonomy. *Interactive Technology and Smart Education*, 19(4), 510-525. <https://doi.org/10.1108/ITSE-12-2021-0210>
- *Lechuga, C. G., & Doroudi, S. (2023). Three algorithms for grouping students: A bridge between personalized tutoring system data and classroom pedagogy. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33(4), 843-884. <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00309-y>
- Leikin, R., & Pitta-Pantazi, D. (2013). Creativity and mathematics education: The state of the art. *ZDM*, 45, 159-166. <https://doi.org/10.1007/s11858-012-0459-1>
- *Levy, B., Hershkovitz, A., Tabach, M., Cohen, A., Segal, A., & Gal, K. (2023). Personalization in Graphically Rich E-Learning Environments for K-6 Mathematics. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(3), 364-376. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3263520>
- *Li, C., Xing, W., & Leite, W. (2022). Using fair AI to predict students' math learning outcomes in an online platform. *Interactive Learning Environments*, 32(3), 1117–1136. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2115076>
- *Li, C., Xing, W., & Leite, W. (2022). Building socially responsible conversational agents using big data to support online learning: A case with Algebra Nation. *British Journal of Educational Technology*, 53(4), 776-803. <https://doi.org/10.1111/bjet.13227>
- Li, C., Xing, W., Song, Y., & Lyu, B. (2025). RICE AlgebraBot: Lessons learned from designing and developing responsible conversational AI using induction, concretization, and exemplification to support algebra learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100338. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100338>
- Long, Y., Luo, H., & Zhang, Y. (2024). Evaluating large language models in analysing classroom dialogue. *npj Science of Learning*, 9(1), 60. <https://doi.org/10.1038/s41539-024-00273-3>
- Mate, K., & Weidenhofer, J. (2022). Considerations and strategies for effective online assessment with a focus on the biomedical sciences. *Faseb Bioadvances*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.1096/fba.2021-00075>
- Mathew, D. E., Ebem, D. U., Ikegwu, A. C., Ukeoma, P. E., & Dibiazue, N. F. (2025). Recent Emerging Techniques in Explainable Artificial Intelligence to Enhance the Interpretable and Understanding of AI Models for Human. *Neural Processing Letters*, 57(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s11063-025-11732-2>
- Maulida, L., Nurossobah, P., Aura, B. A., Nengsih, E. D., & Rasilah, R. (2024). Improving The Effectiveness of Mathematics Learning Through Artificial Intelligence: Literature Review. *Journal of General Education and Humanities*, 3(4), 323-338. <https://doi.org/10.58421/gehu.v3i4.267>
- Mian, S. M., Khan, M. S., Shawez, M., & Kaur, A. (2024, July). Artificial intelligence (AI), machine learning (ML) & deep learning (DL): A comprehensive overview on techniques, applications and research directions. *2024 2nd International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*, 1404–1409. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSCSS60660.2024.10625198>
- Mohamudally-Boolaky, A., & Padachi, K. (2024). Leveraging technology for math education: A systematic literature review. *Creative Education*, 15(8), 1692-1704. <https://doi.org/10.4236/ce.2024.158102>
- Mohsen, M. A., & Ho, Y.-S. (2024). Thirty years of educational research in Saudi Arabia: A bibliometric study. *Interactive Learning Environments*, 32(5), 1763–1778. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2127780>
- Moore, R. L., Jiang, S., & Abramowitz, B. (2022). What would the matrix do?: A systematic review of K-12 AI learning contexts and learner-interface interactions. *Journal of Research on Technology in Education*, 55(1), 7–20. <https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2148785>
- *Moral-Sánchez, S. N., Rey, F. J. R., & Cebrián-de-la-Serna, M. (2023). Analysis of artificial intelligence chatbots and satisfaction for learning in mathematics education.

IJERI: International Journal of Educational Research and Innovation, (20), 1-14. <https://doi.org/10.46661/ijeri.8196>

Moundridou, M., Matzakos, N., & Doukakis, S. (2024).

Generative AI tools as educators' assistants: Designing and implementing inquiry-based lesson plans. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100277>

National Council of Teachers of Mathematics (NCTM)

(2000). *Executive Summary Principles and Standards for School Mathematics*. Retrieved from https://www.nctm.org/uploadedfiles/standards_and_positions/pssm_executivesummary.pdf

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Su, J., Ng, R. C. W., & Chu, S. K. W. (2023). Teachers' AI digital competencies and twenty-first century skills in the post-pandemic world. *Educational technology research and development*, 71(1), 137-161. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10203-6>

Ng, D. T. K., Chan, E. K. C., & Lo, C. K. (2025). Opportunities, Challenges and School Strategies for Integrating Generative AI in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100373. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100373>

Ng, D. T. K., Tan, C. W., & Leung, J. K. L. (2024). Empowering student self-regulated learning and science education through ChatGPT: A pioneering pilot study. *British Journal of Educational Technology*, 55, 1328–1353. <https://doi.org/10.1111/bjet.13454>

Opesemowo, O. A. G., & Adewuyi, H. O. (2024). A systematic review of artificial intelligence in mathematics education: The emergence of 4IR. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(7), em2478. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14762>

*Özgen, K., & Narlı, S. (2020). Intelligent data analysis of interactions and relationships among technological pedagogical content knowledge constructs via rough set analysis. *Contemporary Educational Technology*, 11(1), 77-98. <https://doi.org/10.30935/cet.646769>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Panqueban, D., & Huincahue, J. (2024). Artificial intelligence in mathematics education: a systematic review. *Uniciencia*, 38(1), 357-373. <https://dx.doi.org/10.15359/ru.38-1.20>

*Pérez-Suay, A., Ferrís-Castell, R., Van Vaerenbergh, S., & Pascual-Ventoe, A. B. (2023). Assessing the Relevance of Information Sources for Modelling Student Performance in a Higher Mathematics Education Course. *Education Sciences*, 13(6), 555. <https://doi.org/10.3390/educsci13060555>

Plevris, V., Papazafeiropoulos, G., & Jiménez Rios, A. (2023). Chatbots put to the test in math and logic problems: a comparison and assessment of ChatGPT-3.5, ChatGPT-4, and Google bard. *AI*, 4(4), 949-969. <https://doi.org/10.3390/ai4040048>

*Ramprakash, B., Nithyakala, G., Bhumika, K., & Avanthika, S. (2024). Comparing Traditional Instructional Methods to ChatGPT: A Comprehensive Analysis. *Journal of Engineering Education Transformations*, 37. <https://doi.org/10.16920/jeet/2024/v37is2/24095>

Rao, T. S. S., & Bhagat, K. K. (2024). Computational thinking for the digital age: a systematic review of tools, pedagogical strategies, and assessment practices. *Educational Technology Research and Development*, 1-32. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10364-y>

Reese, S. A. (2015). Online learning environments in higher education: Connectivism vs. dissociation. *Education and Information Technologies*, 20, 579-588. <https://doi.org/10.1007/s10639-013-9303-7>

*Remoto, J. P. (2023). ChatGPT and other AIs: Personal relief and limitations among mathematics-oriented learners. *Environment and Social Psychology*, 9(1). <https://doi.org/10.54517/esp.v9i1.1911>

*Rizos, I., Foykas, E., & Georgakopoulos, S. V. (2024). Enhancing mathematics education for students with special educational needs through generative AI: A case study in Greece. *Contemporary Educational Technology*, 16(4), ep535. <https://doi.org/10.30935/cedtech/15487>

Ruiz-Rojas, L. I., Acosta-Vargas, P., De-Moreta-Llovet, J., & Gonzalez-Rodriguez, M. (2023). Empowering Education with Generative Artificial Intelligence Tools: Approach with an Instructional Design Matrix. *Sustainability*, 15(15), 11524. <https://doi.org/10.3390/su15151524>

Rzyankina, E., George, F., & Simpson, Z. (2024). Enhancing Conceptual Understanding in Engineering Mathematics Through E-Textbooks. *IEEE Transactions on Education*. 67(4), 534-541. <https://doi.org/10.1109/TE.2024.3387102>

- *Salas-Rueda, R. A., Salas-Rueda, É. P., & Salas-Rueda, R. D. (2020). Analysis and design of the web game on descriptive statistics through the ADDIE model, data science and machine learning. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 8(3), 245-260. <https://doi.org/10.46328/ijemst.v8i3.759>
- Samala, A. D., Rawas, S., Wang, T., Reed, J. M., Kim, J., Howard, N. J., & Ertz, M. (2024). Unveiling the landscape of generative artificial intelligence in education: a comprehensive taxonomy of applications, challenges, and future prospects. *Education and Information Technologies*, 1-40. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12936-0>
- *Sapkota, B., & Bondurant, L. (2024). Assessing concepts, procedures, and cognitive demand of ChatGPT-generated mathematical tasks. *International Journal of Technology in Education (IJTE)*, 7(2), 218-238. <https://doi.org/10.46328/ijte.677>
- *Sayed, W. S., Noeman, A. M., Abdellatif, A., Abdelrazek, M., Badawy, M. G., Hamed, A., & El-Tantawy, S. (2023). AI-based adaptive personalized content presentation and exercises navigation for an effective and engaging E-learning platform. *Multimedia Tools and Applications*, 82(3), 3303-3333. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13076-8>
- *Schorcht S., Buchholtz N., & Baumanns L. (2024). Prompt the problem – investigating the mathematics educational quality of AI-supported problem solving by comparing prompt techniques. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1386075>
- *Serhan, D., & Welcome, N. (2024). Integrating ChatGPT in the Calculus Classroom: Student Perceptions. *International Journal of Technology in Education and Science*, 8(2), 325-335. <https://doi.org/10.46328/ijtes.559>
- Seo, K., Tang, J., Roll, I., Fels, S., & Yoon, D. (2021). The impact of artificial intelligence on learner–instructor interaction in online learning. *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 18, 1-23. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00292-9>
- Siemens, G., Marmolejo-Ramos, F., Gabriel, F., Medeiros, K., Marrone, R., Joksimovic, S., & de Laat, M. (2022). Human and artificial cognition. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100107>
- Sperling, K., Stenberg, C. J., McGrath, C., Åkerfeldt, A., Heintz, F., & Stenliden, L. (2024). In search of artificial intelligence (AI) literacy in Teacher Education: A scoping review. *Computers and Education Open*, 100169. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100169>
- Son, T. (2024). Intelligent Tutoring Systems in Mathematics Education: A Systematic Literature Review Using the Substitution, Augmentation, Modification, *Redefinition Model*. *Computers*, 13(10), 270. <https://doi.org/10.3390/computers13100270>
- Sun, A., & Chen, X. (2016). Online education and its effective practice: A research review. *Journal of Information Technology Education: Research*, 15, 157-190. <https://doi.org/10.28945/3502>
- *Taani, O., & Alabidi, S. (2024). ChatGPT in education: benefits and challenges of ChatGPT for mathematics and science teaching practices. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 1–30. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2357341>
- *Tan, J. (2022). Information Analysis of Advanced Mathematics Education □ Adaptive Algorithm Based on Big Data. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 7796681. <https://doi.org/10.1155/2022/7796681>
- Tan, X., Cheng, G., & Ling, M. H. (2025). Artificial Intelligence in Teaching and Teacher Professional Development: A Systematic Review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100355. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100355>
- Tarim, K. (2009). The effects of cooperative learning on preschoolers' mathematics problem-solving ability. *Educational Studies in Mathematics*, 72, 325-340. <https://doi.org/10.1007/s10649-009-9197-x>
- Tarim, K. (2015). Effects of cooperative group work activities on pre-school children's pattern recognition skills. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 15(6), 1597-1604. <https://doi.org/10.12738/estp.2016.1.0086>
- Teoh, S. H., Boon Zik Hong, J., Md Shamsudin, N., Singh, P., & Hartono, R. (2025). Students' engagement in a hybrid classroom: a comparison between face-to-face and virtual environments. *Cogent Education*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2451497>
- UNESCO (2024). *Eğitim ve araştırmada üretken yapay zekâ kılavuzu [Guidance for Generative AI in Education and Research]*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000390842>
- *VanLehn, K., Banerjee, C., Milner, F., & Wetzel, J. (2020). Teaching Algebraic model construction: a tutoring system, lessons learned and an evaluation. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30(3), 459-480. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00205-3>

*VanLehn, K., Milner, F., Banerjee, C., & Wetzel, J. (2024). A Step-Based Tutoring System to Teach Underachieving Students How to Construct Algebraic Models. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34(2), 224-246. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00328-3>

*Vitale, A., & Iacono, U. D. (2024). Using social robots as inclusive educational technology for mathematics learning through storytelling. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-17. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-672>

*Wei X (2024) Evaluating chatGPT-4 and chatGPT-4o: performance insights from NAEP mathematics problem solving. *Front. Educ.* 9, 1452570. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1452570>

Xu, S., Huang, X., Lo, C. K., Chen, G., & Jong, M. S. Y. (2024). Evaluating the performance of ChatGPT and GPT-4o in coding classroom discourse data: A study of synchronous online mathematics instruction. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100325. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100325>

Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>

Yi, L., Liu, D., Jiang, T., & Xian, Y. (2024). The effectiveness of AI on K-12 students' mathematics learning: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10499-7>

*Zakaria, R., Herwanis, D., Wahyuni, S., Abadi, A., Susidamaiyanti, Umar A., & Mandasari, L. (2024). AI in english and math education: bridging the gap between theory and practice. *Communications on Applied Nonlinear Analysis*, 31. <https://doi.org/10.52783/cana.v31.1101>

*Zanellati, A., Macaudo, A., Pancioli, C., & Gabbrielli, M. (2023). Representation of learning in the post-digital: students' dropout predictive models with artificial intelligence algorithms. *Research on Education and Media*, 15(1), <https://doi.org/10.2478/rem-2023-0014>

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39). <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

*Zhang, F., Li, C., Henkel, O., Xing, W., Baral, S., Heffernan, N., & Li, H. (2024). Math-LLMs: AI cyberinfrastructure with pre-trained transformers for math education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s40593-024-00416-y>

Yazar Katkı Beyanı

Bu çalışma, yazarlar tarafından eşit katkı ile ortaklaşa yürütülmüştür.