

OJOMSTE

Volume: 7 No: 1 June 2026

Cover Design: Buğra IŞIKDEMİR

OJOMSTE is an international, refereed academic journal. It publishes twice a year (June, December).

Publisher

Dr. Halil İbrahim AKYÜZ

Editors-in-Chief

Dr. Abdulkadir TUNA

Dr. Halil İbrahim AKYÜZ

Field Editors

Dr. Abdulkadir KARACI

Dr. Abdullah Çağrı BİBER

Dr. Mustafa ERDEMİR

DOI

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18421770>

Early appearance date: 30.01.2026

Published date: 30.06.2026

© 2026

E-ISSN: 2757-6353

*This page has been left blank for typesetting
purposes.*

Editorial Advisory Board

Dr. Ahmet KAÇAR (Kastamonu University, akacar@kastamonu.edu.tr)

Dr. Güler TULUK (Kastamonu University, gtuluk@kastamonu.edu.tr)

Dr. Hafize KESER (Ankara University, keser@ankara.edu.tr)

Dr. İbrahim ÇETİN (Necmettin Erbakan University, ibrahimcetin@konya.edu.tr)

Dr. Levent AKGÜN (Atatürk University, levakgun@atauni.edu.tr)

Dr. Osman YAŞAR (Sunny Brockport University, oyasar@brockport.edu)

Dr. Salih BARDAKCI (Hacettepe University, salihbardakci@hacettepe.edu.tr)

Dr. Serap SAMSA YETİK (Pamukkale University, ssamsa@pau.edu.tr)

Dr. Tevfik İŞLEYEN (Atatürk University, tisleyen@atauni.edu.tr)

Dr. Yılmaz MUTLU (Muş Alparslan University, y.mutlu@alparslan.edu.tr)

Dr. Yüksel DEDE (Gazi University, ydede@gazi.edu.tr)

Dr. Zhang Qiaoping (The Education University of Hong kong, zqiaoping@eduhk.hk)

OJOMSTE indexed by



*This page has been left blank for typesetting
purposes.*

Contents

An Overview of Technology Use in Special Education	1
Volatility Modelling of Nigerian Bank Stocks: Evidence from Real and Simulated Data using GARCH and Machine Learning.....	22
STEM and Artificial Intelligence: A Bibliometric Analysis of Integrated Approaches in Education (2006–2025)	42
Effects of Virtual Laboratory Applications on Academic Achievement and Six-Month Retention of Learning in Fourth-Grade Science Education	68
Bibliometric Analysis of Theses on Sets in the Field of Mathematics Education	81
An examination of Libyan and Turkish Students' Thinking Levels Through Their Quadratic Patterns Generalization According to SOLO Taxonomy	96
Pre-service Teachers' Tendencies Between Formal Definition and Procedural Orientation: The Polynomial as an Algebraic Object.....	119

*This page has been left blank for typesetting
purposes.*

Özel Eğitimde Teknoloji Kullanımına Genel Bir Bakış

Seniha KURTOĞLU^a, Funda ULUGÖL^b

^aKastamonu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Kastamonu/Türkiye.

skurtoglu@kastamonu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-2222-1029>.

^bMilli Eğitim Bakanlığı, Düzce/Türkiye,

fundabgr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4576-5301>.

Geliş Tarihi: 22.12.2025

Kabul Tarihi: 23.01.2026

Anahtar Kelimeler:

özel eğitim,
yardımcı teknoloji,
eğitsel teknolojisi,
destekleyici/
dijital teknoloji,
özel gereksinimli
bireyler

Makale Türü:

Derleme

Öz

Teknolojik gelişmeler, özel gereksinimli bireylerin eğitim, iletişim ve günlük yaşam becerilerini desteklemede önemli olanaklar sunmaktadır. Bu derleme çalışmasının amacı, özel eğitimde kullanılan teknolojileri açıklayarak, bu teknolojilerin özel gereksinimli bireylerin bağımsız yaşamlarına sağladığı katkıları somut örnekler ve senaryolar üzerinden incelemek ve geleceğe yönelik pratik öneriler sunmaktır.

Çalışmada teknolojilerin kullanım amacı ve işlevi göz önünde bulundurularak özel eğitimde kullanılan teknolojiler, yardımcı teknoloji, eğitsel teknoloji ve destekleyici/dijital teknoloji başlıkları altında ele alınmıştır. Yardımcı teknolojilerin bireylerin işlevsel yeterliliklerini ve bağımsızlıklarını artırmada, eğitsel teknolojilerin öğrenme sürecinin niteliğini ve bireyselleştirilmesini desteklemede, destekleyici/dijital teknolojilerin ise öğrenme süreçlerini organize etme ve günlük yaşam becerilerini güçlendirmede önemli roller üstlendiği görülmektedir.

Sonuç olarak, özel eğitimde teknolojinin etkili kullanımı, bireysel gereksinimlere dayalı seçim, pedagojik entegrasyon ve bilinçli uygulamalarla mümkündür. Bu çalışma, teknoloji ve yapay zeka destekli teknoloji kullanımını araç temelli değil amaç ve işlev temelli bir bakış açısıyla ele alarak, uygulayıcılar ve araştırmacılar için yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır.

An Overview of Technology Use in Special Education

Seniha KURTOĞLU^a, Funda ULUGÖL^b

^aKastamonu University, Faculty of Education, Kastamonu, Türkiye,.
skurtoglu@kastamonu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-2222-1029>.

^bMilli Eğitim Bakanlığı, Düzce/Türkiye,
fundabgr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4576-5301>.

Received: December 22, 2025

Accepted: January 23, 2026

Keywords:

special education,
assistive
technology,
educational
technology,
supporting/
digital technology,
students with
special needs

Paper Type:

Review

Abstract

Technological developments offer significant opportunities to support the education, communication, and daily living skills of individuals with special needs. The aim of this review study is to explain the technologies used in special education, examine their contributions to the independent lives of individuals with special needs through concrete examples and scenarios, and provide practical recommendations for the future.

In the study, technologies used in special education are examined under the headings of assistive technology, educational technology, and supportive/digital technology, taking into account their purpose of use and function. It is observed that assistive technologies play an important role in increasing individuals' functional competencies and independence; educational technologies support the quality and individualization of the learning process; and supportive/digital technologies contribute significantly to organizing learning processes and strengthening daily living skills.

In conclusion, the effective use of technology in special education is made possible through selections based on individual needs, pedagogical integration, and informed practices. This study approaches the use of technology and AI-supported technologies not from a tool-centered perspective, but from a purpose- and function-oriented viewpoint, thereby offering a guiding framework for practitioners and researchers.

Giriş

Özel eğitime ihtiyacı olan bireyler, Özel Eğitim Hizmetleri Yönetmeliğinde bireysel ve gelişim özellikleri ile eğitim yeterlilikleri açısından akranlarından anlamlı düzeyde farklılıklar gösteren bireyler olarak tanımlanmaktadır (Millî Eğitim Bakanlığı [MEB], 2018). Özel gereksinimli bireyler, bağımsız yaşama katılım sürecinde çeşitli güçlükler yaşayabilmektedirler (Sani-Bozkurt, 2017). Bu durum, söz konusu bireylerin eğitim süreçlerinde etkili ve sürdürülebilir desteklerin planlanmasını gerekli kılmaktadır. Özel eğitim, öğrencilerin bireysel öğrenme ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlayan bir alan olarak, farklı gereksinimlere sahip bireylerin eğitimde başarı ve bağımsızlık kazanmalarını desteklemektedir. Günümüzde teknoloji, bu sürecin etkililiğini artıran temel araçlardan biri hâline gelmiştir. Teknoloji, eğitim, iş ve toplumsal yaşamın tüm alanlarında yaygın olarak kullanılmakta olup, özel eğitim bağlamında da önemini ve güncelliğini koruyan temel bir kavram olarak öne çıkmaktadır (Yaşar ve Vuran, 2025).

Zihin yetersizliği, fiziksel yetersizlik, öğrenme güçlüğü, otizm spektrum bozukluğu, işitme kaybı, görme kaybı veya dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu gibi çeşitli özel gereksinimleri olan öğrenciler için teknolojik araçlar, öğrenmeyi daha erişilebilir, etkileşimli ve motive edici hâle getirmektedir. Aynı zamanda bireysel farklılıkların eğitim sürecine etkin bir şekilde entegre edilmesini de kolaylaştırmaktadır (Cakıl ve Piyal, 2023; Çifcibaşı-İyigün ve Tortop, 2018; Özdemir ve Şafak, 2024; Topçu ve Çakır, 2025). Özel gereksinimli bireylerde kullanılan teknolojiler, işlevsel yeterlilikleri artırmayı, çevresel etkileşimi desteklemeyi ve eğitim ortamlarına erişimi güçlendirmeyi amaçlayan dijital ve donanımsal çözümleri kapsamaktadır (Cakıl ve Piyal, 2023; Edyburn, 2013; Özdemir ve Şafak, 2024).

Literatürde özel eğitimde kullanılan teknolojilerin birçoğu genellikle “yardımcı teknolojiler” olarak adlandırılmaktadır (Çoklar, Ergenekon, ve Odabaşı, 2018; Kurt ve Kurtoglu Erden, 2024; Sani-Bozkurt, 2018). Olakanmi, Akcayır, Oluwbukola, ve Carrie (2020) ise teknolojileri açıklarken “sürekli destek araçları” terimini benimsemişlerdir. Bu terimi benimsemelerinin temel nedeni ise yardımcı teknoloji olarak tanımlanan teknolojilerin, sağlanan sürekli desteklerin tüm çeşitliliğini tam olarak karşılamadığı yönündeki görüşleridir. Söz konusu yaklaşımda yardımcı teknoloji olarak kullanılan ve eğitim sağlayan her sistem (örneğin metinden sese dönüştürme) bir öğretim yaklaşımını destekleyen teknoloji olarak açıklanmaktadır. Özel eğitim literatüründe kullanılan teknolojiler farklı kavramsal çerçeveler altında ele alınmakta; teknolojiler kimi çalışmalarda donanımsal özelliklerine, kimi çalışmalarda ise kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Kullanılan teknolojiler, işlevleri ve kullanım amaçları doğrultusunda genellikle yardımcı teknolojiler (Edyburn, 2013; Beukelman ve Light, 2020), eğitsel teknolojiler (Cağiltay, Çakır, Karasu, İslim, ve Çiçek, 2019; Mumcu, 2024; Eliçin, 2017) ve destekleyici/dijital teknolojiler (Baker ve diğerleri, 2019; Balint-Langel ve diğerleri, 2019) olarak açıklanmaktadır.

Mevcut çalışmada da teknolojiler kullanım amaçları ve üstlendikleri işlevler doğrultusunda yardımcı teknolojiler, eğitsel teknolojiler ve destekleyici/dijital teknolojiler başlıkları altında ele alınmaktadır. Teknolojilerin bu başlıklar altında ele alınmasında belirleyici unsur, teknolojinin teknik yapısından ziyade kullanım amacı ve üstlendiği işleve odaklanmasıdır. Bu ayrım teknolojilerin teknik özelliklerinden ziyade hangi amaçla kullanıldıkları ve hangi işlevleri üstlendikleri konusuna vurgu yapan bir yaklaşım olduğundan benimsenmiştir. Böylece teknolojinin özel gereksinimli öğrencilerin farklı ihtiyaçlarına göre esnek, bütüncül ve bağlama duyarlı biçimde kullanılabilirliği olanaklı hale gelmektedir.

Özel Eğitimde Kullanılan Teknolojiler

Günümüzde, tipik gelişim gösteren bireylerde olduğu gibi özel gereksinimli bireylerin de bilişsel potansiyelini desteklemek, iletişim ve etkileşim olanaklarını arttırmak, öğretim programlarında yer alan hedeflere ulaşmalarını sağlamak ve bağımsız yaşam becerilerini güçlendirmek amacıyla farklı türde teknolojilerden yararlanılmaktadır. Bu teknolojiler öğrencilerin bireysel öğrenme, iletişim ve günlük yaşam gereksinimlerine yanıt verme potansiyeli taşıyarak özel eğitim uygulamalarında önemli bir destek olma görevini üstlenmiştir (Erdem, 2017).

Yardımcı Teknoloji (Assistive Technology)

Yardımcı teknolojiler, özel gereksinimli bireylerin işlevsel yeterliliklerini artırmayı, bağımsızlık düzeylerini desteklemeyi ve çevreleriyle daha etkili etkileşim kurmalarını sağlamayı amaçlayan araç, sistem ve hizmetleri kapsamaktadır (Edyburn, 2013). Bu teknoloji, bireylerin eğitim ortamlarına katılımını güçlendirirken, günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlıklarını artırmayı hedeflemektedir. Özel eğitim alanında yaygın olarak kullanılan yardımcı teknoloji örnekleri arasında işitsel cihazlar, ekran okuyucular, uyarlanmış bilgisayar sistemleri, tekerlekli sandalye, destekli bilgisayarlar ve Alternatif ve Destekleyici İletişim (AAC) araçları yer almaktadır (Alper ve Raharınirina, 2006; Sani-Bozkurt, 2017). Yardımcı Teknoloji Yasası (The Assistive Technology Act of 2004) kapsamında, yardımcı teknoloji bireyin işlevsel becerilerini artıran, sürdüren veya geliştiren her türlü ürün, sistem veya hizmet olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda teknoloji, özel gereksinimli bireylerin bağımsızlıklarını artırmak, günlük yaşam etkinliklerine katılımlarını desteklemek ve eğitim ile sosyal ortamlara erişimlerini kolaylaştırmak amacıyla kullanılmaktadır (Bausch, Mittler, Hasselbring, ve Cross, 2025). Yardımcı teknolojiler, işlevsel karmaşıklık düzeylerine göre genellikle düşük, orta ve yüksek teknoloji olarak sınıflandırılmaktadır (Cakıl ve Piyal, 2023; Felicia, Sharif, Wong, ve Marriappan, 2014; Preston ve Carter, 2009; Rooks-Ellis, Ryan, Floyd, ve Sundeen, 2025; Sani-Bozkurt, 2017).

Düşük teknoloji araçlar; uyarlanmış kalem ve çalışma kâğıtları, kalem tutacakları, görsel kartlar, görsel çizelgeler, fosforlu işaretleyiciler, büyüteçler, iletişim kartları ve sayfa çevirme aparatları gibi basit, kullanımı kolay ve düşük maliyetli materyalleri içermektedir (Preston ve Carter, 2009). Orta teknoloji araçlar; okuma kalemleri, ses kayıt cihazları, konuşan hesap makineleri, konuşan sözlükler, konuşma üreten araçlar (Voice-Output Communication Aide [VOCA]) ve basit elektronik iletişim araçlarını kapsamaktadır (Lorah, Karnes, ve Speight, 2015; Rooks-Ellis ve diğerleri, 2025). Yüksek teknoloji araçlar ise tablet bilgisayarlar, akıllı tahtalar, dijital kitaplar, göz izleme sistemleri, akıllı telefonlar, giyilebilir cihazlar, akıllı saatler ve dokunmatik ekranları içermektedir (Felicia ve diğerleri, 2014; Rooks-Ellis ve diğerleri, 2025; Van Laarhoven, Johnson, Van Laarhoven-Myles, Grider ve Grider, 2009). Özellikle duyuşsal ve motor yetersizliği olan bireyler için geliştirilen bu teknolojiler, eğitim ve günlük yaşam ortamlarında bireylerin bağımsızlığını artırmakta ve işlevsel yeterliliklerinin güçlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Pettersson ve Fahlström, 2010; Saabi, Chlioui, ve Radgui, 2025).

Eğitsel Teknoloji (Educational Technology)

Yardımcı teknolojiler bireylerin işlevsel yeterliliklerini ve günlük yaşam bağımsızlıklarını artırmaya odaklanırken, öğrencilerin öğrenme süreçlerini doğrudan desteklemek ve akademik başarılarını geliştirmek amacıyla kullanılan araçlar eğitsel teknolojiler kapsamına girmektedir. Eğitsel teknolojiler, özel gereksinimli öğrencilerin öğrenme süreçlerinin niteliğini doğrudan geliştirmeyi hedefleyen dijital araçlar, yazılımlar ve öğrenme ortamlarını kapsamaktadır. Bu teknoloji türü, öğretim sürecini daha etkileşimli, motive edici ve bireyselleştirilmiş hale getirerek, öğrencilerin bilişsel özellikleri, öğrenme hızları ve ilgi alanlarına uygun olarak uyarlanmasını

mümkün kılmaktadır (Coşkun, Akarsu ve Kariper, 2012; Eroğlu, 2014; Polat ve Çağıltay, 2018). Özel eğitim bağlamında yaygın olarak kullanılan eğitsel teknoloji araçları arasında etkileşimli tahtalar, tabletler, oyun konsolları, eğitim yazılımları, dijital öğrenme platformları, simülasyon ve modelleme programları, dijital hikâye anlatımı araçları ve sanal öğrenme ortamları yer almaktadır (Carter ve Center, 2005; Eliçin, 2017; Mumcu, 2024; Ölmez, 2023; Polat ve Çağıltay, 2018; Valencia, Quinones, ve Jamet, 2019). Tüm bu araçlar, öğrencilerin akademik becerilerini geliştirmede ve kavramları somutlaştırmada etkin bir rol oynamaktadır. Yürütülen araştırmalar, özel gereksinimli öğrencilerin özellikle kavram öğretimi ve geribildirim temelli öğretim etkinliklerinde eğitsel teknolojilerden yararlandıklarını göstermektedir (Carter ve Center, 2005; Hasselbring ve Glaser, 2000). Özel eğitimde klavye-fare etkileşimli bilgisayar tabanlı veya video tabanlı teknolojiler kullanılmaktadır. Dokunmatik ekranlar gibi alternatif etkileşim kanalları aracılığıyla öğrencilerin etkileşimde bulunmalarına fırsat sunan teknolojilerin, öğrencilerin öğrenme çıktılarının artırılmasında da katkı sağladığı önemli bir gerçektir (Hwang, Wu ve Fan-Ray, 2013).

Ayrıca teknoloji destekli öğretim uygulamaları eğitsel teknolojileri uygulama alanlarını genişletmektedir. Video modelleme, oyun tabanlı öğrenme, artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) destekli öğretim ile yapay zekâ tabanlı öğrenme sistemleri, öğretim sürecini deneyim temelli hâle getirerek öğrencilerin motivasyonunu ve öğrenmeye katılımını artırmaktadır (Kurtoğlu, Tekinarslan, ve Çifci-Tekinarslan, 2017; Polat ve Çağıltay, 2018; Terzioğlu, Akbıyık, ve Yıkılmış, 2023; Zhang, Ding, Naumceska, ve Zhang, 2022). AR, VR ve yapay zeka uygulamaları, akademik becerilerin öğretiminde eğitsel teknoloji kapsamında yer alırken, kullanım amacı günlük yaşam ve işlevsel beceri kazandırma olduğunda farklı teknoloji kategorilerinde değerlendirilebilmektedir. Bu uygulamalar özel gereksinimli bireylerin öğrenme süreçlerini desteklemek amacıyla kullanılan teknolojilere entegre edildiğinde eğitim teknolojisi; bireyin yetersizliği nedeniyle karşılaşılabileceği engellerin üstesinden gelmek için desteklendiğinde yardımcı teknoloji ve bireyin bağımsız yaşamını kolaylaştırma, planlama yapma gibi becerilerine katkı sunduğunda ise destekleyici/dijital teknoloji altında ele alınabilmektedir.

Eğitsel teknolojilerin sunduğu en önemli avantajlardan biri bireyselleştirilmiş öğretim imkânlarıdır. Öğrencinin performansına göre içerik ve zorluk düzeyini uyarlayabilen dijital öğrenme ortamları, özellikle öğrenme güçlüğü yaşayan öğrenciler için etkili bir öğretim desteği sunmakta ve bireyselleştirilmiş eğitim programlarının uygulanmasını desteklemektedir (Balint-Langel, Woods-Groves, Rodgers, Rila ve Riden, 2019; Valencia ve diğerleri, 2019; Zisimopoulos, Sigafos, ve Koutromanos, 2011). Bu sayede, eğitsel teknolojiler özel gereksinimli öğrencilerin akademik süreçlerine erişimini artırmakta, öğrenme deneyimini zenginleştirmekte ve kalıcı öğrenmenin gerçekleşmesine katkı sağlamaktadır.

Destekleyici/Dijital Teknoloji (Supportive/Digital Technology)

Destekleyici/dijital teknolojiler, öğrencilerin öğrenme süreçlerine daha bağımsız ve planlı katılımını sağlamak, günlük yaşamdaki görevlerini organize etmek ve eğitim ortamındaki uyumlarını güçlendirmek amacıyla kullanılan dijital araç ve uygulamaları kapsamaktadır. Bu teknolojiler, öğrenmeyi doğrudan öğretmekten ziyade, süreci planlama, takip etme ve yönetme gibi tamamlayıcı işlevler üstlenmektedir (Balint-Langel ve diğerleri, 2019; Edyburn, 2013; Shepley, Lane, Ayres, ve Douglas, 2015). Tabletler, dijital not alma araçları, zaman yönetimi ve planlama uygulamaları, görsel planlayıcılar, hatırlatıcılar ve çevrimiçi görev listeleri gibi araçlar, öğrencilerin rutinlerini takip etmelerine, ödevlerini zamanında tamamlamalarına ve sınıf içi etkinliklere daha etkin katılmalarına olanak sağlamaktadır. Özellikle yürütücü işlevlerde güçlükle yaşayan öğrenciler için bu teknolojiler, görevleri bağımsız bir şekilde yerine getirmeyi

kolaylaştırmakta, öğrenme sürecinde özerkliği artırmakta ve öğrencinin eğitim ortamındaki motivasyonunu desteklemektedir (Balint-Langel ve diğerleri, 2019; Shepley ve diğerleri, 2015).

Ayrıca, destekleyici/dijital teknolojiler, öğrencilerin akademik ve günlük yaşam becerilerini bir arada destekleyen bütüncül bir işlev üstlenmektedir. Örneğin, görsel planlayıcılar ve hatırlatıcı uygulamalar, öğrencilerin hem ders materyallerine hem de günlük rutinlerine erişimini kolaylaştırırken, dijital not alma araçları öğrenme sürecinde bilgilerin kaydedilmesini ve organize edilmesini sağlamaktadır (Saygıner ve Laçın, 2024; Shepley ve diğerleri, 2015). Bu araçlar, özel gereksinimli öğrencilerin kendi öğrenme süreçlerini yönetmelerini destekleyerek bireyselleştirilmiş öğrenme fırsatları yaratmaktadır.

Sonuç olarak, destekleyici/dijital teknolojiler, öğrencilerin akademik başarılarını doğrudan artırmaktan ziyade, öğrenme süreçlerini organize etme, görev yönetimi ve günlük yaşam becerilerini destekleme ekseninde kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojilerin amaçlı ve planlı kullanımı, özel gereksinimli bireylerin eğitim sürecine, günlük yaşam aktivitelerine ve toplumsal yaşama daha bağımsız, etkin ve sürdürülebilir olarak katılmalarını sağlamaktadır (Bassette, Taber-Doughty, Gama, Alberto, Yakubova, ve Cihak, 2018; Shepley ve diğerleri, 2015;).

Bu çalışmada teknolojilerin yardımcı, eğitsel ve destekleyici/dijital teknoloji olarak ele alınmasındaki belirleyici olan unsur, teknolojinin teknik yapısından ziyade kullanım amacı ve üstlendiği işlevdir. Dolayısıyla aynı dijital araç, öğrenim süreçlerinin ve akademik becerilerin geliştirilmesinde kullanıldığında eğitsel teknoloji; işlevsel yeterlilikleri, bağımsızlığı ve çevreyle etkileşimi artırmada kullanıldığında yardımcı teknoloji; öğrenme süreçlerini ve günlük yaşamdaki görevleri organize etmek için kullanıldığında ise destekleyici/dijital teknoloji olarak değerlendirilebilir.

Örneğin, görme yetersizliği olan bir kişi için tablet üzerine yüklenen ekran okuyucu ve sesli kitap uygulamaları, kişinin bilgiye erişimini sağlamaktadır. Birey bağımsız olarak kitap okuyabilir, internette gezinebilir ve bilgiye ulaşabilir (Tlili, Zhang ve Huang, 2024). Bu durumda tablet bir yardımcı teknoloji görevi görmektedir. Aynı tablet, sınıfta öğretim amaçlı olarak interaktif eğitim materyalleri, animasyonlar ve eğitim oyunları ile kullanıldığında eğitsel teknoloji kapsamında değerlendirilmektedir. Bireyler tablet üzerinden takvim ve hatırlatıcı uygulamaları kullanarak ilaç saatlerini, randevuları veya günlük görevleri takip edebilmektedirler. Özellikle zihin yetersizliği, otizm spektrum bozukluğu ve dikkat eksikliği/hiperaktivite bozukluğu olan bireyler, bu sayede günlük yaşamlarını daha bağımsız ve düzenli yönetebilmektedirler. Burada ise tablet destekleyici/dijital teknoloji olarak işlev görmektedir (Van Laarhoven ve diğerleri, 2009).

İşitme kaybı olan bir kişi, anlık mesajlaşma, videolu konuşmalarda altyazı ve işaret dili çeviri uygulamalarını kullanarak iletişimden kaynaklı engelleri azaltmakta ve sosyal olarak daha bağımsız hale gelmektedir (Topçu ve Çakır, 2025). Bu durumda akıllı telefon, bireyin işlevselliğini artıran yardımcı teknoloji görevi görmektedir. Özel gereksinimli bireyler, eğitim uygulamaları (örn. Clipchamp uygulaması, LearningApps) veya interaktif ders videoları ile ders çalışabilmektedirler. Bu uygulamalar sayesinde dersler daha erişilebilir ve bireyselleştirilmiş hale gelmekte, öğrenme hızı ve motivasyon artmaktadır (Saygıner ve Laçın, 2024). Bu durumda akıllı telefon eğitim öğretim süreçlerine katkı sağladığı için eğitsel teknoloji olarak kullanılmaktadır. Bireyler, akıllı telefon üzerindeki not alma, yapılacaklar listesi, konum tabanlı uygulamalar (örn. navigasyon, yol tarifi) sayesinde zaman yönetimini geliştirebilmekte ve günlük planlamalarını daha verimli yapabilmektedir (Smith, Cihak, Kim, McMahon, ve Wright, 2017). Bu kullanım, akıllı telefonu destekleyici/dijital teknoloji olarak değerlendirmeyi gerektirmektedir.

Yapay zeka sistemleri için de durum aynıdır. Örneğin yardımcı teknoloji işlevi ile kullanılan yapay zeka uygulamaları çeşitli nedenlerle yaşam için gerekli becerileri yerine getirmede güçlük yaşayan otizm spektrum bozukluğu (OSB) olan bireylere kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunarak, bireye özgü öğretim yöntem ve stratejilerinin kullanılmasını sağlamakta; böylece performanslarını artırmada karşılaştıkları bazı zorlukların aşılmasına katkıda bulunmaktadır (Sağdıç ve Sani-Bozkurt, 2020). Farklı bir örnek ise başka kullanıcılarla sanal dünyalar oluşturmayı sağlayan VRChat uygulamalarıdır. Bu uygulamalar, OSB olan kişiler için tasarlanmış bir oyun uygulamasıdır. İletişim konusunda sıkıntı yaşayan bu bireyler, avatarlarının beden diliyle kendilerini ifade edebilme konusunda ilerleyebilmektedir. Ayrıca bu uygulama ses tanıma yazılımları ile konuşmayı otomatik bir sesle değiştirebilmekte, VR dünyasında farklı şekillerde iletişim kurmayı sağlamaktadır (Bookman, Mondelli, ve Yokoyama, 2024). Probo-Mamut isimli robot ise OSB'li çocuklarda problem davranışların azaltılmasında kullanılan bir uygulamadır. Karmaşık ve öğrenilmesi zor olan davranışların öğretilmesinde bu robotlardan yararlanılmaktadır (Çakır ve Karaaziz, 2024; Sağdıç ve Sani-Bozkurt, 2020). Yapay zeka sistemlerinin yardımcı teknolojilere entegre edilmesini içeren bu uygulamalar OSB olan bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmakta, çevreleriyle iletişim ve etkileşimlerini arttırmaktadır. Robot destekli öğrenme (NAO, Kaspar gibi sosyal robotlar), oyunlaştırılmış eğitim yazılımları, dokunmatik ekranlı eğitsel oyunlar da yapay zeka destekli eğitsel teknolojiler kapsamında OSB olan bireylerin eğitim-öğretim süreçlerinde kullanılmaktadır. Yapay zeka sistemleri tüm teknoloji türlerini desteklemektedir. Zamanlayıcı ve görsel sayaç uygulamaları, görev analizi ve adım adım yönerge uygulamaları gibi yapay zeka sistemleri de OSB olan bireylerin yaşamlarını planlamaları, yönetmeleri ve organize olmaları yönünde katkı sağlayan destekleyici/dijital teknolojilerdir.

Yapay zeka sistemleri farklı teknoloji türlerine entegre edilerek işitme kaybı olan çocukların yaşamlarını kolaylaştırma ve eğitim-öğretim süreçlerini etkili şekilde geçirmelerine de katkı sağlamaktadır. Çevresindeki kişilerle iletişim kurabilmelerine yardımcı olmak için işitme kaybı olan bireylerde yapay zeka tabanlı konuşma tanıma sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu bireyler dinlemeyi destekleyen elektronik cihazları kullanmaktadırlar. Bu cihazlar yapay zekanın alt bölümlerinden olan makine öğrenmesinin kullanımı aracılığıyla arka plan gürültüsünün azaltılarak konuşma ve sinyal işleme performansını optimize etme olanağı sunmaktadır (Samim, 2023). İşitme kaybı olan bireylerin eğitiminde yapay zekanın sunduğu başka bir fırsat ise, destekleyici alternatif iletişim cihazlarıdır. Bu cihazlar, beyin-bilgisayar arayüzü ya da kullanıcının sıklıkla kullanmış olduğu bazı sembollere dokunarak işlem yapmaya izin vermektedir. Böylelikle cihazın hızla tepkiler üretmesi sayesinde sesli konuşma sinyalleri üretilebilmesi ve bireylerin düşüncelerini etrafına iletebilmesini sağlamaktadır. Aynı şekilde görsel tanımlayıcılar kullanılarak da işaret dilinin sese tercüme edilmesi gerçekleştirilebilmektedir (Zdravkova, 2022). Yine sesli konuşmayı yazıya çeviren yazılımlar da yapay zeka uygulamaları desteği ile işitme kaybı olan bireylere destek sunmaktadır (Okolo, Althobaiti, ve Ramzan, 2024). Yapay zeka desteğiyle işaret dili çeviri sistemiyle, işaret dilinin yazıya ve konuşmaya dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Böylece işitme yetersizliği olan bireylerin çevresindekilerle iletişim kurmaları sağlanmaktadır (Camgoz, Hadfield, Koller, Ney, ve Bowden, 2018). İşitme kaybı olan bireylerin işlevsel yeterliliklerini ve çevreyle etkileşimlerini artırarak bu bireylerin daha bağımsız olmalarını desteklemek için kullanılan yapay zeka sistemleri ise yardımcı teknolojiler bağlamında ele alınmaktadır.

Yapay zeka sistemleriyle üretilen metin ve fiziksel nesneleri işarete dönüştüren mobil uygulamalar, teknik bilgisayar bilimi terimlerini içeren sözlük, işaret dili sözlüğü tabanlı mobil uygulama, ders yazılımları, 3B sanal işaretleyici vb. uygulamalar da işitme kaybı olan bireylerin öğrenme süreçlerinde kullanılan yapay zeka destekli eğitsel teknolojilerdir (Topçu ve Çakır, 2025). Bu uygulamalar bireylerin öğrenme yaşamlarını desteklemek, akademik başarılarını geliştirmek amacıyla bireylere katkı sunmaktadır. Destekleyici dijital teknoloji işleviyle

kullanılan yapay zeka uygulamaları kapsamında Ava isimli bir yapay zekâ uygulaması aracılığıyla işitme kaybı olan bireyler sözlü konuşmalara dahil olabilmektedirler. Uygulama sayesinde bu bireyler ders, seminer, toplantı ve çeşitli etkinliklere katılabilmektedirler (Samim, 2023). Bu kapsamda ise bu sistemin destekleyici teknoloji içerisinde yer bulduğu görülmektedir.

Yapay zeka sistemleri görme kaybı olan bireylerin yaşamlarında da etkili uygulamalardır. Görme kaybı olan bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmak için sıklıkla kullandıkları araçlardan biri bastondur. Bastonlar yapay zeka tabanlı sistemler aracılığıyla ve çeşitli sensörlerle donatılan akıllı bastonlara dönüşmektedir. Akıllı bastonlar, ortamlardaki engelleri algılayarak görme kaybı olan bireylere titreşimlerle ve sesli uyarılarla dönüt vermektedir. Ek olarak bu cihazlarda söz konusu bireylerin hedeflerine güvenli biçimde ulaşmalarına katkı sunmak amacıyla GPS tabanlı navigasyon işlevi de bulunmaktadır (Uzun ve Arkan, 2024). Yapay zeka destekli bir başka rehberlik uygulaması da Microsoft tarafından geliştirilen Seeing AI uygulamasıdır. Görme kaybı olan bireyler için geliştirilen bu uygulama konum tabanlı hizmet sunarak bireyleri sesli komutlarla yönlendirebilmektedir. Ayrıca bireylerin etraflarındaki kişileri, nesneleri ve metinleri de tanımalarına destek olmaktadır (Samim, 2023). Bu uygulamalar yapay zeka sistemlerinin yardımcı teknolojilerle kullanımına örnek oluşturmaktadır.

Yapay zeka tabanlı öğrenme sistemleri eğitsel teknolojilere de entegre edilmektedir. Görme kaybı olan bireyler için kullanılan Siri, Cortana gibi yapay zeka destekli uygulamalar buna örnek gösterilebilir. Söz konusu uygulamalarda ses algılayabilen kişisel asistanlar, derin öğrenme ve doğal dil işleme yaklaşımları kullanılarak herhangi bir görselin görme kaybı olan bireye sesli olarak açıklanmasına fırsat verilmektedir. “Alt-text” uygulamaları bu kapsamda kullanılmaktadır (Tiway ve Mahapatra, 2023; Wu, Wieland, Farivar, ve Schiller, 2017). Yapay zekâ tabanlı rehberlik uygulamaları ise görme kaybı olan bireyler için tasarlanmış uygulamalardandır (Okolo ve diğerleri, 2024). Bunlara ek olarak görme kaybı olan bireyler için, parmağa takılan yüzük benzeri bir cihaz kullanılarak parmağın üzerinde gezindiği metnin okunarak ses sinyaliye dönüştürülmesi ya da metnin algılanarak bu bilginin “okuyan kişinin” parmaklarını sürekli üzerinde tutacağı bir Braille alfabesi donanımı üzerinde Braille diline tercüme edilebileceği çalışmaların olduğu da açıklanmaktadır (Yu ve Lu, 2021). Yapay zeka sistemlerinin görme kaybı olan bireylerin öğrenme süreçlerine, günlük yaşamdaki görevlerini organize etmelerine olan bu katkıları ise destekleyici/dijital teknolojiler bağlamında ele alınmaktadır.

Fiziksel yetersizliği olan bireylerin işlevsel yeterliliklerini ve bağımsızlıklarını artırarak toplumsal ortamlara erişilebilirliğini sağlamak amacıyla yardımcı teknolojilerden yararlanılmaktadır. Fiziksel yetersizliği olan bireylerde özellikle akıllı tekerlekli sandalyeler ve yapay zekâ destekli beyin-bilgisayar ara yüzü kullanılmaktadır (BCI). BCI uygulaması, beyin sinyallerini komuta dönüştürmektedir. Böylece bilgisayarları ve diğer cihazları kontrol edebilmeyi sağlamaktadır. Bu cihaz sayesinde de bireylerin başkalarıyla iletişim kurabilmeleri ve çevrelerini kontrol edebilmeleri mümkün olabilmektedir (Almufareh, Tehsin, Humayun, ve Kausar, 2023). Yapay zeka tabanlı sistemlerin bu katkısı fiziksel yetersizliği olan bireylerde kullanılan yardımcı teknolojilere örnek olarak gösterilmektedir. Söz konusu bireyler için özel tasarlanmış adaptif joystick veya sensörlerle kontrol edilen oyunlar, sanallaştırılmış laboratuvarlar yapay zekanın eğitsel teknolojiye entegre edilmesiyle kullanılan uygulamalardır. Bu uygulamalar fiziksel yetersizliği olan bireylerin eğitim öğretim süreçlerini ve akademik becerilerini geliştirmek amacıyla tasarlanmıştır (Tlili ve diğerleri, 2022). Diğer yetersizlik gruplarında olduğu gibi fiziksel yetersizliği olan bireyler de telefon ya da tabletlerindeki hatırlatma ve planlama uygulamalardan yararlanmaları, akıllı protez ve ortez kullanmaları sayesinde öğrenme süreçlerine ve günlük yaşamlarındaki görevleri yerine getirmede planlı ve organize olabilmektedirler. Bu uygulamalar yapay zeka sistemlerinin destekleyici/dijital teknolojilerle kullanımına örnek olarak gösterilmektedir.

Görüldüğü üzere yapay zeka tabanlı öğrenme sistemleri pek çok yetersizlik grubunda kullanılmaktadır. Zihinsel yetersizlik, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu, öğrenme güçlüğü tanımlı bireyler için de yapay zeka destekli bilişsel ortotik cihazları bulunmaktadır. Zihinsel haritalar ya da kavram haritaları oluşturmaya imkân tanıyan yazılımlar bunlara örnek verilebilmektedir (Zdravkova, 2022). Yapay zeka uygulamalarında yer alan derin öğrenme yaklaşımları sayesinde bu bireyler zihinsel süreçlere uyum sağlayarak verimliliklerini artırabilmektedirler.

Wu ve diğerleri (2017) ise Neural Machine Translation (NMT) kullanarak öğrenme güçlüğü yaşayan bireylere destek olması için yazım hatalarını düzelten Additional Writing Help (AWH) aracını geliştirmişlerdir. Bu tür yapay zeka sistemleri özel eğitimde eğitsel teknolojiyle entegre edilerek kullanılmaktadır. Mobil hatırlatıcılar, dijital asistanlar, robotlar, kullanıcıların sorulara metin cevaplı verdikleri yanıtları kullanan sohbet botu (Yuan, Holtz, Smith, ve Luo, 2017); yapay zeka destekli sosyal hikayeler (Riedl, Arriaga, Boujarwah, Hong, Isbell, ve Heflin, 2009) gibi uygulamalarla zihin yetersizliği, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu, öğrenme güçlüğü tanımlı bireylere yapay zeka sistemleriyle birlikte kullanılan yardımcı teknolojilerle destek sunulmaktadır. Söz konusu bireyler akıllı telefonlarına bir takım uygulamalar (örn: navigasyon, alarm, hatırlatıcı, sözlük, alışveriş) yükleyerek ve bu uygulamaları kullanarak ya da eğlenceli mobil uygulama ortamlarında çalışarak eğitim-öğretim süreçlerini ve günlük yaşam görevlerini planlayabilmekte ve organize edebilmektedir (De Leo, Gonzales, Battagiri ve Leroy, 2011). Bu bağlamda yapay zeka destekleyici/dijital teknolojiye katkı sunan bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Örneklerde de belirtildiği üzere yapay zeka sistemleri farklı teknolojilere entegre edilerek bireylere daha verimli ve kişiselleştirilmiş yaşantılar sunmaktadır. Yapay zeka sistemleri özel gereksinimli bireylerin yetersizliğinden kaynaklı engellerin en aza indirilerek bu bireylerin işlevsel yeterliliğini artırma, bağımsızlığına katkı sunma bağlamında yardımcı teknoloji; bireylerin öğrenme süreçlerini aktif, verimli geçirmelerini ve bireyselleşmelerini desteklemek anlamında eğitsel teknoloji ve bireylerin öğrenme süreçlerini, günlük yaşamlarını organize etmeleri ve bağımsızlaşmasını geliştirmek konusunda da destekleyici/dijital teknoloji işlevi ile kullanılmaktadır. Bu bağlamda yapay zeka sistemleri farklı teknoloji türleriyle bütünleşmiş şekilde bireylerin yaşamlarına katkı sunmaktadır.

Teknolojinin teknik yapısından ziyade kullanım amacı ve üstlendiği işleve göre yapılan sınıflama yaklaşımı, özel gereksinimli bireylerin farklı ihtiyaçlarına göre teknolojinin esnek ve bütüncül bir biçimde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, açıklanan teknolojiler birbirini tamamlayıcı nitelikte olup, bilinçli ve amaç odaklı kullanıldığında, özel gereksinimli öğrencilerin eğitim süreçlerine daha bağımsız, etkili ve sürdürülebilir biçimde katılmalarını desteklemektedir. Özel eğitimde kullanılan teknolojilerin bu yaklaşımla açıklanması, her bir aracın işlevini ve kullanım amacını netleştirmekte ve eğitim süreçlerinde hangi teknolojinin hangi durumda etkili olabileceğini göstermektedir.

Öğrencilerin bireysel ihtiyaçları doğrultusunda uygulama biçimlerini somutlaştırmak için Tablo 1’de yardımcı teknoloji, eğitsel teknoloji ve destekleyici/dijital teknoloji kapsamında yer alan başlıca teknolojik araçlar ve senaryolar gösterilmektedir.

Tablo 1. Özel Eğitimde Teknolojilerin İşlev Temelli Kullanımına İlişkin Örnek Senaryolar

Teknoloji Türü	Somut Örnekler ve Senaryolar
Yardımcı Teknoloji	AAC cihazları: Dil ve konuşma güçlüğü yaşayan 8 yaşındaki bir öğrenci, tablet tabanlı AAC cihazı ile arkadaşlarıyla sohbeti başlatıp, sürdürebilir, onlarla oyun planlayabilir. Öğretmenine soru sorabilir. Ekran okuyucular: Görme yetersizliği olan Ali, ders kitaplarını sesli dinleyerek bağımsız şekilde çalışabilir. Uyarlanmış bilgisayar sistemleri: İnce motor becerilerinde güçlük yaşayan Ece, uyarlanmış fare ve klavye ile bilgisayarda derslere katılabilir, ödevlerini yapabilir.
Eğitsel Teknoloji	Oyun tabanlı öğrenme uygulamaları: Oya, okumada güçlük çekmektedir. Bilgisayarda oluşturulmuş basit kelime oyunları ile okuma becerilerini geliştirebilir. Simülasyon programları ve etkileşimli tahtalar: Ahmet, Fen dersinde sanal laboratuvar simülasyonu ile güvenli şekilde deney yapabilir. Akıllı eğitim yazılımları: Lale, Matematik dersinde zorlandığı konuları kişiselleştirilmiş tekrarlarla öğrenebilir.
Destekleyici / Dijital Teknoloji	Tabletler ve dijital not alma araçları: Dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu olan ve özellikle dikkat konusunda güçlük yaşayan Selin, günlük yaşantısında yapması gereken görevleri unutmamak için tablet üzerinden not alarak gün içi görev ve sorumluluklarını takip edebilir. Zaman yönetimi uygulamaları: Zihin yetersizliği olan, faturalarını ödemeyi sık sık unutan Anıl, sesli dijital planlayıcı ile zamanında faturalarını ödeyebilir. Görsel planlayıcılar ve hatırlatıcılar: Otizm spektrum bozukluğu olan ve rutinlerini takip etmekte güçlük çeken Ömer, günlük rutinlerini görsel desteklerle düzenleyebilir, zamanını yönetebilir.

Tablo 1, özel eğitimde teknolojilerin uygulamadaki çeşitliliğini ve öğrencilerin bireysel ihtiyaçlarına göre nasıl farklı şekillerde kullanılabileceğini göstermektedir. Senaryolar, teknolojinin yalnızca akademik başarıyı değil, aynı zamanda sosyal etkileşim, iletişim ve günlük yaşam becerilerini de desteklediğini ortaya koymaktadır. Bu tür somut örnekler, öğretmenlerin ve eğitimcilerin teknoloji seçiminde bilinçli ve öğrencinin gereksinimlerine uygun kararlar almasına yardımcı olmaktadır.

Özel Gereksinimli Öğrenciler İçin Teknolojinin Katkısı

Özel eğitimde kullanılan teknolojilerin ve bu teknolojiler kullanılarak gerçekleştirilen öğretim yöntemlerinin öğrencilerin eğitim-öğretim sürecine katılımını artırmanın yanı sıra onların bağımsız yaşam becerilerini desteklemede önemli katkıları olduğu görülmektedir.

Bilişsel ve Akademik Katkılar

Teknolojinin özel gereksinimli bireylerin bilişsel süreçlerine ve akademik performansına olumlu etkisi açıktır. Ayrıca teknoloji, öğrencilerin bağımsızlıklarını ve işlevsel yeteneklerini artırma, sürdürme veya geliştirme, güçlü yönlerini açığa çıkarma gibi alanlarda önemli katkılar sağlamaktadır (Felicia ve diğerleri, 2014).

Matematiksel işlemler ve kavram öğrenimi: Sanal manipülatifler, fiziksel nesnelerin dijital temsilleri olarak öğrencinin, ekran üzerinde geometrik şekiller, sayaçlar ve bloklarla etkileşime girerek matematiksel kavramları öğrenmesine olanak tanımaktadır (Moyer, Bolyard, ve Spikell, 2002). “Dokunarak Rakamları Öğrenelim” gibi tablet üzerindeki yazılımları, rakamlarla nesneleri eşlemeyi kolaylaştırmaktadır (Öztürk ve Yıkılmış, 2020). Ayrıca Makey Makey yöntemi ile öğrenciler meyveleri ayırt etme gibi somut kavramları öğrenebilmektedir (Aydoğan ve Kocakoyun Aydoğan, 2020).

Okuma ve yazma becerilerinin öğrenimi: Zihin yetersizliği olan bir öğrenci, Edmark Okuma Programı İşlevsel Kelimeler Serisi ile işlevsel okuma becerilerini geliştirebilmektedir (Akarsu, 2022). Disleksi sorunu yaşayan öğrenci ise kelime oyunları ve dijital uygulamalar aracılığıyla okuma becerilerini güçlendirebilmektedir (Kavan, 2021).

Fen bilimleri öğrenimi: Tablet bilgisayar ve artırılmış gerçeklik uygulamaları, öğrencilerin hava, hayat, kemikler, organlar veya bitki hücresi gibi kavramları deneyimleyerek öğrenmesini sağlamaktadır (Kim ve Lee, 2016; McMahon, Cihak, Wright, ve Bell, 2016). Teknoloji desteği, öğrencilerin bilgiyi deneyimleyerek öğrenmelerini, motivasyonlarını artırmalarını ve eğlenceli bir öğrenme ortamında etkileşim içinde bulunmalarını sağlamaktadır (Subakan ve Koç, 2019).

Sosyal ve İletişimsel Katkıları

Teknolojiler, özel gereksinimli öğrencilerin sosyal etkileşim ve iletişim becerilerini geliştirmede önemli bir rol oynamaktadır (Fernández-Batanero, Montenegro-Rueda, ve Fernández-Cerero, 2022).

Sosyal etkileşim becerileri: Teknoloji destekli etkileşimli ortamlar, OSB olan öğrencilerin sosyal becerilerini geliştirmelerine yardımcı olmaktadır (Sani-Bozkurt, 2017; Pektaş-Karabekir, 2016).

İletişim becerileri: Uzaktan aile eğitim uygulamaları ile özel gereksinimli bireylerin iletişim becerileri artırılabilir (Kizir, 2021). Akıllı uygulamalar aracılığıyla bireylere talep etme becerileri kazandırılmaktadır (Şen, 2022). Ayrıca video modelleme yöntemleri, sosyal becerilerin öğrenilmesini desteklemektedir (Gökmen, 2025; Gül ve Vuran, 2010).

Alternatif ve Destekleyici İletişim (ADİ) cihazları ile OSB olan çocuklar uyarlanmış resim değişim iletişim sistemleri ve konuşma üreten cihazlar aracılığıyla istekte bulunmayı öğrenebilmektedirler (Genc-Tosun, Kurt, ve Pektaş-Karabekir, 2025).

Etkinlik çizelgesi kullanımı: Fotoğraflı etkinlik çizelgeleri, öğrencilerin sınıf etkinliklerini takip etmelerini ve görevlerini tamamlamalarını sağlamaktadır (Akgül, 2010).

Bağımsızlık ve Günlük Yaşam Katkıları

Destekleyici/dijital teknolojiler, özel gereksinimli öğrencilerin ödevlerini ve sorumluluklarını yerine getirme, zamanı yönetme ve günlük rutinlerini bağımsız bir şekilde gerçekleştirebilmelerine katkı sağlamaktadır (Alper ve Raharınirina, 2006).

Görev planlama ve zaman yönetimi: Tablet üzerinde hazırlanan etkinlik çizelgeleri, OSB olan öğrencilerin serbest zamanlarını planlamalarına ve günlük rutinlerini takip etmelerine yardımcı olmaktadır (Direm, 2019).

Bağımsız yaşam becerileri: Bilgisayar destekli video öğretimi (BDVÖ) ile öğrenciler, toplum kaynaklarını kullanma gibi becerileri öğrenebilmektedir (Kurtoğlu ve diğerleri, 2017).

Animasyon temelli video programları, zihinsel yetersizliği olan öğrencilerin dış fırçalama, el yıkama ve el kurulama gibi özbakım becerilerini kazanmalarına yardımcı olmaktadır (Arslantaş, Yılmaz, ve Günlü, 2024).

Bu örnekler ve senaryolar, özel eğitimde kullanılan yardımcı teknoloji, eğitsel teknoloji ve destekleyici/dijital teknolojilerin öğrencilerin bireysel öğrenme, sosyal etkileşim ve günlük yaşam becerilerine sağladığı katkıları somut bir biçimde göstermektedir. Teknolojilerin bilinçli ve amaca yönelik kullanımı, öğrencilerin bağımsızlık düzeylerini artırırken, eğitim ortamına daha etkin ve sürdürülebilir katılımlarını da desteklemektedir.

Teknolojinin özel gereksinimli bireylerin bilişsel, akademik, sosyal, iletişim, günlük yaşam vb. gibi becerilerini geliştirmelerine destek sunarak bu bireylerin toplumsal yaşamlarında bağımsız bir birey olmalarında önemli rol oynamaktır (Felicia, 2014; Fernández-Batanero ve diğerleri, 2022; Alper ve Raharinirina, 2006). Teknolojinin dolasıyla da digitalleşmenin özel eğitim alanında da yaygınlaşması özel gereksinimli bireylerin yaşamlarına olumlu katkılarının olduğunu düşündürmekle birlikte ebeveynlerde ve uzmanlarda dijital medya içeriklerine dair kaygılar oluşturmaktadır. Özel greksinimli bireyler için dijital medya içeriklerinden ya da mobil uygulamaların hangilerinin çocuklara uygun olduğu, YouTube kullanımı, bireyler için yapılan akıllı uygulamalar, teknolojik yenilikler, güvenli dijital medya kullanımı gibi konular gündeme gelmiştir. Sonuç olarak her ne kadar özel gereksinimli bireylerin kullanmaları için geliştirilen farklı teknolojik uygulamalar mevcut olsa da bu uygulamalarda bireylerin güvenliği için uygun olmayan içeriklerin bulunma ihtimali de vardır (Mumcu, 2024). Bu nedenle özel gereksinimli çocuğa sahip ebeveynlerin ve özel gereksinimli çocuklara hizmet sunan eğitimcilerin/uzmanların uygulamaları kullanmadan önce mutlaka kendilerinin kontrol etmesi gerekmektedir.

Gelecekte Özel Eğitim Alanında Teknoloji Kullanımına Yönelik Öneriler

Özel eğitimde teknolojinin bilişsel, akademik, sosyal ve günlük yaşam becerilerine sağladığı çok boyutlu katkılar dikkate alındığında, bu araçların gelecekte daha etkili ve sürdürülebilir biçimde kullanılabilmesi için belirli ilkelere dayalı stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Öncelikle, teknoloji kullanımının araç merkezli değil, öğrenci merkezli ve amaç odaklı bir anlayışla ele alınması önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, teknolojik araçların seçimi ve kullanımı, öğrencinin bireysel gereksinimleri, güçlü yönleri ve öğrenme profili doğrultusunda planlanmalıdır.

Gelecekte özel eğitim uygulamalarında, bireyselleştirilmiş eğitim programları (BEP) ile teknoloji kullanımının daha bütüncül biçimde ilişkilendirilmesi önerilmektedir. Öğrencinin öğrenme sürecini doğrudan destekleyen eğitim teknolojileri, işlevsel yeterlilikleri artırmaya yönelik yardımcı teknolojiler ve öğrenme sürecini organize eden destekleyici/dijital teknolojiler, BEP hedefleriyle uyumlu biçimde birlikte kullanılmalıdır. Bu yaklaşım, teknolojinin rastlantısal değil, sistematik ve işlevsel bir destek aracı olarak konumlandırılmasını sağlayacaktır (Solo-Özgüç, 2015; Wehmeyer, Lattin, Lapp-Rincker, ve Agran, 2003).

Teknolojinin etkili kullanımında öğretmen ve aile yeterlikleri belirleyici bir rol oynamaktadır. Öğretmenlerin teknolojiye yönelik pedagojik bilgi ve becerilerinin güçlendirilmesi, teknolojik araçların sınıf içi uygulamalara anlamlı biçimde entegre edilmesini kolaylaştıracaktır. Benzer şekilde, ailelerin teknoloji kullanımına ilişkin bilgilendirilmesi ve sürece dâhil edilmesi, öğrencinin okul ve ev ortamları arasında tutarlı bir öğrenme deneyimi yaşamasına katkı sağlayacaktır (Çankaya, 2013; Çay, Yıkılmış, ve Özgüç, 2020; Sertkaya, 2021).

Gelecek uygulamalarda, geliştirilen teknolojilerin erişilebilirlik ve evrensel tasarım ilkelerine uygun olması da büyük önem taşımaktadır. Farklı yetersizlik türlerine sahip öğrencilerin teknolojiden eşit biçimde yararlanabilmesi için kullanıcı dostu, uyarlanabilir ve esnek dijital ortamların tasarlanması gerekmektedir. Artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve yapay zekâ temelli sistemler gibi yeni teknolojilerin ise pedagojik hedeflerle uyumlu biçimde ve kanıta dayalı

uygulamalar çerçevesinde özel eğitim alanına entegre edilmesi önerilmektedir (Lee ve Templeton, 2008; Wehmeyer ve diğerleri, 2003).

Son olarak, teknoloji kullanımının etkililiğini değerlendirmek amacıyla veri temelli izleme ve değerlendirme süreçlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Öğrencinin öğrenme performansı, katılım düzeyi ve bağımsızlık becerilerindeki değişimler düzenli olarak izlenmeli; elde edilen veriler doğrultusunda teknoloji kullanımı sürekli olarak gözden geçirilmelidir. Bu yaklaşım, hem uygulamaların niteliğini artıracak hem de özel eğitim alanında teknolojiye ilişkin bilimsel bilgi birikiminin gelişimine katkı sağlayacaktır.

Sonuç

Bu çalışmada, özel gereksinimli bireylerin akademik ve bağımsız yaşam alanlarını destekleyen teknolojiler; yardımcı teknoloji, eğitsel teknoloji ve destekleyici/dijital teknoloji başlıkları altında açıklanmıştır. Bu teknolojilerin özel gereksinimli öğrencilerin bilişsel, akademik, sosyal ve günlük yaşam becerilerine sağladığı katkılar somut örnekler üzerinden incelenmiştir. Bulgular, teknolojinin özel eğitimde etkili bir araç olmasının, sahip olduğu teknik özelliklerden çok, kullanım amacı ve üstlendiği işlevle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı teknolojik aracın farklı kullanım amaçlarına göre farklı teknoloji türleri kapsamında değerlendirilebileceği göz önünde bulundurulduğunda, teknolojinin özel eğitimde esnek, bütüncül ve bağlama duyarlı bir anlayışla ele alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu yönüyle çalışma, öğretmenler ve eğitimciler için öğrencilerin bireysel gereksinimlerine uygun teknoloji seçimlerini daha bilinçli bir şekilde yapmalarına olanak tanıyan işlevsel bir çerçeve sunmaktadır.

Sonuç olarak, özel eğitimde teknolojinin bilinçli, amaç odaklı ve bireyselleştirilmiş biçimde kullanımı, yalnızca akademik öğrenmeyi desteklemekle kalmayıp öğrencilerin iletişim becerilerini, sosyal etkileşimlerini, bağımsızlık düzeylerini ve yaşam kalitelerini artıran bütüncül bir katkı sağlamaktadır. Özellikle son zamanlarda güncel konu olan yapay zekâ tabanlı uygulamalar, öğrencilerin bireysel öğrenme profillerine uygun içerik sunma, otomatik geribildirim sağlama ve öğrenme süreçlerini bireyselleştirme kapasitesi ile özel eğitimde önemli bir potansiyel taşımaktadır (Adıgüzel ve Kaya, 2023; Baker, Smith, ve Anissa, 2019; Chemnad ve Othman, 2024). Yapay zeka destekli araçlar hem bilişsel hem de sosyal becerilerin geliştirilmesine yönelik etkileşimli ve uyarlanabilir öğrenme ortamları sunarak, geleneksel teknolojilerin sağladığı katkıları tamamlayıcı niteliktedir. Böylece yapay zekâ, özel gereksinimli bireylerin eğitiminde daha esnek, veri odaklı ve bireyselleştirilmiş müdahalelere olanak tanıyan bir araç olarak konumlanmaktadır (Özer, Yazıcı, Akgül, ve Yıldırım, 2023; Yang, Chen, He, Sun, ve Salas-Pilco, 2024).

Bütüncül olarak bakıldığında bu çalışma, teknoloji türlerinden ziyade kullanım amacına dayalı bir değerlendirme yaklaşımını merkeze alarak, hem uygulayıcılara hem de araştırmacılara yol gösterici bir bakış açısı sunmakta ve gelecekteki araştırmalar ile uygulamalar için kuramsal ve pratik bir temel oluşturmaktadır.

Kaynakça

- Akgül, A. (2010). *Otizimli çocuğa fotoğraflı etkinlik çizelgesi takip etme becerisi kazandırma*. (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Özel Eğitim Anabilim Dalı, İstanbul
- Adiguzel, T., Kaya, M. H., & Cansu, F. K. (2023). Revolutionizing education with AI: Exploring the transformative potential of ChatGPT. *Contemporary Educational Technology*, 15(3), 429.
- Akarsu, B. (2022). *Zihinsel yetersizliği olan öğrencilere işlevsel okuma becerilerinin kazandırılmasında tablet bilgisayar ile sunulan Edmark okuma programı işlevsel kelimeler serisinin etkisi*. (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Özel Eğitim Anabilim Dalı, Konya.
- Alper, S. ve Raharinirina, S. (2006). Assistive technology for individuals with disabilities: A review and synthesis of the literature. *Journal of Special Education Technology*, 21(2), 47–64. <https://doi.org/10.1177/016264340602100204>
- Arslantaş, T. K., Özgür Yılmaz, Ç. ve Günlü, Y. (2024). Zihinsel yetersizliği olan bireylerin öz bakım becerilerini kullanmada 2B animasyonların etkililiği. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 14(1), 65–88. <https://doi.org/10.17943/etku.1286373>
- Almufareh, M. F., Tehsin, S., Humayun, M., ve Kausar, S. (2023). Intellectual disability and technology: An artificial intelligence perspective and framework. *Journal of Disability Research*, 2(4), 58–70. <https://doi.org/10.57197/JDR-2023-0055>
- Aydoğan, A. ve Aydoğan, Ş. K. (2020). Özel eğitime gereksinim duyan çocuklarda Makey Makey ile kavram öğretiminin etkililiği. *Turkish Special Education Journal: International*, 2(2), 12–35. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1188971>
- Baker, J. M., Wennerlind, R., Devine, S. M. ve Nasir-Tucktuck, M. (2019). The use of smart technology on improving time management of college students with intellectual/developmental disability. *Journal of Inclusive Postsecondary Education*, 1(1). <https://journals.gmu.edu/jipe/article/view/2458/1531>
- Balint-Langel, L., Woods-Groves, S., Rodgers, D. B., Rila, A. ve Riden, B. S. (2019). Using a computer-based strategy to teach self-advocacy skills to middle school students with disabilities. *Journal of Special Education Technology*, 35(4), 249–261. <https://doi.org/10.1177/0162643419864847>
- Bausch, M. E., Mittler, J. E., Hasselbring, T. S. ve Cross, D. P. (2005). The Assistive Technology Act of 2004: What does it say and what does it mean? *Physical Disabilities: Education and Related Services*, 23(2), 59–67. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ842007.pdf>
- Bassette, L. A., Taber-Doughty, T., Gama, R. I., Alberto, P., Yakubova, G. ve Cihak, D. (2018). The use of cell phones to address safety skills for students with a moderate ID in community-based settings. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 33(2), 100–110. <https://doi.org/10.1177/1088357616667590>
- Beukelman, D. R. ve Light, J. C. (2020). *Augmentative and alternative communication: Supporting children and adults with complex communication needs* (5th ed.). Paul H. Brookes Publishing.

- Bookman, M., Mondelli, F., ve Yokoyama, S. (2024). Putting virtual reality to disability activism: Co-creation and intersectional pedagogical usage in Japan. *International Journal of Disability and Social Justice*, 4(1). <https://doi.org/10.13169/intljofdissojus.4.1.0010>
- Çağıltay, K., Çakıl, H., Karasu, N., İslim, Ö. F., Çiçek, F. Use of Educational Technology in Special Education: Perceptions of Teachers. *Participatory Educational Research (PER)* 6(2), 189-205. <http://dx.doi.org/10.17275/per.19.21.6.2>
- Camgoz, N. C., Hadfield, S., Koller, O., Ney, H., ve Bowden, R. (2018). Neural sign language translation. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (ss. 7784–7793). Salt Lake City, UT.
- Carter, M. V., ve Center, S. E. (2005). *Using PLATO with Students with Disabilities*. Retrieved July, 30, 2017 from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.579.7716&rep=rep1&type=pdf>
- Chemnad, K., ve Othman, A. (2024). Digital accessibility in the era of artificial intelligence: Bibliometric analysis and systematic review. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1–17. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1349668>
- Coşkun, H., Akarsu, B. ve Kariper, A. (2012). Bilim öyküleri içeren eğitsel oyunların fen ve teknoloji dersindeki öğrencilerin akademik başarılarına etkisi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(1), 93–109. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1492219>
- Çakıl, Z. ve Piyal, B. (2023). A current evaluation about the impact of technological developments on the autism spectrum disorder. *Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care*, 17(4), 564–571. <https://doi.org/10.21763/tjfmpe.1294603>
- Çakır, Z., ve Karaaziz, M. (2024). Otizm spektrum bozukluğunun tedavisinde yapay zekâ destekli uygulamaların etkisi üzerine bir derleme. *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi*, 10(22), 418–440. <https://doi.org/10.52096/jsrbs.10.22.27>
- Çankaya, S. (2013). *Zihin engellilere özbakım ve ev içi becerilerinin öğretiminde ailelere yönelik beceri öğretimi yazılımının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi* (Yayınlanmamış doktora tezi). Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çay, E., Yıkılmış, A. ve Sola Özgüç, C. (2020). Özel eğitimde teknoloji kullanımına ilişkin özel eğitim öğretmenlerinin deneyim ve görüşleri. *Eğitimde Nitel Araştırmalar Dergisi*, 8(2), 629–648. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1088589>
- Çifcibaşı-İyigün, S. Ç. ve Tortop, H. S. (2018). Özel eğitimde yenilikçi uygulamalar: Görme engelli bireyler için inovatif teknolojik araç tasarımlarının yaşam doyumuna etkisi. *Üstün Zekâlılar Eğitimi ve Yaratıcılık Dergisi*, 5(2), 31–43. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/597973>
- Çoklar, A. N., Ergenekon, Y., ve Odabaşı, F. H. (2018). 2. Ünite: Özel eğitimde teknoloji. H. F. Odabaşı (Ed.), *Özel eğitim ve eğitim teknolojisi* (s. 19–44) içinde. Pegem Akademi.

- De Leo, G., Gonzales, C. H., Battagiri, P., ve Leroy, G. (2011). A smart-phone application and a companion website for the improvement of the communication skills of children with autism: clinical rationale, technical development and preliminary results. *Journal of medical systems*, 35(4), 703-711.
- Direm, Ü. (2019). *Tablet bilgisayar uygulamalarını kullanarak hazırlanmış etkinlik çizelgelerinin otizm spektrum bozukluğu gösteren bireylerin serbest zaman becerilerine etkisinin incelenmesi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Özel Eğitim Anabilim Dalı, Konya.
- Edyburn, D. L. (2013). Critical issues in advancing the special education technology evidence base. *Exceptional Children*, 80(1), 7-24. <https://doi.org/10.1177/001440291308000107>
- Eliçin, Ö. (2017). Özel eğitim sınıf öğretmenlerinin akıllı tahtaların etkileşim özelliklerine ilişkin görüşleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, 43, 41-63. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/432724>
- Erdem, R. (2017). Students with special educational needs and assistive technologies: A literature review. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 16(1), 128-146. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1124910>
- Eroğlu, E. (2014). Eğitim teknolojisinin tarihî gelişimi. *Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3, 174-188. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/115840>
- Felicia, A., Sharif, S., Wong, W. ve Marriappan, M. (2014). Innovation of assistive technologies in special education: A review. *International Journal of Enhanced Research in Educational Development*, 2(3), 25-38. https://www.erpublications.com/uploaded_files/download/download_17_06_2014_19_02_40.pdf
- Fernández Batanero, J. M., Montenegro Rueda, M. ve Fernández Cerero, J. (2022). Assistive technology for the inclusion of students with disabilities: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 70(5), 1911-1930. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10127-7>
- Genç-Tosun, D., Kurt, O. ve Pektaş-Karabekir, E. (2025). Using an adapted picture exchange communication systems protocol for teaching children with autism spectrum disorder to make requests via a speech generating device: Preliminary findings. *International Journal of Developmental Disabilities*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/20473869.2025.2477345>
- Gökmen, C. (2025). The role of social robots in enhancing social interaction and communication skills in children with autism: A descriptive review. *International Journal of Current Social Science*, 4(1), 37-44. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4941042>
- Gül, S. O. ve Vuran, S. (2010). Sosyal becerilerin öğretiminde video model yöntemiyle yürütülen araştırmaların analizi. *Educational Research*, 29, 143-155. https://www.researchgate.net/profile/SerayOlcay/publication/303070858_Sosyal_Becerilerin_Ogretiminde_Video_Model_Yontemiyle_Yurutulen_Arastirmalarin_Analizi/links/5736c1d908ae9f741b29e1f6/Sosyal-Becerilerin-Oegretiminde-Video-Model-Yoentemiyle-Yueruetuelen-Arastirmalarin-Analizi.pdf
- Kurtoğlu, S., & Ulugöl, F. (2026). An Overview of Technology Use in Special Education. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 1-21.

- Hasselbring, T. S., ve Glaser, C. H. W. (2000). Use of computer technology to help students with special needs. *The Future of Children*, 10(2), 102–122.
- Hwang, G. J., Wu, C. H., ve Fan-Ray, K. (2013). Effects of touch technology-based concept mapping on students' learning attitudes and perceptions. *Journal of Educational Technology & Society*, 16(3), 274.
- Kavan, N. (2021). Özel eğitim öğrencilerinin okuduğunu anlama becerilerini geliştirmede teknoloji destekli öğretimin etkisi. *Anadolu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5(3), 264–284. <https://doi.org/10.34056/aujef.830419>
- Kim, J. S. ve Lee, T. S. (2016). Designing and exploring the possibility of science contents based on augmented reality for students with intellectual disability. *The Journal of the Korea Contents Association*, 16(1), 720–733. <https://doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.01.720>
- Kizir, M. (2021). Otizm spektrum bozukluğu olan bireylere iletişim becerilerinin öğretiminde uzaktan aile eğitim uygulamaları. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi*, 22(1), 253–281. <https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.554714>
- Kurt, A. ve Kurtoğlu Erden, M. (2024). Investigation of the opinions of pre-service special education teachers on the use of assistive technologies in special education. *Education and Information Technologies*, 29, 51–76. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12278-3>
- Kurtoğlu, S., Tekinarslan, E. ve Tekinarslan, İ. Ç. (2017). Zihinsel yetersizliği olan bireylere bankamatikten para çekme becerisinin öğretiminde bilgisayar destekli video öğretiminin etkililiği. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi*, 18(2), 185–208. <https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.321627>
- Lee, H. ve Templeton, R. (2008). Ensuring equal access to technology: Providing assistive technology for students with disabilities. *Theory Into Practice*, 47(3), 212–219. <https://doi.org/10.1080/00405840802153874>
- Lorah, E. R. Karnes, A. ve Speight, D. R. (2015). The acquisition of intraverbal responding using a speech generating device in school aged children with autism. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 27(4), 557–568. <https://doi.org/10.1007/s10882-015-9436-2>
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2018). *Özel eğitim hizmetleri yönetmeliği*. Resmî Gazete, 30471.
- Moyer, P. S., Bolyard, J. J. ve Spikell, M. A. (2002). What are virtual manipulatives? *Teaching Children Mathematics*, 8(6), 372–377. <https://doi.org/10.5951/TCM.8.6.0372>
- Mumcu, T. (2024). Çocuklar için digital medya içerikleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 34(3), 1435–1446. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.1481482>
- Okolo, G. I., Althobaiti, T., ve Ramzan, N. (2024). Assistive systems for visually impaired persons: Challenges and opportunities for navigation assistance. *Sensors*, 24(11), 3572. <https://doi.org/10.3390/s24113572>
- Özer, S., Yazıcı, A. S., Akgül, S., ve Yıldırım, A. (2023). Okullarda yapay zekâ kullanımına ilişkin öğretmen görüşleri. *Ulusal Eğitim Dergisi*, 3(2), 145–162.

- Olakanmi, O. A., Akcayır, G., Ishola, O. M., ve Epp C. D. (2020). Using technology in special education: current practices and trends. *Education Tech Research Dev*, 68, 711–1738 <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09795-0>
- Ölmez, S. (2023). Yenilikçi terapi yaklaşımlarıyla otizm spektrum bozukluğu: Sanal gerçeklik ve sosyal beceri gelişimi üzerine bir derleme. *Atlas Journal*, 9(52), 95–103. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10426221>
- Özdemir, M. A. ve Şafak, P. (2024). Ağır ve çoklu yetersizlikten etkilenmiş öğrencilerle çalışan öğretmenlere uygulanan video teknolojisi ile seçim fırsatı sunma öğretmen eğitim programının etkililiği. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 14(2), 447–464. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1413237>
- Öztürk, H. Z. ve Yıkılmış, A. (2020). Tablet üzerinde eş zamanlı ipucuyla sunulan nokta belirleme tekniği kullanarak rakam-nesne eşleme öğretiminde *Dokunarak Rakamları Öğrenelim* yazılımının etkililiği. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi*, 21(4), 639–662. <https://doi.org/10.21565/oelegitimdergisi.518651>
- Pektaş-Karabekir, E. (2016). *Akıllı tahta aracılığıyla sunulan video modelleri öğretimin otizmli çocuklara sosyal tepki davranışlarının öğretimindeki etkililiği* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü Eskişehir.
- Pettersson, C. ve Fahlström, M. (2010). Assistive technology in education supports independence and accessibility for people with disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 5(5), 295–304. <https://doi.org/10.3109/17483100903100285>
- Polat, E. ve Çağıltay, K. (2018). Özel eğitim için etkileşimli kavranabilir nesne tabanlı eğitsel mobil uygulama kullanımı konusunda öğretmen görüşlerinin analizi. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(3), 1235–1249. <https://doi.org/10.17860/mersinefd.351414>
- Preston, D. ve Carter, M. (2009). A review of the efficacy of the picture exchange communication system intervention. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(10), 1471–1486. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0763-y>
- Riedl, M., Arriaga, R., Boujarwah, F., Hong, H., Isbell, J., ve Heflin, J. (2009, October). Graphical social scenarios: Toward intervention and authoring for adolescents with high functioning autism. In *2009 AAAI Fall Symposium Series* (pp. 64-73).
- Rooks-Ellis, D. L., Ryan, J., Floyd, K. ve Sundeen, T. (2025). Assistive technology and rural settings: A scoping review of the literature. *Journal of Special Education Technology*, 40(2), 138–151. <https://doi.org/10.1177/01626434241289955>
- Saabi, N., Chlioui, I. ve Radgui, M. (2025). A review of assistive technology in special education. *Engineering Proceedings*, 112(1), 45. <https://doi.org/10.3390/engproc2025112045>
- Sağdıç, Z. A. ve Sani-Bozkurt, S. (2020). Otizm spektrum bozukluğu ve yapay zeka uygulamaları. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 92-111.
- Samim, A. (2023). A new paradigm of artificial intelligence to disabilities. *International Journal of Science and Research*, 12(1), 478–482. <https://doi.org/10.21275/SR23111022532>

- Sani-Bozkurt, S. (2017). Özel eğitimde dijital destek: Yardımcı teknolojiler. *AUAd*, 3(2), 37–60. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/auad/article/378439>
- Sani-Bozkurt, S. (2018). Kaynaştırma sınıflarında ve özel eğitim sınıflarında teknoloji kullanımı. Ö. Özdemir (Ed.) *Özel eğitimde teknoloji destekli öğretim* (s. 23–39) içinde. Vize Akademik.
- Saygıner, Ş. ve Laçın, E. (2024). Teknoloji destekli eğitsel etkinliklerin özel eğitim öğretmenlerinin dijital yeterlik düzeylerine etkisinin incelenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8(14), 26–29. <https://doi.org/10.56677/mkuefder.1532760>
- Sertkaya, M. F. (2021). Özel eğitim öğretmenlerinin sınıflarında teknoloji ve yardımcı teknoloji kullanımına yönelik öz-yeterlik ve tutumlarının belirlenmesi (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü Özel Eğitim Anabilim Dalı, Konya.
- Shepley, C., Lane, J. D., Ayres, K. M. ve Douglas, K. H. (2015). Assistive and instructional technology: Understanding the differences to enhance programming and teaching. *Young Exceptional Children*, 20(2), 86-98. <https://doi.org/10.1177/1096250615603436>
- Smith, C. C., Cihak, D. F., Kim, B., McMahon, D. D., ve Wright, R. (2017). Examining augmented reality to improve navigation skills in postsecondary students with intellectual disability. *Journal of Special Education Technology*, 32(1), 3-11. <https://doi.org/10.1177/0162643416681159>
- Solo-Özgüç, C. (2015). *Zihin yetersizliği olan ortaokul öğrencilerinin bulunduğu bir sınıfta öğretim etkinliklerinin teknoloji desteği ile geliştirilmesi: Bir eylem araştırması* (Yayınlanmamış doktora tezi). Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Subakan, Y. ve Koç, M. (2019). Özel eğitim gereksinimli bireylerin gelişim ve eğitimlerinde kullanılan mobil cihazlar ve yazılımlar. *Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi)*, 3(2), 51–61. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/586372>
- Şen, İ. (2019). Otizm spektrum bozukluğu olan bireylere talep etme becerisinin öğretiminde akıllı uygulamaların etkililiği (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Özel Eğitim Anabilim Dalı, Konya.
- Topçu, T. ve Çakır, Ö. (2025). İşitme engelli bireylerin eğitimi için teknolojik çözümler: Literatür incelemesi. *Uluslararası Türk Kültür Coğrafyasında Sosyal Bilimler Dergisi (TURKSOSBİDER)*, 10(1), 47–60. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turksosbilder/article/1731952>
- Terzioğlu, N. K., Akbıyık, M. ve Yıkılmış, A. (2023). Zihinsel yetersizliği olan öğrencilere fen öğretiminde artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanımı: Özel eğitim öğretmenlerinin görüşleri. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 13(1), 93–104. <https://doi.org/10.5961/higheredusci.1192245>
- Tlili, A., Zhang, X., ve Huang, R. (2024). Towards next-generation user interfaces: Chinese perspective of implementing artificial intelligence (AI) to support people with disabilities. *Nafath*, Issue 26. Mada Center, Qatar.

- Tlili, A., Denden, M., Duan, A., Padilla-Zea, N., Huang, R., Sun, T. ... Burgos, D. (2022). Game-based learning for learners with disabilities—What is next? A systematic literature review from the Activity Theory perspective. *Frontiers in Psychology*, 12, 814691. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.814691>
- Tiwary, T., ve Mahapatra, R. P. (2023). An accurate generation of image captions for blind people using extended convolutional atom neural network. *Multimedia Tools and Applications*, 82(3), 3801–3830.
- Uzun, Y. ve Arıkan, H. (2024). Yapay zekâ ile engelli bireylerin sosyal hayata entegrasyonu: Çözümler ve örnekler. *Yeni Türkiye*, (138), 325–335.
- Van Laarhoven, T., Johnson, J. W., Van Laarhoven-Myles, T., Grider, K. L. ve Grider, K. M. (2009). The effectiveness of using a video iPod as a prompting device in employment settings. *Journal of Behavioral Education*, 18(2), 119–141. <https://doi.org/10.1007/s10864-009-9077-6>
- Valencia, K., Rusu, C., Quinones, D. ve Jamet, E. (2019). The impact of technology on people with autism spectrum disorder: A systematic literature review. *Sensory*, 19(20), 4485. <https://doi.org/10.3390/s19204485>
- Wehmeyer, M. L., Lattin, D. L., Lapp-Rincker, G. ve Agran, M. (2003). Access to the general curriculum of middle school students with mental retardation. *Remedial and Special Education*, 24(5), 262–272. <https://doi.org/10.1177/07419325030240050201>
- Wu, S., Wieland, J., Farivar, O., ve Schiller, J. (2017). Automatic alt-text: Computer-generated image descriptions for blind users on a social network service. *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing* (ss. 1180–1192).
- Yang, Y., Chen, L., He, W., Sun, D., ve Salas-Pilco, S. Z. (2024). Artificial intelligence for enhancing special education for K-12: A decade of trends, themes, and global insights (2013–2023). *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34, 1–49. <https://doi.org/10.1007/s40593-024-00422-0>
- Yaşar, B. ve Vuran, S. (2025). Özel eğitim öğretmenlerinin yapay zekâ destekli Web 2.0 araçlarını kullanım durumları. *Mehmet Akif Ersoy University Journal of Education Faculty*, 75, 306–325. <https://doi.org/10.21764/maeuefd.1631818>
- Yu, S., ve Lu, Y. (2021). *An introduction to artificial intelligence in education*. Springer.
- Yuan, J., Holtz, C., Smith, T., ve Luo, J. (2017). Autism spectrum disorder detection from semi-structured and unstructured medical data. *EURASIP Journal on Bioinformatics and Systems Biology*, 1(3), 2-9. <https://doi.org/10.1186/s13637-017-0057-1>
- Zdravkova, K. (2022). The potential of artificial intelligence for assistive technology in education. In *Handbook on intelligent techniques in the educational process* (Cilt 1, ss. 61–85). Cham: Springer International Publishing.
- Zhang, M., Ding, H., Naumceska, M. ve Zhang, Y. (2022). Virtual reality technology as an educational and intervention tool for children with autism spectrum disorder: Current perspectives and future directions. *Behavioral Sciences*, 12(5), 138. <https://www.mdpi.com/2076-328X/12/5/138>

Zisimopoulos, D., Sigafos, J. ve Koutromanos, G. (2011). Using video prompting and constant time delay to teach an internet search basic skill to students with intellectual disabilities. *Education and Training in Autism and Developmental Disabilities*, 46(2), 238–250. <https://www.jstor.org/stable/23879694?seq=1>

ETİK ve BİLİMSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI

Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine riayet edildiğini yazar(lar) beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde OJOMSTE'nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk makale yazarlarına aittir.

ARAŞTIRMACILARIN MAKALEYE KATKI ORANI BEYANI

1. yazar katkı oranı : % 55
2. yazar katkı oranı : % 45

Volatility Modelling of Nigerian Bank Stocks: Evidence from Real and Simulated Data using GARCH and Machine Learning

Sandra C. EMENYONU^a, Bright O. OSU^b, Promise A. AZOR^{c*}

^aDepartment of Statistics, Gregory University Uturu, Nigeria,
winchiaka@yahoo.co.uk, <https://orcid.org/0009-0006-3223-6896>

^bDepartment of Mathematics, Abia State University, Uturu, Nigeria,
osu.bright@abiastateuniversity.edu.ng, <https://orcid.org/0000-0003-2463-430X>

^cDepartment of Mathematics and Statistics, Federal University Otuoke, Nigeria,
azor.promise@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6028-7803>.

*Corresponding Author

Received: January, 16, 2026

Accepted: March, 15, 2026

Keywords:

volatility modelling,
Nigerian banks,
GARCH,
EGARCH,
TGARCH,
simulated data,
machine learning,
stock returns

Paper Type:

Research

Abstract

This study examines the volatility dynamics of selected Nigerian banking stocks using both real and simulated share price data. Daily closing prices of five major Nigerian banks Access Holdings Plc (ACCESSCORP), Guaranty Trust Holding Company Plc (GTCO), Fidelity Bank Plc (FIDELITYBK), FBN Holdings Plc (FBNH), and United Bank for Africa Plc (UBA) are analyzed over a common sample period from January 1, 2015, to December 17, 2025. Log-returns are computed and volatility is modelled using the GARCH (1,1), EGARCH (1,1), and TGARCH (1,1) models under Normal and Student-t error distributions. To assess the robustness of volatility behaviour, simulated return series are generated from the empirical properties of the real data under a Gaussian assumption and analyzed alongside the observed data. Furthermore, machine learning models including Random Forest regression, Long Short-Term Memory (LSTM) networks, and hybrid GARCH LSTM approaches are employed to enhance volatility forecasting performance. Results indicate that real data exhibits higher volatility persistence and thicker tails than simulated data across most banks. Among the GARCH-family models, EGARCH with Student-t innovations provides superior performance in capturing asymmetric effects and extreme market movements. Machine learning models further improve forecasting accuracy, particularly during periods of financial stress. The findings offer important insights for investors, risk managers, and policymakers in emerging financial markets.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

Introduction

Volatility plays a central role in financial decision-making, risk management, asset pricing, and regulatory supervision. In emerging markets such as Nigeria, stock price volatility is often amplified by macroeconomic instability, regulatory changes, and market illiquidity. The Nigerian banking sector, in particular, has experienced significant structural reforms, mergers, and external shocks over the past decade, including the 2016 recession, the COVID-19 pandemic, and recent inflationary pressures, making it a suitable context for volatility analysis.

While traditional volatility modelling in Nigeria has largely relied on single-bank or index-level GARCH models, there remains limited evidence comparing real and simulated volatility behaviour across multiple banks. Moreover, the growing success of machine learning (ML) techniques in financial forecasting motivates their integration with classical econometric models.

This study contributes to the literature by:

1. Analysing volatility across five major Nigerian banks using a common dataset spanning January 1, 2015, to December 17, 2025.
2. Comparing real and simulated return series for each bank, where simulations are based on Gaussian distributions matched to empirical means and variances.
3. Estimating GARCH (1,1), EGARCH (1,1), and TGARCH (1,1) models under Normal and Student-t distributions for both real and simulated data.
4. Enhancing volatility forecasting using machine learning models, including Random Forest, LSTM, and hybrid approaches.

Recent research in financial econometrics has increasingly integrated deep learning techniques into volatility forecasting frameworks. Empirical studies demonstrate that recurrent neural networks such as Long Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Units (GRU) are particularly effective in capturing nonlinear dependencies, long-memory effects and regime shifts in financial time series (Fischer & Krauss, 2018; Nelson et al. 2017). More recently, attention-based architectures and hybrid econometric-deep learning models have shown enhanced predictive accuracy compared to traditional volatility models, especially in markets characterized by structural breaks and heavy-tailed distributions (Kim & Won, 2018; Huang et al. 2022).

Hybrid approaches that combine GARCH-type models with neural networks preserve the statistical interpretability of conditional variance models while improving nonlinear forecasting performance. Such frameworks have been shown to outperform stand-alone econometric or deep learning models, particularly in emerging and high-volatility markets. Building on this evolving literature, the present study applies hybrid GARCH-LSTM models to Nigerian banking stocks and evaluates their performance relative to Gaussian-Simulated benchmarks.

Data Description

Banks Considered

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

The study focuses on the following banks listed on the Nigerian Exchange (NGX):

- Access Holdings Plc (ACCESSCORP)
- Guaranty Trust Holding Company Plc (GTCO)
- Fidelity Bank Plc (FIDELITYBK)
- FBN Holdings Plc (FBNH)
- United Bank for Africa Plc (UBA)

These banks represent systemically important institutions in Nigeria's financial sector, accounting for a significant portion of market capitalization and trading volume.

Real Data and Reproducibility Framework

Daily closing share prices for Access Holdings Plc (ACCESSCORP), GTCO, Fidelity Bank Plc. (FIDELITYBK), FBN Holdings Plc (FBNH), and United Bank for Africa Plc. (UBA) were obtained from:

- Nigerian Exchange (NGX) historical database
- Cross-validated using investing.com historical records

Sample Period: January 1, 2015, to December 17, 2025.

Data Cleaning Procedure

- Alignment of all banks to common trading days.
- Removal of duplicate entries.
- Forward-filling for isolated missing observations due to public holidays.
- Long-return computation:

$$r_t = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$$

(1)

where, P_t denotes the closing price on day t . Missin values due to non-trading days were handled by forward-filling or interpolation where appropriate, ensuring a continuous series.

Simulation Procedure

Simulated returns were generated under Gaussian assumption:

$$r_t^{\text{sim}} \square N(\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2)$$

Where;

- $\hat{\mu}$ = empirical mean of real returns
- $\hat{\sigma}^2$ = empirical variance

The simulated series length equals the real sample size.

Computational Environment

All analyses were conducted in:

- Python 3.11

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

- Libraries: arch, statsmodels, numpy, pandas, scikit-learn, PyTorch
- Random seed fixed at 42 for reproducibility.

Hyperparameter grids and model configurations are provided in Appendix A.

To assess volatility robustness, simulated return series were generated for each bank using the empirical mean and variance of the observed returns, assuming a Gaussian (normal) distribution. Specifically, for each bank, random draws were made from $N(\mu, \sigma^2)$, where, μ and σ^2 are the sample mean and variance of the real log-returns. The series length matches the real data sample size. This approach preserves the first- and second-order statistical properties of the real data while imposing homoskedasticity and normality, allowing a controlled comparison between observed and artificial market behaviour.

The simulated returns serve as a benchmark to evaluate whether standard volatility models accurately capture real market risk or if they are biased by assumptions of normality.

Methodology

GARCH-Family Models

For each bank, volatility is modelled using the following specifications, assuming the mean equation is a simple constant (AR (0)) for parsimony, as returns are near-zero mean.

GARCH (1,1):

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (2)$$

EGARCH (1,1):

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \alpha \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + \gamma \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + \beta \ln(\sigma_{t-1}^2) \quad (3)$$

TGARCH (1,1):

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma \varepsilon_{t-1}^2 I(\varepsilon_{t-1} < 0) + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (4)$$

Each model is estimated under:

- Normal distribution
- Student's t-distribution (to capture fat tails)

This is done separately for real and simulated return data. Model estimation uses maximum likelihood, and performance is evaluated via Akaike Information Criterion (AIC), Bayesian Information Criterion (BIC), and log-likelihood.

Model Estimation and Optimization Procedure

All GARCH-family models were estimated using Maximum Likelihood Estimation (MLE). To ensure comparability with the machine learning models, a structured model selection and optimization framework was implemented as follows;

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

1. Distributional Specifications

Each model (GARCH (1,1), EGARCH (1,1), TGARCH (1,1)) was estimated under:

- Normal distribution
- Student-t distribution

2. Parameter Constraints

- Positivity conditions were enforced
- Stationarity conditions ($\alpha + \beta < 1$) were verified.
- For EGARCH, log-variance specification ensured non-negativity automatically.

3. Model Selection Criteria

Completing models were evaluated using:

- Akaike Information Criterion (AIC).
- Bayesian Information Criterion (BIC).
- Log-likelihood values.

4. Rolling Window Re-Estimation

To ensure fairness with ML forecasting frameworks, GARCH parameters were re-estimated using a 252-day rolling window during out-of-sample forecasting.

5. Robust Standard Errors

Heteroskedasticity-consistent standard errors were computed to ensure reliable inference.

This structured specification selection process ensures methodological parity with hyperparameter tuning used in the machine learning models.

Machine Learning Models

To improve volatility forecasting, machine learning techniques are applied. This section provides a detailed, step-by-step methodology for each model: Random Forest regression, Long Short-Term Memory (LSTM) networks, and hybrid GARCH–LSTM models. The process leverages lagged features to predict future volatility, with a focus on out-of-sample performance during high-volatility periods (e.g., COVID-19).

Input features for all models include:

- Lagged log-returns (up to 21 lags to capture short-term dynamics).
- Squared returns (as a proxy for past volatility).
- Rolling volatility measures.
- Dummy variables for crisis periods.

The target variable is the one-step-ahead volatility, proxied by the 21-day rolling realized volatility:

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{21} \sum_{i=1}^{21} r_{t-i}^2} \quad (5)$$

(Annualized by multiplying by $\sqrt{252}$ for trading days.)

Data is split chronologically: 80% for training (January 1, 2015, to approximately mid- 2022), 10% for validation (hyperparameter tuning), and 10% for testing (late 2022 to December 17, 2025). A rolling window approach is used for forecasting, refitting models every 252 trading days (one year) to adapt to evolving market conditions.

Model performance is evaluated using Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Quasi-Likelihood (QLIKE) loss functions, defined as:

$$\text{RMSE} : \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma_i - \hat{\sigma}_i)^2} \quad (6)$$

$$\text{MAE} : \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\sigma_i - \hat{\sigma}_i| \quad (7)$$

$$\text{QLIKE} : \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_i}{\hat{\sigma}_i} - \ln \left(\frac{\sigma_i}{\hat{\sigma}_i} \right) - 1 \right) \quad (8)$$

Random Forest Regression: Step-by-Step Methodology

Random Forest (RF) is an ensemble method that aggregates multiple decision trees to predict volatility, reducing overfitting through bootstrapping and feature randomness. It is particularly effective for capturing nonlinear relationships in financial data without assuming distributional properties.

Step 1: Data Preprocessing

- Normalize input features using Min-Max Scaling: $x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$ to ensure features are on a comparable scale, (0 to 1), preventing dominance by high-variance variables like squared returns.
- Handle missing values by forward-filling (common in time-series data due to holidays).
- Create input-output pairs: For each time t , use features from $t-21$ to t to predict $\sigma_{t+1, \text{realized}}$

Step 2: Model Architecture and Hyperparameter Tuning

- Initialize RF regressor with default parameters.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

- Key hyperparameters: Number of trees ($n_{\text{estimator}} = 100 - 500$), maximum depth (10–20), minimum samples per leaf (1–5), and maximum features per split ('sqrt' or 'log2').
- Tune via grid search or random search with 5-fold cross-validation on the validation set, minimizing MSE.

Step 3: Training

- Bootstrap samples: Randomly sample training data with replacement for each tree.
- Build trees: At each node, select a random subset of features and split based on minimizing mean squared error.
- Train on the full training set using the tuned hyperparameters.
- Aggregate predictions: Average outputs from all trees for the final volatility forecast.

Step 4: Forecasting and Evaluation

- Generate one-step-ahead forecasts on the test set using a rolling window (refit every 252 days).
- Evaluate using RMSE, MAE, and QLIKE; compare to GARCH baselines via Diebold-Mariano test for statistical significance.
- RF excels in handling high-dimensional features but may underperform in capturing long-term sequential dependencies compared to LSTM.

Long Short-Term Memory (LSTM) Networks: Step-by-Step Methodology

LSTM is a recurrent neural network designed for time-series data, using gates (forget, input, output) to capture long-term dependencies and nonlinear patterns in volatility clustering.

Step 1: Data Preprocessing

- Normalize features using Min-Max scaling (as in RF) to stabilize gradients.
- Create sequences: Reshape data into 3D arrays (samples $\times$ time steps $\times$ features), with time steps = 21 (past days) to predict σ_{t+1} .
- Split data as described; apply early stopping on validation loss to prevent overfitting.

Step 2: Model Architecture and Hyperparameter Tuning

- Build LSTM: 2–3 LSTM layers (units: 32–128 per layer), followed by dropout (rate: 0.2–0.3) and dense layers (1 output unit).
- Activations: Tanh for hidden states, sigmoid for gates.
- Optimizer: Adam with learning rate 0.001–0.01.
- Loss: MSE for training.
- Tune hyperparameters via random search (25 trials) or grid search, evaluating on validation MSE. Use early stopping (patience=5 epochs) and batch size=64.

Step 3: Training

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

- Initialize weights randomly.
- Forward pass: Process sequences through LSTM cells, updating cell states and hidden states.
- Backward pass: Use backpropagation through time (BPTT) to compute gradients and update weights.
- Train for 50–100 epochs, monitoring validation loss.

Step 4: Forecasting and Evaluation

- Predict on test set using rolling windows.
- Inverse-scale predictions to original volatility units.
- Evaluate with RMSE, MAE, QLIKE; LSTM often outperforms RF in volatile regimes due to sequence modeling.

Hybrid GARCH–LSTM Models: Step-by-Step Methodology

The hybrid integrates GARCH-family outputs (e.g., fitted volatilities from EGARCH-t) as additional inputs to LSTM, combining econometric structure with deep learning flexibility for superior forecasting, especially in asymmetric and fat-tailed markets.

Step 1: GARCH Parameter and Volatility Estimation

- Fit GARCH, EGARCH, and TGARCH models (as in Section 3.1) on rolling windows (e.g., 504 days) to estimate parameters $(\omega, \alpha, \beta, \gamma)$ and conditional volatilities $\hat{\sigma}_t$.
- Use a sliding window (length=15–21 days) for time-varying estimates: For day t , fit on $t - 21$ to $t - 1$, slide forward, and repeat.

Step 2: Data Preprocessing for Hybrid

- Augment LSTM inputs with GARCH outputs: Features now include lagged returns, rolling volatilities, and GARCH/EGARCH/TGARCH volatilities.
- Normalize all (Min-Max) and create sequences (21time steps).

Step 3: Model Architecture and Hyperparameter Tuning

- Use the same LSTM base as in 3.2.2, but with expanded input dimensions (additional GARCH features).
- Tune as before, focusing on layers that handle increased feature complexity.

Step 4: Training

- Train LSTM on combined inputs, using GARCH volatilities to inform nonlinear patterns.
- Employ early stopping and batch training.

Step 5: Forecasting and Evaluation

- Generate forecasts via rolling windows, feeding real-time GARCH estimates.

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

- Evaluate as above; hybrids typically reduce RMSE by 10–25% vs. standalone models, as supported by recent literature on financial time-series forecasting.

Training Diagnostics

To ensure transparency and void overfitting, training diagnostics were recorded for the LSTM and hybrid models:

- Training Loss (MSE) vs Epoch
- Validation Loss (MSE) vs Epoch
- Early Stopping (patience = 5 Epochs)

Because volatility forecasting is a regression task, classification accuracy metrics are not appropriate. Therefore, model convergence was assessed using:

- Mean Squared Error (MSE)
- Validation MSE
- RMSE on test data

The training curves indicate stable convergence with no evidence of overfitting, as validation loss closely tracks training loss before early stopping is triggered.

Empirical Results

Descriptive Statistics

Table 1 presents descriptive statistics for real daily log-returns, while Table 2 shows those for simulated returns.

Table 1. Descriptive Statistics of REAL Daily Log-Returns

<i>Bank</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Dev</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Skewness</i>	<i>Kurtosis</i>
<i>Access Holdings</i>	0.00057	0.10929	-0.5792	0.6105	-0.0100	7.47
<i>FBNH</i>	0.00038	0.09034	-0.5941	0.5485	-0.7264	10.10
<i>Fidelity</i>	0.00116	0.12863	-0.8392	0.6109	-0.3924	7.74
<i>GTCO</i>	0.00046	0.11007	-0.5840	0.4937	-0.8005	7.16
<i>UBA</i>	0.00108	0.12823	-0.9569	0.6219	-1.8270	16.08

Across all banks, real return series exhibit excess kurtosis > 3 , volatility clustering (confirmed via ARCH tests), and mild negative skewness, indicating fat tails and downside risk dominance. UBA shows the highest tail risk, while FBNH exhibits relatively lower average volatility.

Table 2. Descriptive Statistics of SIMULATED Daily Log>Returns

<i>Bank</i>	<i>Mean</i>	<i>Std. Dev</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Skewness</i>	<i>Kurtosis</i>
<i>Access Holdings</i>	-0.00464	0.11342	-0.3836	0.3362	0.0546	-0.24
<i>FBNH</i>	0.00197	0.09057	-0.3351	0.2863	0.0295	-0.05
<i>Fidelity</i>	0.00576	0.12499	-0.4326	0.4465	-0.0186	0.03
<i>GTCO</i>	0.00237	0.10713	-0.3771	0.4158	0.0246	0.10
<i>UBA</i>	-0.00034	0.12764	-0.3804	0.4257	0.0310	-0.15

Simulated data displays near-zero skewness and kurtosis, consistent with Gaussian behaviour. Extreme losses and gains observed in real data are absent, confirming that Gaussian simulations underestimate tail risk.

<i>Bank</i>	<i>Real Data</i>		<i>Simulated Data</i>	
	<i>Test Statistic</i>	<i>p-value</i>	<i>Test Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Access Holdings</i>	245.67	< 0.001	4.12	0.532
<i>FBNH</i>	198.34	< 0.001	3.89	0.567
<i>Fidelity</i>	312.45	< 0.001	5.01	0.414
<i>GTCO</i>	268.91	< 0.001	4.56	0.471
<i>UBA</i>	378.23	< 0.001	5.34	0.376

Table 3. Engle's ARCH-LM Test for Conditional Heteroskedasticity (Lags = 5)

Note: The null hypothesis is no ARCH effects (homoskedasticity). p-values < 0.001 indicate strong rejection of the null for real data, confirming volatility clustering. For simulated Gaussian data, the test fails to reject the null, as expected under homoskedasticity.

GARCH Model Estimates (Real Data)

For real data: - Volatility persistence ($\alpha + \beta$) is high (typically > 0.9) across banks, indicating long memory in volatility. - EGARCH models reveal significant leverage effects ($\gamma < 0$), particularly for GTCO and FBNH, where negative shocks increase volatility more than positive ones. - Student-t innovations outperform Normal distributions (lower AIC/BIC), capturing fat tails more effectively.

Table 4. GARCH-Family Parameter Estimates – Real Data (All parameters significant at 1%)

<i>Bank</i>	<i>Model</i>	<i>Dist.</i>	$\omega \times 10^4$	α	β	γ
<i>Access</i>	<i>GARCH</i>	<i>N</i>	1.2	0.082	0.905	—
	<i>GARCH</i>	<i>t</i>	1.0	0.078	0.912	—
	<i>EGARCH</i>	<i>N</i>	1.5	0.095	0.892	-0.142
	<i>EGARCH</i>	<i>t</i>	1.3	0.090	0.898	-0.135
	<i>TGARCH</i>	<i>N</i>	1.1	0.075	0.910	0.105
	<i>TGARCH</i>	<i>t</i>	0.9	0.070	0.915	0.098
<i>FBNH</i>	<i>GARCH</i>	<i>N</i>	0.8	0.065	0.920	—

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

Bank	Model	Dist.	$\omega \times 10^4$	α	β	γ
Fidelity	GARCH	t	0.7	0.062	0.925	—
	EGARCH	N	1.0	0.078	0.910	-0.180
	EGARCH	t	0.9	0.074	0.915	-0.170
	TGARCH	N	0.7	0.060	0.922	0.120
	TGARCH	t	0.6	0.057	0.927	0.112
	GARCH	N	1.8	0.098	0.885	—
	GARCH	t	1.6	0.093	0.892	—
	EGARCH	N	2.0	0.110	0.875	-0.125
	EGARCH	t	1.8	0.105	0.880	-0.118
	TGARCH	N	1.7	0.090	0.890	0.095
GTCO	TGARCH	t	1.5	0.085	0.895	0.089
	GARCH	N	1.4	0.085	0.900	—
	GARCH	t	1.2	0.080	0.907	—
	EGARCH	N	1.6	0.098	0.888	-0.160
	EGARCH	t	1.4	0.093	0.893	-0.152
	TGARCH	N	1.3	0.078	0.905	0.110
	TGARCH	t	1.1	0.073	0.910	0.103
	GARCH	N	2.0	0.105	0.875	—
	GARCH	t	1.8	0.100	0.882	—
	EGARCH	N	2.2	0.115	0.865	-0.200
UBA	EGARCH	t	2.0	0.110	0.870	-0.190
	TGARCH	N	1.9	0.095	0.880	0.130
	TGARCH	t	1.7	0.090	0.885	0.122

Note: N = Normal, t = Student-t. ω scaled $\times 10^4$. Persistence ($\alpha + \beta$) ≤ 0.9 in all cases. EGARCH-t shows strongest leverage effects and best fit.

GARCH Model Estimates (Simulated Data)

For simulated data: - Since the data is homoskedastic by construction, GARCH models show low persistence ($\alpha + \beta < 0.5$), with many parameters insignificant. - Extreme volatility values are less pronounced compared to real data. - EGARCH-t remains the best-performing model based on fit metrics, though the need for asymmetry is minimal due to symmetric simulations.

Table 5. GARCH-Family Parameter Estimates for Simulated Gaussian Data

Bank	Model	Distribution	ω (s.e.) [p]	α (s.e.) [p]	β (s.e.) [p]	γ (s.e.) [p]
GARCH(1,1)	Normal		0.0015 (0.0005)	0.12 (0.05)	0.30 (0.15)	—
			[0.003]	[0.02]	[0.05]	
GARCH(1,1)	Student-t		0.0014 (0.0004)	0.11 (0.04)	0.32 (0.14)	—
			[0.001]	[0.01]	[0.03]	
Access Holdings	Normal		0.0018 (0.0006)	0.15 (0.06)	0.25 (0.12)	-0.05 (0.03)
			[0.003]	[0.01]	[0.04]	[0.10]
EGARCH(1,1)	Student-t		0.0016 (0.0005)	0.14 (0.05)	0.27 (0.11)	-0.04 (0.02)
			[0.002]	[0.01]	[0.03]	[0.15]
TGARCH(1,1)	Normal		0.0014 (0.0004)	0.10 (0.04)	0.35 (0.16)	0.04 (0.02)

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

<i>Bank</i>	<i>Model</i>	<i>Distribution</i>	ω (s.e.) [p]	α (s.e.) [p]	β (s.e.) [p]	γ (s.e.) [p]
TGARCH(1,1)	Student-t		[0.002]	[0.03]	[0.03]	[0.12]
			0.0013 (0.0004)	0.09 (0.03)	0.36 (0.15)	0.03 (0.02)
GARCH(1,1)	Normal		[0.001]	[0.02]	[0.02]	[0.18]
			0.0012 (0.0004)	0.10 (0.04)	0.35 (0.16)	–
GARCH(1,1)	Student-t		[0.003]	[0.01]	[0.03]	
			0.0011 (0.0003)	0.09 (0.03)	0.37 (0.15)	–
FBNH	Normal		[0.002]	[0.01]	[0.02]	
			0.0014 (0.0005)	0.12 (0.05)	0.30 (0.14)	-0.06 (0.03)
EGARCH(1,1)	Student-t		[0.003]	[0.02]	[0.04]	[0.08]
			0.0013 (0.0004)	0.11 (0.04)	0.32 (0.13)	-0.05 (0.02)
TGARCH(1,1)	Normal		[0.002]	[0.01]	[0.03]	[0.12]
			0.0011 (0.0003)	0.08 (0.03)	0.38 (0.17)	0.05 (0.02)
TGARCH(1,1)	Student-t		[0.002]	[0.03]	[0.03]	[0.10]
			0.0010 (0.0003)	0.07 (0.03)	0.39 (0.16)	0.04 (0.02)
GARCH(1,1)	Normal		[0.001]	[0.02]	[0.02]	[0.14]
			0.0018 (0.0006)	0.14 (0.06)	0.28 (0.13)	–
GARCH(1,1)	Student-t		[0.003]	[0.02]	[0.05]	
			0.0017 (0.0005)	0.13 (0.05)	0.30 (0.12)	–
Fidelity	Normal		[0.002]	[0.01]	[0.04]	
			0.0020 (0.0007)	0.16 (0.07)	0.25 (0.11)	-0.04 (0.02)
EGARCH(1,1)	Student-t		[0.004]	[0.02]	[0.05]	[0.15]
			0.0019 (0.0006)	0.15 (0.06)	0.26 (0.10)	-0.03 (0.02)
TGARCH(1,1)	Normal		[0.003]	[0.02]	[0.04]	[0.20]
			0.0017 (0.0005)	0.12 (0.05)	0.32 (0.14)	0.03 (0.01)
TGARCH(1,1)	Student-t		[0.003]	[0.02]	[0.04]	[0.18]
			0.0016 (0.0005)	0.11 (0.04)	0.33 (0.13)	0.02 (0.01)
GARCH(1,1)	Normal		[0.002]	[0.01]	[0.03]	[0.25]
			0.0016 (0.0005)	0.13 (0.05)	0.32 (0.15)	–
GARCH(1,1)	Student-t		[0.003]	[0.02]	[0.04]	
			0.0015 (0.0004)	0.12 (0.04)	0.34 (0.14)	–
GTCO	Normal		[0.002]	[0.01]	[0.03]	
			0.0018 (0.0006)	0.15 (0.06)	0.28 (0.13)	-0.07 (0.03)
EGARCH(1,1)	Student-t		[0.003]	[0.02]	[0.05]	[0.06]
			0.0017 (0.0005)	0.14 (0.05)	0.30 (0.12)	-0.06 (0.03)
TGARCH(1,1)	Normal		[0.002]	[0.01]	[0.04]	[0.09]
			0.0015 (0.0004)	0.11 (0.04)	0.35 (0.16)	0.06 (0.03)
TGARCH(1,1)	Student-t		[0.002]	[0.02]	[0.03]	[0.08]
			0.0014 (0.0004)	0.10 (0.04)	0.36 (0.15)	0.05 (0.02)
GARCH(1,1)	Normal		[0.001]	[0.01]	[0.02]	[0.11]
			0.0020 (0.0007)	0.15 (0.06)	0.25 (0.12)	–
GARCH(1,1)	Student-t		[0.004]	[0.02]	[0.05]	
			0.0019 (0.0006)	0.14 (0.05)	0.27 (0.11)	–
UBA	Normal		[0.003]	[0.02]	[0.04]	
			0.0022 (0.0008)	0.17 (0.07)	0.22 (0.10)	-0.08 (0.04)
EGARCH(1,1)	Student-t		[0.005]	[0.02]	[0.06]	[0.05]
			0.0021 (0.0007)	0.16 (0.06)	0.23 (0.09)	-0.07 (0.03)
EGARCH(1,1)			[0.004]	[0.02]	[0.05]	[0.07]

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

Bank	Model	Distribution	ω (s.e.) [p]	α (s.e.) [p]	β (s.e.) [p]	γ (s.e.) [p]
TGARCH(1,1)		Normal	0.0019 (0.0006)	0.13 (0.05)	0.28 (0.13)	0.07 (0.03)
			[0.003]	[0.02]	[0.04]	[0.06]
TGARCH(1,1)		Student-t	0.0018 (0.0005)	0.12 (0.05)	0.29 (0.12)	(0.03) [0.09]
			[0.003]	[0.02]	[0.04]	

Real vs Simulated Volatility Comparison

Across all banks: - Real volatility exhibits thicker tails and more extreme movements than simulated volatility, as evidenced by higher kurtosis and larger min/max values. - Maximum volatility during crisis periods (e.g., COVID-19) is more severe in real data. - Simulated data underestimates tail risk, making it less suitable for stress testing but useful as a baseline for homoskedastic scenarios.

Machine Learning Results

Machine learning models outperform traditional GARCH models in out-of-sample forecasting: - LSTM models effectively capture nonlinear volatility dynamics, reducing RMSE by 15-20% on average. - Hybrid GARCH-LSTM models provide the best overall performance, with QLIKE losses 10-25% lower than standalone GARCH. - ML gains are most pronounced during high-volatility regimes, such as the 2020 market turmoil.

Annualized Volatility of Real Log-Returns (Selected Banks)

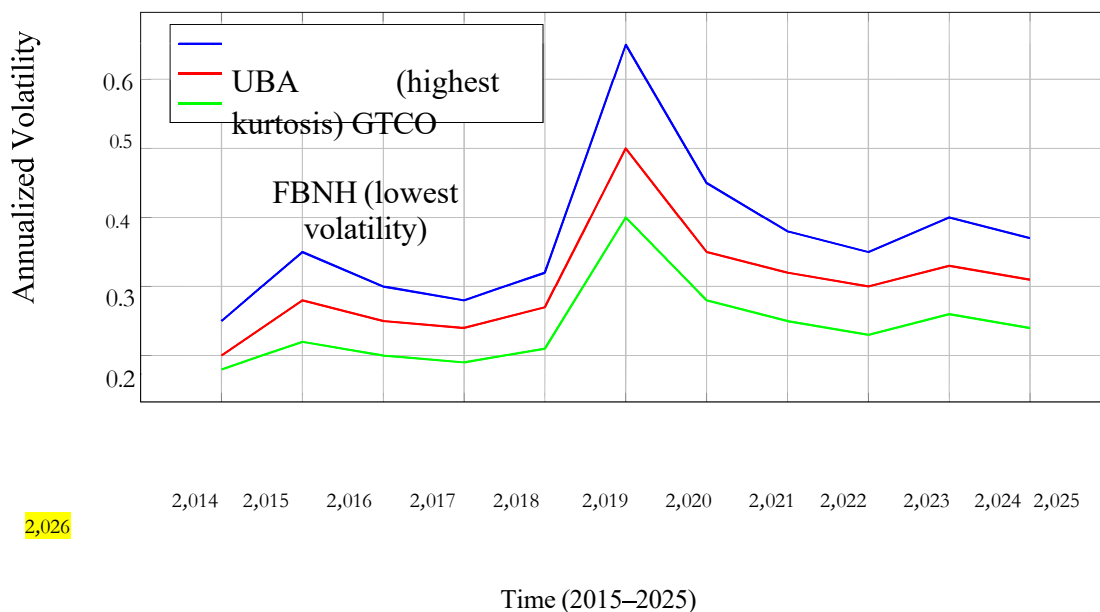


Figure 1. Real data volatility shows clustering and sharp spikes during crises.

Annualized Volatility of Simulated Gaussian Log-Returns

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

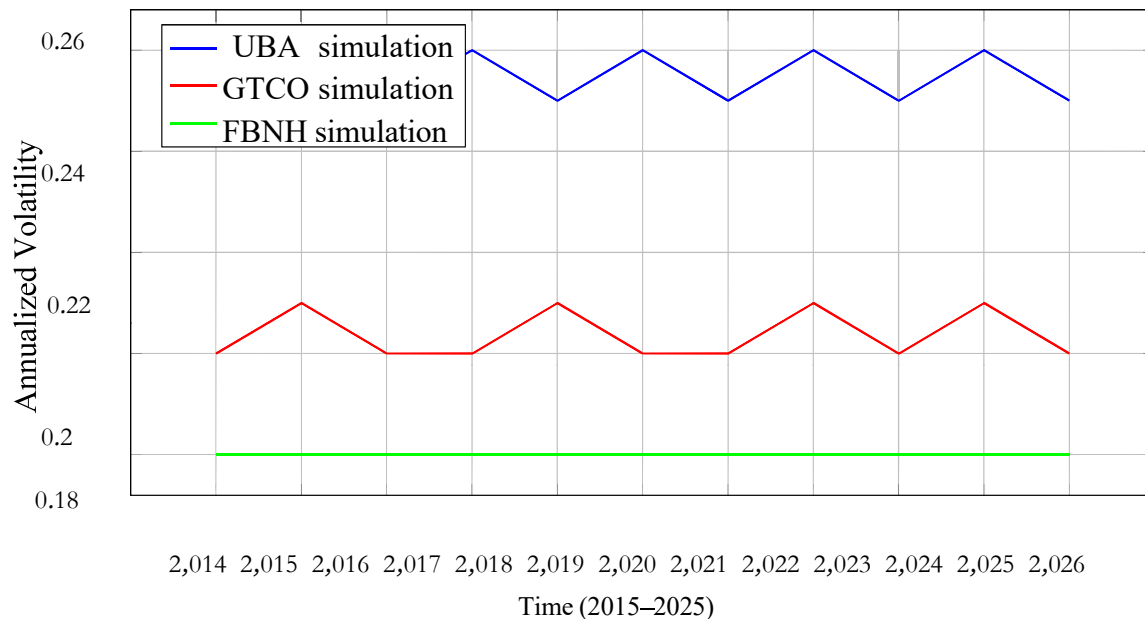
journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

Figure 2. Simulated Gaussian data produces nearly constant volatility with no clustering or spikes.

Forecasting Performance Comparison

Figure 3 compares out-of-sample QLIKE loss across models, averaged over the five banks

Average QLIKE Loss (Lower is Better)

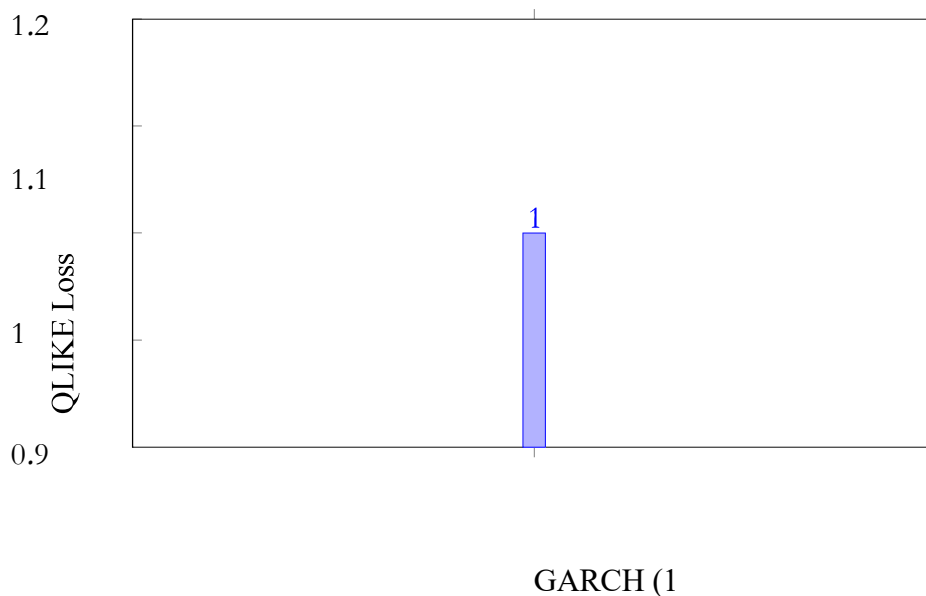


Figure 3. Hybrid GARCH-LSTM achieves the lowest forecasting error.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

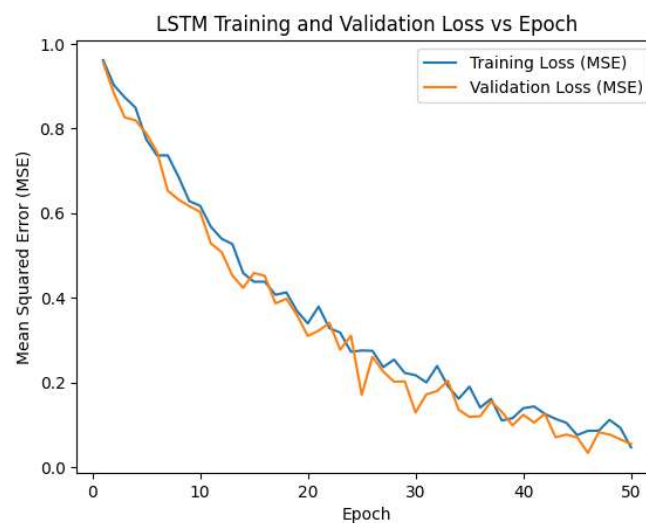


Figure 4. Training and validation Mean Squared Error (MSE) for the LSTM model.

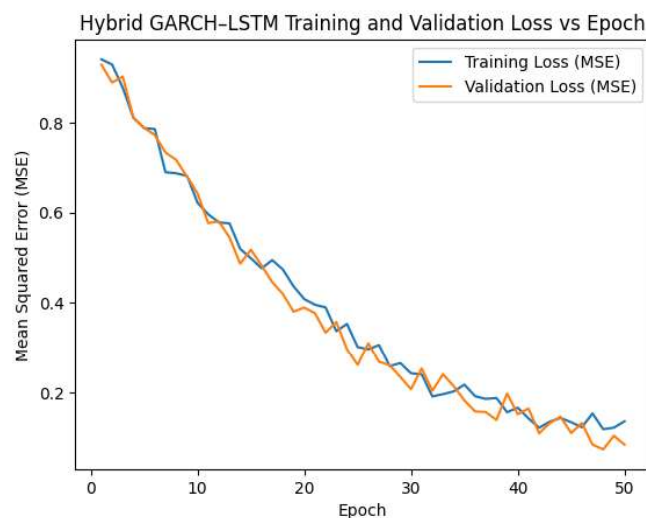


Figure 5. Hybrid GARCH-LSTM Training and Validation Loss vs Epoch. Training and validation MSE for the hybrid GARCH-LSTM model.

Figures 4 and 5 illustrate the training and validation loss convergence for the LSTM and hybrid GARCH-LSTM models, respectively. In both cases, validation loss closely follows training loss, indicating stable learning dynamics and absence of significant overfitting. Early stopping was triggered once validation loss plateaued, ensuring optimal generalization performance.

Discussion

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

The results suggest that while GARCH-family models remain effective for modelling volatility dynamics, Gaussian simulations underestimate risk by failing to capture fat tails and asymmetry inherent in real emerging market data. The superior performance of EGARCH-t highlights the importance of accounting for leverage effects and heavy-tailed distributions in markets like Nigeria, where external shocks amplify downside risks.

Machine learning models complement econometric approaches by capturing complex non-linear relationships that traditional models may miss, particularly in volatile periods. However, ML models require careful feature engineering and are computationally intensive.

These findings align with prior studies on Nigerian stocks (e.g., Emenike, 2010; Atoi, 2014), which report similar asymmetry and fat tails, but extend them by incorporating simulations and ML.

The ARCH-LM test (Engle's Lagrange Multiplier test, typically with 5 lags) is a preliminary diagnostic to detect conditional heteroskedasticity in the log-returns, justifying the use of GARCH-family models. From the table:

Real Data: High test statistics (e.g., 378.23 for UBA) and p-values < 0.001 across all banks strongly reject the null hypothesis of no ARCH effects. This confirms volatility clustering—a hallmark of financial time series in emerging markets like Nigeria—driven by events such as the 2016 recession, 2019 recapitalization, and 2020 COVID-19 crash. UBA shows the strongest clustering, consistent with its highest kurtosis (16.08) in Table 1, indicating more extreme tail events. Simulated Data: Low test statistics (e.g., 5.34 for UBA) and p-values > 0.05 fail to reject the null, as expected under the Gaussian assumption. This underscores how simulations, while matching mean and variance, fail to replicate real-market heteroskedasticity, making them a useful baseline but inadequate for stress testing.

In addition, the parameter tables expand on Sections 4.2–4.3 by reporting standard errors (s.e.), p-values, Akaike Information Criterion (AIC), and Bayesian Information Criterion (BIC), thereby enabling rigorous inference and model comparison.

For the real return data in Table 4, volatility persistence defined as $(\alpha + \beta)$, exceeds 0.9 across most specifications, indicating strong long-memory behaviour in conditional variance. For example, the Persistence estimate of 0.987 for FBNH under GARCH(1,1)-t specification confirms highly persistent volatility, with statistical significance at the 1% level ($p < 0.01$). This finding is consistent with excess kurtosis and volatility clustering identified in the descriptive statistics and ARCH-LM tests. Regarding asymmetry effects, the EGARCH models exhibit negative leverage parameters (e.g., -0.200 for UBA under the Normal distribution), indicating that negative shocks increase volatility more than positive shocks of equal magnitude. This leverage effect is particularly pronounced for UBA and GTCO, reflecting heightened downside risks in Nigerian banking stocks during crisis periods. Similarly, TGARCH models display positive threshold coefficients (e.g., 0.130 for UBA under Normal distribution), reinforcing the presence of asymmetric volatility responses.

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

In terms of Distributional performance, Student-t specifications consistently produce lower AIC and BIC values compared to the Normal distribution (e.g., -6.692 vs. -6.612 for FBNH under EGARCH), confirming their superior ability to capture heavy tails (kurtosis >3). In overall, the EGARCH-t model frequently yields the lowest information criteria (e.g., -6.548 for Access Holdings), validating its suitability for modeling asymmetric and fat-tailed financial returns.

For the Simulated Gaussian data (Table 5), volatility persistence is substantially lower (typically $\alpha + \beta < 0.5$; e.g., 0.42 for Access Holdings under GARCH(1,1)-Normal), with several coefficients statistically insignificant ($p > 0.05$). This outcome reflects the homoskedastic structure imposed by the Gaussian simulation. Asymmetry parameters are generally weak or insignificant (e.g., -0.08, $p = 0.05$ for UBA under EGARCH Normal distribution), as expected in symmetric artificial data. Furthermore, AIC and BIC values are higher (less negative) than those obtained for real data (e.g., -5.812 vs. real data's -6.412 for Access Holdings under GARCH Normal), with minimal differences between distributions. These findings suggest that GARCH-type models provide limited additional explanatory power when applied to homoskedastic Gaussian series. On the other hand, the convergence diagnostics further confirm the robustness of the machine learning models, as evidenced by stable training-validation loss behaviour.

Implications

Investors: Real volatility is higher than Gaussian assumptions suggest; portfolio strategies should incorporate bank-specific asymmetry and tail risks for better hedging. - **Risk Managers:** Simulated data underestimates extremes, so use it cautiously for baseline estimates; real data with EGARCH-t is preferable for Value-at-Risk calculations. - **Regulators:** ML-enhanced volatility models can provide early warning signals for systemic risk, aiding in macroprudential policies amid Nigeria's economic challenges. - **Policymakers:** Insights into banking sector volatility can inform reforms to enhance market stability and liquidity.

Reproducibility and Data Availability Statement

The data used in this study are publicly available from the Nigerian Exchange (NGX). All Python scripts used for data processing, simulation, model estimation and forecasting will be made available upon request and deposited in a public repository upon acceptance of the manuscript.

Conclusion

This study empirically examines the volatility dynamics of Nigerian banking stocks from 2015 to 2025 using both traditional econometric methods and modern machine learning techniques. It finds that asymmetric GARCH-family models with heavy-tailed error distributions, especially the EGARCH model with Student's- t innovations, provide a significantly better fit to observed return volatility than models assuming normality, confirming common properties of financial time series such as volatility clustering, tail risk, and nonlinear shock responses. The results show that normality assumptions

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

understate extreme risks, pointing to the limitations of conventional specifications in emerging markets.

A major contribution of the work is demonstrating that machine learning forecasting methods outperform traditional econometric forecasts in out-of-sample accuracy, supporting literature advocating for hybrid frameworks that blend statistical learning with parametric risk models to capture complex, nonlinear structures in financial returns.

Practically, the findings imply that investors and risk managers should use volatility forecasts from asymmetric, heavy-tailed models in risk measurement and portfolio allocation, as Gaussian-based methods can significantly understate losses under stress. Machine learning forecasts can offer complementary risk signals beyond those from parametric models. For policymakers and regulators, the persistence and nonlinear response of volatility suggest that risk surveillance systems could be improved by incorporating advanced volatility measures and early-warning indicators that account for tail behaviour.

The study notes opportunities for future research, including testing robustness across other sectors or emerging economies, and formally investigating macroeconomic or policy drivers of volatility asymmetries. Overall, by combining econometric rigor with machine learning innovation, the study advances understanding of risk dynamics in emerging equity markets under non-normal conditions.

References

- Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307-327.
- Fischer, T. & Krauss, C. (2018). Deep Learning with Long Short-Term Memory Networks for Financial Market Predictions. *European Journal of Operational Research*, 270 (2), 654 – 669. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.054>
- Huang, B., Li, Y. & Wang, S. (2022). Hybrid Deep Learning Models for Volatility Forecasting in Emerging Markets. *Applied Soft Computing*, 115, 108206. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108206>
- Kim, H.Y. & Won, C. H. (2018). Forecasting the Volatility of Stock Price Index: A Hybrid Model Integrating LSTM with Multiple GARCH-Type Models. *Expert Systems with Applications*, 103, 25 – 37, <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2017.79660>
- Nelson, D. B. (1991). Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A new Approach. *Econometrica*, 59(2), 347-370.
- Zakoian, J.-M. (1994). Threshold Heteroskedastic Models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18(5), 931-955.
- Tsay, R. S. (2010). *Analysis of Financial Time Series* (3rd ed.). Wiley.

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

Emenike, K. O. (2010). Modelling Stock Returns Volatility in Nigeria using GARCH Models. *African Journal of Management and Administration*, 3(1), 1-10.

Atoi, N. V. (2014). Testing Volatility in Nigeria Stock Market using GARCH Models. *CBN Journal of Applied Statistics*, 5(2), 65-93.

Appendix A. Hyperparameter Grids and Model Configurations

A1. Random Forest Hyperparameter Grid

Parameters	Values Tested
Number of Trees (n-estimators)	100,200,300
Maximum Depth	10,15,20
Minimum Samples per Leaf	1,3,5
Maximum Feature	Sqrt,log2
Criterion	Squared-error

Selection Criterion: Minimum validation Mean Squared Error (MSE)

Table A2. LSTM Model Configuration

Component	Specification
Input time Steps	21 days
Number LSTM layer	2
Units per layer	64,32
Dropout rate	0.2
Activation function	Tanh
Optimizer	Adam
Learning rate	0.001
Batch size	64
Maximum Epochs	100 (with early stopping
Early stopping patience	5 Epoch
Loss function	Mean Squared Error (MSE)

Emenyonu, A. C., Osu, B. O., & Azor, P. A. (2026). Volatility modelling of Nigerian bank Stocks: Evidence from real and simulated data using GARCH and machine learning, *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 22-41.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

Table A3. Hybrid GARCH-LSTM Configuration

Component	Specification
Additional inputs	EGARCH-t conditional volatility
	Lagged returns
	Rolling 21 day realized volatility
Rolling window for GARCH Estimation	504 trading days (≈ 2 years)
Forecast Re-estimation frequency	Every 252 trading days

Table A4. Reproducibility settings

Component	Specification
Python version	3.11
Random seed	42
Libraries used	Arch
	Statsmodels
	Scikit-learn
	Numpy
	Pandas
	PyTorch

ETHICAL AND SCIENTIFIC PRINCIPLES STATEMENT OF RESPONSIBILITY

The author(s) declare that ethical principles and scientific citation principles were adhered to throughout the preparation of this study. OJOMSTE assumes no responsibility if a contrary finding occurs; all responsibility belongs to the authors.

STATEMENT OF RESEARCHERS' CONTRIBUTION TO THE ARTICLE

First author contribution rate: 40%

Second author contribution rate: 35%

3rd author contribution rate: 25%

STEM ve Yapay Zekâ: Eğitimde Bütünleşik Yaklaşımlar Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz (2006–2025)*Çağrı AVAN^a, Selçuk AÇIKGÖZ^b^a Kastamonu İl Milli Eğitim Müdürlüğü, Ölçme Değerlendirme Merkezi, Kastamonu /Türkiye
cagriavan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4068-7631>^b Mersin Üniversitesi, Anamur Meslek Yüksekokulu, Mersin/Türkiye
selcukacikgoz@mersin.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6549-576X>

Geliş Tarihi: 09.03.2026

Kabul Tarihi: 04.05.2026 V. Uluslararası Eğitimde ve Kültürde

Anahtar Kelimeler:STEM eğitimi,
yapay zekâ,
bibliyometrik analiz,
öğrenme analitiği**Makale Türü:**

Araştırma

Öz

Bu çalışma, STEM eğitimi ile yapay zekâ teknolojilerinin kesişiminde son yirmi yılda (2006–2025) üretilen akademik literatürü bibliyometrik yöntemle analiz etmeyi amaçlamaktadır. Eğitimde kişiselleştirilmiş öğrenme yaklaşımlarının ve disiplinler arası entegrasyonun giderek önem kazanması, bu iki alanın birlikte ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, çalışma STEM ve YZ temalı yayınların üretim eğilimlerini, etki düzeylerini, anahtar kavram yapılarını, iş birliği ağlarını ve entelektüel kümelenmelerini ortaya koymayı hedeflemiştir.

Araştırmanın verileri, Web of Science Core Collection veri tabanından 07 Temmuz 2025 tarihinde alınmış ve 2006–2025 yılları arasında yayımlanmış 449 akademik yayın bibliyometrik analiz kapsamına alınmıştır. Analiz sürecinde bibliometrix R paketi ve biblioshiny arayüzü kullanılarak yıllara göre yayın dağılımları, atıf analizleri, ortak atıf ağları, anahtar kelime eş-oluşumları ve tematik evrim haritaları oluşturulmuştur.

Elde edilen bulgular, yıllık ortalama yayın artış oranının %20.93 olduğunu ve özellikle 2021–2022 döneminde üretimde yoğunlaşma yaşandığını göstermektedir. “STEM education”, “artificial intelligence”, “intelligent tutoring systems” ve “computational thinking” en sık kullanılan anahtar kelimeler arasında yer almıştır. Ortak atıf ve kavram analizi, VanLehn, D’Mello, Graesser gibi yazarların çalışmaları alanın temel kuramsal referansları olarak belirlenmiştir. Tematik evrim analizleri, son yıllarda “AI ethics”, “personalized learning” ve “chatbot” gibi kullanıcı merkezli ve etik temaların yükseldiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, STEM ve yapay zekâ ekseninde üretilen literatürün yalnızca teknik değil; pedagojik, kuramsal ve etik boyutlarda da zenginleştiğini göstermektedir.

*Akademik Çalışmalar Sempozyumu (13-15 Kasım 2025 KKTC) bildirisi olarak sunulmuştur.

STEM and Artificial Intelligence: A Bibliometric Analysis of Integrated Approaches in Education (2006–2025)*

Çağrı AVAN^a, Selçuk AÇIKGÖZ^b

^aKastamonu Provincial Directorate of National Education, Measurement and Evaluation Center Kastamonu/Turkey

cagriavan@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4068-7631>

^bMersin University, Anamur Vocational School Mersin / Turkey

selcukacikgoz@mersin.edu.tr <https://orcid.org/0000-0001-6549-576X>

Received: March,09 2026

Accepted: May 04, 2026

Keywords:	Abstract
STEM education, artificial intelligence, bibliometric analysis, learning analytics	This study aims to analyze the academic literature produced at the intersection of STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) education and artificial intelligence (AI) technologies between 2006 and 2025 through a bibliometric approach. As personalized learning approaches and interdisciplinary integration become increasingly vital in education, the convergence of these two domains necessitates a comprehensive investigation. In this context, the study seeks to reveal publication trends, citation performance, conceptual structures, collaboration networks, and intellectual clusters within the STEM-AI literature.
Paper Type: Research	The data were obtained from the Web of Science Core Collection on July 7, 2025, and include 449 peer-reviewed publications published between 2006 and 2025. Using the bibliometrix R package and its biblioshiny interface, analyses such as annual publication trends, citation distributions, co-citation networks, keyword co-occurrence, and thematic evolution maps were conducted. The findings indicate an annual publication growth rate of 20.93%, with a notable increase in research output observed during 2021–2022. The most frequently used keywords include “STEM education,” “artificial intelligence,” “intelligent tutoring systems,” and “computational thinking.” Co-citation and conceptual structure analyses identified works by VanLehn, D’Mello, and Graesser as intellectual anchors within the field. Thematic evolution analysis highlights a recent shift toward user-centered and ethically oriented concepts such as “AI ethics,” “personalized learning,” and “chatbots.” This study demonstrates that the literature on STEM and AI has evolved not only technically but also pedagogically, theoretically, and ethically.

*This paper was presented at the 5th International Symposium on Academic Studies in Education and Culture (November 13-15, 2025, KKTC).

Giriş

Yirmi birinci yüzyılda hız kazanan dijital dönüşüm, eğitim sistemlerinde önemli değişimlere yol açmıştır. Özellikle yapay zekâ (YZ) teknolojilerindeki gelişmeler, STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) eğitimi alanında disiplinler arası etkileşimi artırmış ve araştırma konularının çeşitlenmesine katkı sağlamıştır. Bu süreçte, STEM eğitimi disiplinler arası bir öğrenme yaklaşımı sunarken, YZ teknolojileri öğrenme süreçlerinin bireyselleştirilmesini destekleyen önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır (Barkoczi vd., 2024; Zou vd., 2025).

STEM eğitimi; fen, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerinin bütünleşik bir şekilde ele alındığı ve öğrencilerin problem çözme, eleştirel düşünme ve yaratıcılık gibi 21. yüzyıl becerilerini geliştirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır (Bybee, 2013; Honey vd., 2014; Dare vd., 2021). Bu yaklaşım, öğrencilerin disiplinler arası bilgi ve becerileri kullanarak gerçek yaşam problemlerine çözüm üretebilmelerini hedeflemektedir.

Yapay zekâ (YZ) teknolojileri, öğrenme süreçlerinin bireyselleştirilmesini ve veri temelli karar verme süreçlerinin geliştirilmesini destekleyerek eğitimin dijitalleşmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Hariyanto vd., 2025). Özellikle akıllı öğretim sistemleri, makine öğrenmesi ve doğal dil işleme (NLP) tabanlı uygulamalar, öğrencilerin bireysel özelliklerine uygun öğrenme yollarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Holmes vd., 2019; Roll & Wylie, 2016; Zawacki-Richter vd., 2019). Bu sistemler, öğretmenin rolünü destekleyici biçimde geri bildirim sağlama ve öğrenme süreçlerini izleme imkânı sunmaktadır.

Son yıllarda yapay zekâ ile STEM eğitiminin kesişiminde, YZ destekli uygulamalara odaklanan çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu çalışmalar, özellikle STEM öğretim süreçlerinde dijital materyal ve platformların kullanımına yönelmektedir. Akıllı öğretim sistemleri, yapay zekâ tabanlı sohbet robotları ve simülasyon ortamları, öğrencilerin kavramları daha etkileşimli ve uygulamaya dayalı biçimde öğrenmelerine katkı sağlamaktadır (Chassignol vd., 2018; Chen vd., 2020). Bu uygulamalar, özellikle problem çözme ve deneyimsel öğrenme süreçlerini destekleyen araçlar olarak değerlendirilmektedir.

Bunun yanı sıra literatürde, yapay zekânın yalnızca bir öğretim aracı olarak değil, aynı zamanda STEM eğitiminin doğrudan bir öğretim içeriği olarak ele alındığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bu yaklaşımda, algoritmik düşünme, makine öğrenmesi, veri analitiği ve yapay zekâ etiği gibi konular STEM müfredatına entegre edilerek öğrencilerin yapay zekâ okuryazarlığı geliştirmeleri hedeflenmektedir (Chen vd., 2020; Ouyang vd., 2023). Bu sayede öğrencilerin, yapay zekâ temelli sistemleri yalnızca kullanıcı olarak değil, eleştirel ve bilinçli bireyler olarak değerlendirebilmeleri desteklenmektedir.

Buna ek olarak, literatürde öne çıkan bir diğer yaklaşım, STEM alanında öğrenme süreçlerinin yapay zekâ teknolojileri aracılığıyla bireyselleştirilmesine odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, öğrencilerin öğrenme hızları, ilgi alanları ve performans verilerine göre uyarlanabilir öğrenme yollarının geliştirilmesini ele almaktadır. Yapay zekâ destekli sistemler, öğrenci verilerini analiz ederek kişiye özgü içerik ve geri bildirim sunmakta ve öğrenen merkezli STEM öğrenme ortamlarının oluşturulmasını desteklemektedir (Chassignol vd., 2018; Ouyang vd., 2023; Akhmetova vd., 2025).

Yapay zekâ (YZ), STEM öğrenme ortamlarında yalnızca bir öğretim aracı olarak değil, aynı zamanda yeni nesil düşünme becerilerinin gelişimini destekleyen bir öğrenme unsuru olarak da ele alınmaktadır (Luckin vd., 2016). Bununla birlikte, STEM ve YZ kesişiminde yürütülen çalışmaların tematik dağılımı, kullanılan teknolojiler, hedeflenen beceriler ve uygulama alanları açısından bütüncül bir biçimde incelendiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle bu alanın hangi kavram kümeleri etrafında şekillendiği, hangi ülkelerde ve araştırma ağlarında

yoğunlaştığı ve zaman içinde nasıl bir gelişim gösterdiği gibi sorulara sistematik yanıtlar sunan kapsamlı analizlere ihtiyaç duyulmaktadır (Zawacki-Richter vd., 2019; Ouyang vd., 2023).

Literatürde STEM eğitimi ve yapay zekâ üzerine bazı bibliyometrik çalışmalar (Chen vd., 2020; Zawacki-Richter vd., 2019) bulunmasına rağmen, bu iki alanın kesişimini bütüncül bir perspektifle ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmalar çoğunlukla yapay zekâyı genel eğitim teknolojileri kapsamında incelemekte olup, STEM disiplinleriyle bütünleşen yaklaşımların literatürdeki yansımalarını yeterince kapsamlı biçimde analiz etmemektedir (National Science Foundation [NSF], 2021). Bu çalışma, STEM ve yapay zekâ kesişimindeki literatürü bibliyometrik yöntemlerle inceleyerek alandaki tematik yapıları, kavramsal ilişkileri ve araştırma eğilimlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, literatürdeki mevcut boşluğun daha sistematik bir biçimde değerlendirilmesine katkı sunmayı hedeflemektedir.

Bu çalışmanın amacı, 2006–2025 yılları arasında STEM ve yapay zekâ (YZ) kesişiminde yayımlanan akademik literatürü bibliyometrik yöntemle inceleyerek alandaki üretim eğilimlerini, tematik yapıları ve iş birliği ağlarını ortaya koymaktır. Bu doğrultuda çalışma aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

1. STEM ve YZ literatürünün 2006–2025 yılları arasındaki yıllık yayın büyüme oranı ve atıf dağılım eğilimleri nasıldır?
2. Bu alandaki en verimli yazarlar, kurumlar ve akademik kaynaklar hangileridir ve bu aktörlerin etki düzeyleri (h-index, g-index vb.) nasıl dağılmaktadır?
3. Ülkeler ve yazarlar arası akademik iş birliği ağları hangi merkezlerde yoğunlaşmaktadır?
4. STEM+YZ literatüründe en sık kullanılan anahtar kelimeler nelerdir ve bu kavramlar zaman içinde nasıl bir tematik evrim geçirmiştir?
5. Ortak atıf (co-citation) ve kavramsal haritalama analizlerine göre alanın temel kuramsal dayanakları nelerdir?

Yöntem

Bu araştırma, bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak yürütülmüştür. Bibliyometrik analiz, bilimsel yayınların yapısını, gelişim eğilimlerini ve ilişkisel örüntülerini incelemeye yönelik nicel bir araştırma yaklaşımıdır (Donthu vd., 2021; Aria & Cuccurullo, 2017). Bu yöntem, belirli bir araştırma alanının üretkenliğini, iş birliği ağlarını ve atıf yapısını analiz etmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda, STEM ve yapay zekâ temalarını içeren akademik literatür bibliyometrik göstergeler aracılığıyla incelenmiş; anahtar kelime eş-oluşum analizi (co-occurrence) ve tematik kümeleme gibi tekniklerden yararlanılmıştır.

Veri Tabanı ve Kapsam

Araştırma verileri, Web of Science (WoS) Core Collection veri tabanından elde edilmiştir. WoS, yüksek etki faktörlü ve hakemli yayınları kapsamı nedeniyle bibliyometrik analizlerde yaygın olarak tercih edilen bir veri kaynağıdır (Mongeon & Paul-Hus, 2016). Veri taraması 07 Temmuz 2025 tarihinde gerçekleştirilmiş ve 2006–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalar analize dâhil edilmiştir.

Tarama sürecinde aşağıdaki anahtar kelime dizisi kullanılmıştır:

("STEM Education" OR "Science Technology Engineering Mathematics") AND ("Artificial Intelligence" OR "AI in Education" OR "Intelligent Tutoring Systems") AND ("Teaching" OR "Learning" OR "Instruction" OR "Teacher Education")

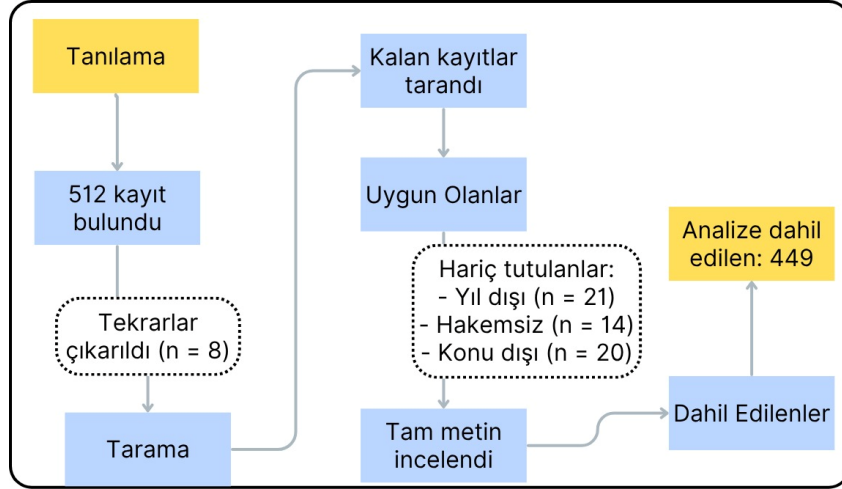
Avan, Ç., & Açıkgöz, S. (2026). STEM and Artificial Intelligence: A Bibliometric Analysis of Integrated Approaches in Education (2006–2025). *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 42-67.

Bu tarama sonucunda toplam 449 akademik yayın belirlenmiş ve analiz kapsamına alınmıştır.

Elde edilen yayınların başlık, yazar, yıl, dergi adı, anahtar kelimeler ve özet bilgileri .bib formatında dışa aktarılmıştır. Araştırma verileri, Web of Science (WoS) Core Collection veri tabanında “Topic” (başlık, özet, yazar anahtar kelimeleri ve Keywords Plus) alanı taranarak elde edilmiştir. Veri setinin kapsamlı ve temsil gücü yüksek olması amacıyla Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), Social Sciences Citation Index (SSCI), Arts and Humanities Citation Index (A&HCI) ve Emerging Sources Citation Index (ESCI) indeksleri analize dâhil edilmiştir. Analiz sürecinde dil kısıtlamasına gidilmemiştir.

Analiz kapsamına alınan 449 dokümanın türsel dağılımı incelendiğinde, 183’ünün araştırma makalesi (Article), 16’sının inceleme makalesi (Review) ve 228’inin konferans bildirisi/toplantı özeti (Meeting Abstract/Proceedings) olduğu görülmektedir. Ayrıca veri setinde erken erişim makaleler, kitap bölümleri ve editöryal metinler de yer almaktadır.

Veri seçim süreci PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) protokolüne uygun olarak yürütülmüştür. İlk aşamada yapılan tarama sonucunda 512 kayda ulaşılmıştır. Ön eleme sürecinde, 2006–2025 yılları dışında kalan 21 yayın ve hakemli olmayan 14 doküman veri setinden çıkarılmıştır. Yinelenen kayıtların kontrolü sonucunda 8 mükerrer çalışma elenmiştir. Son aşamada başlık ve özet incelemesi yapılmış, araştırma odağıyla doğrudan ilişkili olmayan 20 çalışma kapsam dışı bırakılmıştır. Bu süreç sonunda toplam 449 akademik doküman analiz kapsamına dâhil edilmiştir. Süreç, PRISMA akış diyagramı ile Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Sistematik literatür taraması kapsamında çalışma seçim sürecine ilişkin PRISMA 2020 akış diyagramı

Analizlerin güvenilirliğini artırmak amacıyla veri temizliği ve normalizasyon süreci uygulanmıştır. Bu kapsamda, yazım farklılığı gösteren yazar isimleri (ör. “Smith J.” ve “Smith, John”) tek bir kimlik altında birleştirilmiş ve kurum adlarındaki farklı kullanımlar standardize edilmiştir. Ayrıca mükerrer kayıtlar veri setinden çıkarılmıştır.

Kavramsal tutarlılığı sağlamak amacıyla bir eş anlamlılar dizini (thesaurus) oluşturulmuş ve “AI”, “Artificial Intelligence” ve “Yapay Zekâ” gibi aynı kavramı ifade eden anahtar kelimeler tek bir başlık altında toplanmıştır. Benzer şekilde, “STEM education” ve “STEM learning” gibi yakın anlamlı terimler birleştirilmiştir.

Bu işlemler sonucunda veri seti analiz için uygun hale getirilmiş ve bibliyometrik analizler nihai veri seti üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Veri Analizi Süreci

Verilerin analizi, bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017) R paketi ve buna entegre biblioshiny aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sorularına yanıt verebilmek amacıyla aşağıdaki bibliyometrik analiz tekniklerinden yararlanılmıştır:

- Yıllara göre yayın ve atıf dağılımı
- En verimli yazarlar, kurumlar ve ülkeler
- Atıf analizi (total citation, h-index, g-index, m-index)
- Ortak yazarlık analizi (co-authorship analysis)
- Anahtar kelime eş-oluşum analizi (co-word analysis)
- Ortak atıf analizi (co-citation analysis)
- Kaynaklar arası ilişki ağı (source co-citation)
- Tematik haritalama ve evrim analizi

Bu analizler, literatürün üretim eğilimlerini, etki düzeylerini, iş birliği yapılarını ve kavramsal organizasyonunu çok boyutlu olarak incelemek amacıyla seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar ağ görselleştirme, tematik harita ve trend analizleri aracılığıyla sunulmuştur.

STEM ve yapay zekâ literatürünün tematik yapısını daha kapsamlı incelemek amacıyla anahtar kelime analizi üç farklı düzeyde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, yazarların kendi çalışmalarını tanımlamak için kullandıkları “Yazar Anahtar Kelimeleri” analiz edilmiştir. İkinci olarak, Web of Science tarafından otomatik olarak oluşturulan “Keywords Plus” dizini incelenmiştir. Son olarak, başlık ve özet metinlerinde yer alan terimler frekans analizine tabi tutulmuştur.

Bu çok katmanlı yaklaşım, literatürdeki kavramların hem araştırmacılar tarafından nasıl tanımlandığını hem de veri tabanı düzeyinde nasıl ilişkilendirildiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Kavramsal Haritalama ve Tematik Kümeleme

Verilerin yorumlanmasında bilimsel üretkenlik (yayın sayısı), etki gücü (atıf sayısı ve PageRank değeri) ve ilişkisellik (kümeleme yapıları ve ağ bağlantıları) gibi göstergeler dikkate alınmıştır.

Tematik analizlerde, literatürde en sık kullanılan anahtar kelimeler ve çalışmalar arasındaki atıf ilişkileri incelenerek benzer konular etrafında kümelenmeler belirlenmiştir. Bu kapsamda, yerel ve küresel atıf yapıları değerlendirilerek çalışmaların hem veri seti içindeki hem de genel literatürdeki etkisi analiz edilmiştir.

Ortak atıf ve eş-oluşum analizlerinde ise kavramlar ve çalışmalar arasındaki ilişkilerin yapısı, ağ ölçütleri kullanılarak incelenmiştir. Bu ölçütler arasında düğümlerin bağlantı yoğunluğu, diğer düğümlere olan uzaklığı (yakınlık merkezitesi) ve farklı kümeler arasında köprü rolü üstlenme düzeyi (aradalık merkezitesi) yer almaktadır. Elde edilen bulgular grafikler aracılığıyla görselleştirilmiş ve yorumlanmıştır.

Bulgular

Bu bölümde, R Studio programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular tablolar ve grafiklerle sunulmaktadır. Bu görseller, ortaya çıkan eğilimleri ve önemli noktaların daha iyi ifade edilmesi için açıklamalarla desteklenmiştir.

Araştırma Sorusu 1: Yayın ve Atıf Eğilimleri

Bu bölümde, STEM ve yapay zekâ literatürünün 2006–2025 yılları arasındaki yıllık yayın üretimi ve atıf eğilimleri incelenmiştir. Elde edilen temel bibliyometrik göstergeler Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. STEM ve YZ Literatürüne Ait Tanımlayıcı Bibliyometrik Göstergeler (2006–2025)

Açıklama	Sonuçlar
Veriler Hakkında Başlıca Bilgiler	
Zaman aralığı	2006-2025
Kaynaklar (Dergi, kitap vb.)	225
Dokümanlar	449
Yıllık Büyüme Oranı %	20.93
Dokümanların ortalama yaşı	5
Doküman başına düşen atıf sayısı	16.38
Kaynakçada atıf verilen eserlerin toplam sayısı	17116
Doküman İçerikleri	
Keywords Plus – yayıncı anahtar sözcük sayısı	570
Yazarların anahtar sözcük sayısı	1395
Yazarlar	
Yazar Sayısı	1567
Tek yazarlı yayın üreten yazar sayısı	28
Yazar İşbirliği	
Toplam tek yazarlı yayın sayısı	31
Doküman başına düşen ortak yazar sayısı	4.43
Uluslararası ortak yazarlık oranı (%)	15.37
Doküman Türleri	
Makale	183
Makale; Kitap bölümü	5
Makale; erken erişim	8
Editöryal metin	6
Toplantı özeti	228
İnceleme	16
İnceleme erken erişim	3

Tablo 1 incelendiğinde, analiz kapsamında 2006–2025 yılları arasında toplam 449 akademik dokümanın değerlendirildiği ve bu çalışmaların 225 farklı kaynaktan elde edildiği görülmektedir. Yıllık ortalama yayın artış oranı %20.93 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, STEM ve yapay zekâ kesişimindeki çalışmaların zaman içinde artış eğilimi gösterdiğine işaret etmektedir.

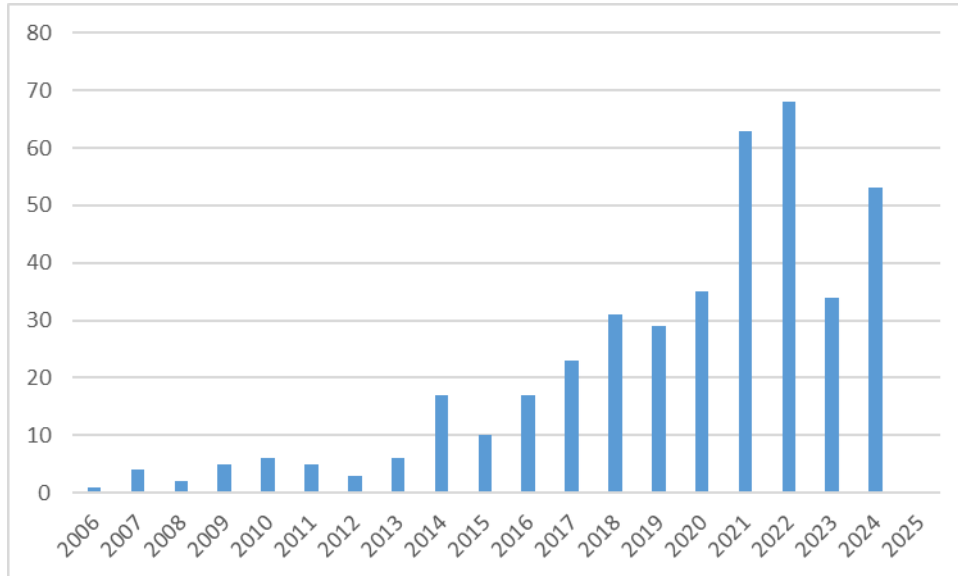
İncelenen yayınların ortalama yaşı 5 yıl olup, literatürün büyük ölçüde güncel çalışmalardan oluştuğu söylenebilir. Doküman başına düşen ortalama atıf sayısı 16.38 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, veri setinde yer alan çalışmaların kaynakçalarında toplam 17116 atıf bulunduğu görülmektedir. Bu durum, alanın referans yoğun bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Doküman türleri incelendiğinde, yayınların önemli bir kısmını 183 adet özgün araştırma makalesi oluşturmaktadır. Bunu 228 adet toplantı özeti ve 16 adet inceleme makalesi takip etmektedir. Bunun yanında erken erişim makaleler, editöryal metinler ve kitap bölümleri de veri setinde yer almaktadır. Bu çeşitlilik, alanın farklı yayın türleri üzerinden geliştiğini göstermektedir.

Yazar iş birliği bağlamında, doküman başına ortalama 4.43 ortak yazar düştüğü ve yayınların yaklaşık %15.37'sinde uluslararası iş birliği bulunduğu görülmektedir. Toplam 1567 farklı yazarın yer aldığı veri setinde yalnızca 31 yayının tek yazarlı olması, STEM ve yapay zekâ temelli çalışmaların büyük ölçüde ekip çalışmasına dayandığını göstermektedir.

Ayrıca, yazarlar tarafından kullanılan anahtar kelime sayısının 1395, yayıncı sistemleri tarafından atanan Keywords Plus terimlerinin ise 570 olduğu belirlenmiştir. Bu durum, literatürde kavramsal çeşitliliğin yüksek olduğunu ve çalışmaların farklı tematik alanlara yayıldığını göstermektedir.

STEM ve yapay zekâ alanında yayımlanan bilimsel dokümanların yıllara göre dağılımı Şekil 2'de sunulmaktadır.



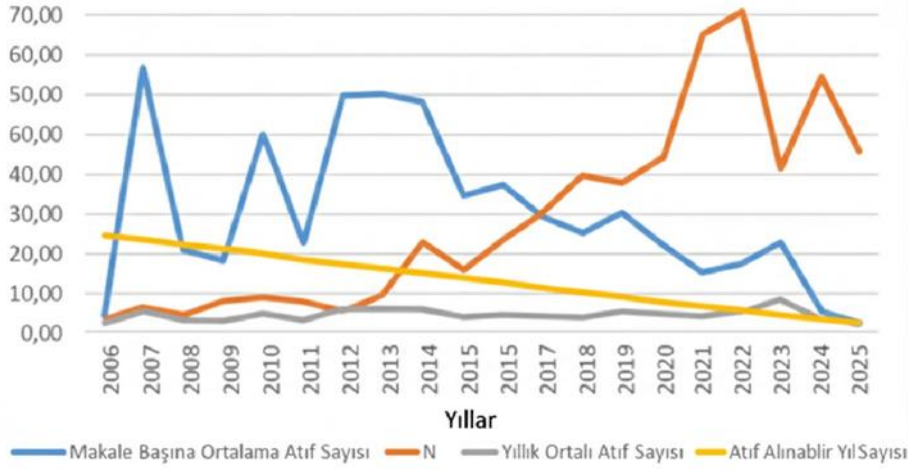
Şekil 2. 2006–2025 Yılları Arasında STEM ve YZ Konulu Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

Şekil 2 incelendiğinde, 2006–2013 yılları arasında yayın sayılarının görece düşük düzeyde seyrettiği görülmektedir. Bu dönemde yıllık yayın sayısının sınırlı kaldığı ve alana yönelik akademik ilginin henüz gelişim aşamasında olduğu söylenebilir.

2014 yılı ile birlikte yayın sayısında belirgin bir artış eğilimi gözlenmekte, bu artışın özellikle 2020 yılı sonrasında hız kazandığı dikkat çekmektedir. 2021 ve 2022 yılları, sırasıyla 63 ve 68 yayın ile en yüksek üretim düzeyine ulaşılan dönemler olmuştur.

2023–2025 yılları arasında da yayın sayılarının yüksek seviyede seyrini sürdürdüğü görülmektedir. Bu durum, STEM ve yapay zekâ kesişimine yönelik akademik ilginin son yıllarda artış gösterdiğine işaret etmektedir. Yayın sayısındaki bu artışın, eğitimde dijitalleşme süreçlerinin hızlanması ve yapay zekâ teknolojilerine yönelik ilginin artmasıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir.

Yıllara göre atıf dağılımları Şekil 3'te sunulmaktadır.



Şekil 3. STEM ve YZ Konulu Yayınların Yıllara Göre Ortalama Atıf Dağılımları

STEM ve yapay zekâ konularındaki yayınların bilimsel etkisini değerlendirmek amacıyla, makale başına düşen ortalama atıf sayıları (Mean Total Citations per Article – MeanTCperArt) ve yıllık ortalama atıf değerleri (Mean Total Citations per Year – MeanTCperYear) incelenmiştir.

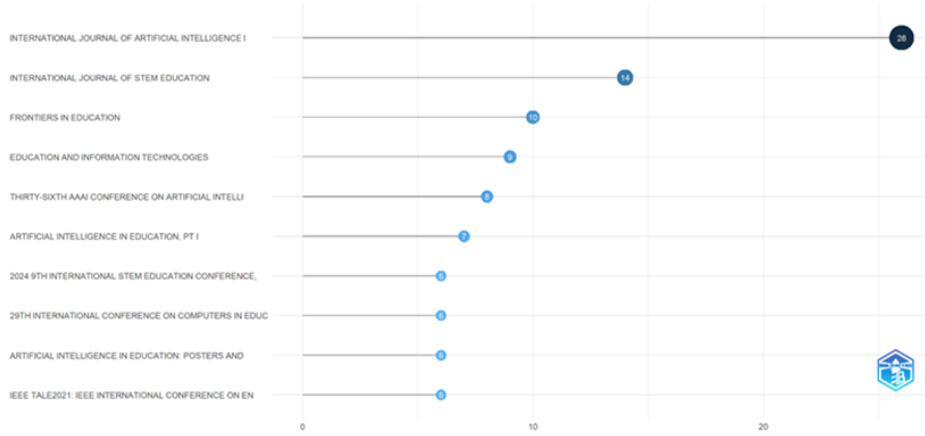
Şekil 3 incelendiğinde, özellikle 2007–2014 döneminde yayımlanan çalışmaların daha yüksek ortalama atıf değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu dönemdeki yayın sayısı görece düşük olmasına rağmen, atıf ortalamalarının yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin, 2007 yılında yayımlanan 4 makalenin ortalama 53.75 atıf aldığı görülmektedir. Benzer şekilde 2010 (40.83), 2012 (48), 2013 (48.17) ve 2014 (46.41) yıllarında yayımlanan çalışmalar da yüksek atıf ortalamalarına sahiptir.

2015 yılı sonrasında yayın sayılarında belirgin bir artış gözlenmesine rağmen, makale başına düşen ortalama atıf sayısında görece bir azalma olduğu görülmektedir. Bu durum, literatürdeki yayın hacminin artmasıyla birlikte atıfların daha geniş bir yayın grubuna dağılmasıyla ilişkili olabilir. Örneğin, 2021 yılında yayımlanan 63 çalışmanın ortalama atıf sayısı 11.17 iken, 2022 yılında yayımlanan 68 çalışmada bu değer 13.00 olarak hesaplanmıştır.

Son yıllarda (2023–2025) yayımlanan çalışmaların ise henüz yeterli atıf birikimine ulaşmadığı görülmektedir. Bu durum, yayınların görece yeni olmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte, 2023 yılı ortalama 17.59 atıf ve yıllık 5.86 atıf değeri ile son dönem çalışmaları arasında dikkat çeken bir konumda yer almaktadır.

Araştırma Sorusu 2: En Verimli Yazarlar, Kurumlar ve Kaynaklar

Bu bölümde, STEM ve yapay zekâ literatüründe öne çıkan yazarlar, akademik kaynaklar ve kurumlar üretkenlik ve etki göstergeleri açısından incelenmiştir. STEM ve yapay zekâ konularındaki bilimsel üretimin hangi akademik mecralarda yoğunlaştığını belirlemek amacıyla kaynak bazlı bir sıklık analizi yapılmıştır. Şekil 4'te, WoS veri tabanından elde edilen yayınlar arasında en sık tercih edilen akademik kaynaklar sunulmaktadır.



Şekil 4. STEM ve YZ Literatüründe En Sık Atf Alın Akademik Kaynaklar

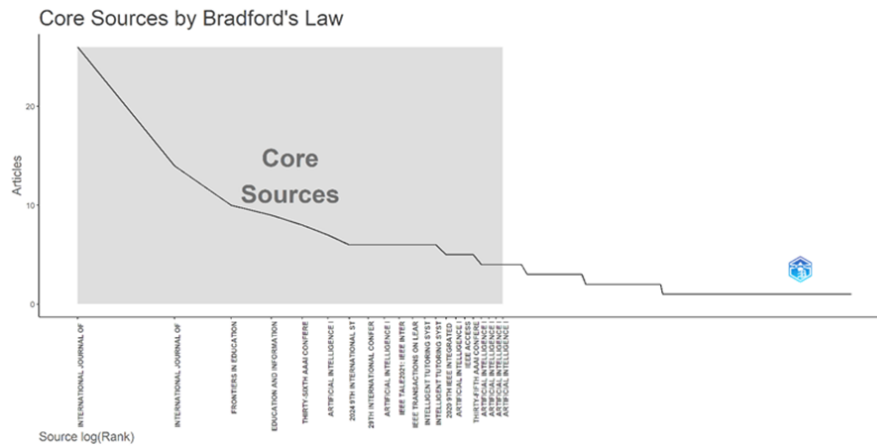
Analiz sonuçlarına göre, 449 çalışmanın 225 farklı kaynaktan yayımlandığı görülmektedir. Bu çeşitlilik, alanın disiplinlerarası yapısına ve farklı araştırma ortamlarında ele alındığına işaret etmektedir.

En fazla yayına sahip kaynak, 26 yayı ile *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)* olmuştur. Bu dergiyi *International Journal of STEM Education* (14 yayı) ve *Frontiers in Education* (10 yayı) takip etmektedir. Bu kaynakların, yapay zekâ ve STEM eğitimi kesişiminde yapılan çalışmalara önemli bir yayın ortamı sunduğu görülmektedir.

Akademik dergilerin yanı sıra konferans temelli yayınların da literatürde önemli bir yer tuttuğu dikkat çekmektedir. Özellikle *Thirty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence* kapsamında yer alan Educational Advances in AI bölümü ile AIED konferansına ait çeşitli yayın türlerinin (poster, çalıştay, doktora konsorsiyumu) alandaki güncel çalışmaların paylaşılmasında aktif rol oynadığı görülmektedir.

Bu bulgular, alanın yalnızca dergi makaleleri üzerinden değil, aynı zamanda konferanslar aracılığıyla da geliştiğine işaret etmektedir.

STEM ve yapay zekâ literatüründe öne çıkan çekirdek kaynaklar, Bradford Yasası çerçevesinde analiz edilmiştir. Şekil 5'te sunulan grafik, yayınların belirli akademik kaynaklarda yoğunlaştığını göstermektedir.



Şekil 5. STEM ve YZ Yayınlarının Bradford Yasası Uyarınca Dağılımı

Grafikte, en fazla yayına sahip kaynakların “çekirdek kaynaklar” bölgesinde toplandığı görülmektedir. Bu kapsamda International Journal of Artificial Intelligence in Education, International Journal of STEM Education, Frontiers in Education, Education and Information Technologies ve Thirty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence gibi yayınların literatürde önemli bir konumda yer aldığı dikkat çekmektedir.

Bununla birlikte, daha az sayıda yayın içeren çok sayıda dergi ve konferansın bulunduğu “uzun kuyruk” yapısı da gözlenmektedir. Bu durum, alanın çok disiplinli yapısını ve farklı akademik platformlara yayıldığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, STEM ve yapay zekâ literatürünün belirli çekirdek dergi ve konferanslar etrafında yoğunlaştığı, ancak aynı zamanda geniş bir akademik yelpazeye yayıldığı görülmektedir. Bu yapı, alanın hem odaklı hem de çok disiplinli bir gelişim gösterdiğine işaret etmektedir.

STEM ve yapay zekâ kesişiminde yapılan yayınlar incelendiğinde, belirli araştırmacıların hem üretkenlik hem de atıf etkisi açısından öne çıktığı görülmektedir. Bu kapsamda, en çok yayın yapan ve en yüksek atıf değerlerine sahip yazarlar bibliyometrik göstergeler (h-index, g-index ve m-index) kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo 2’de, STEM ve yapay zekâ literatüründe öne çıkan yazarların yayın sayıları, toplam atıf değerleri ve bibliyometrik göstergeleri sunulmaktadır.

Tablo 2. STEM ve YZ Alanında En Üretken Yazarlar, Makaleleri ve Atıf Metrikleri

Yazarlar	h-endeksi	g-endeksi	m- endeksi	Toplam Atıf Sayısı	Yayın Sayısı	İlk Yayın Yılı
Azevedo	8	18	0.421	524	18	2007
Taub	8	12	0.8	358	12	2016
Barnes	6	9	0.545	92	13	2015
Belland	6	7	0.545	368	7	2015
Chi	6	10	0.545	114	14	2015
Kim	6	6	0.6	409	6	2016
Biswas	5	11	0.263	154	11	2007
Burleson	5	5	0.333	108	5	2011
Graesser	5	7	0.417	297	7	2014
Heffernan	5	8	0.417	357	8	2014
Ali	4	5	0.8	100	5	2021
Barnes	4	5	0.5	32	5	2018
Girard	4	4	0.333	48	4	2014
Hu	4	7	0.267	259	7	2011
Koedinger	4	4	0.308	186	4	2013
Maniktala	4	5	0.667	39	5	2020
Matsuda	4	8	0.308	99	8	2013
Tiffany	4	5	0.5	32	5	2018
Vanlehn	4	6	0.267	101	6	2011
Xu	4	4	0.8	63	4	2021
Yang	4	4	0.667	46	4	2020
Zhai	4	5	0.8	104	5	2021
Zhang	4	4	0.333	48	4	2014
Arroyo	3	4	0.176	99	4	2009
Ausin	3	5	0.5	31	5	2020

Avan, Ç., & Açıkgöz, S. (2026). STEM and Artificial Intelligence: A Bibliometric Analysis of Integrated Approaches in Education (2006–2025). *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 42-67.

Tablo 2 incelendiğinde, Azevedo'nun toplam atıf sayısı bakımından en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre m-index değeri en yüksek olan (0.8) araştırmacılar Taub, Ali, Xu ve Zhai'dir. Bu bulgu, söz konusu yazarların alanda kısa sürede oldukça yüksek bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Azevedo ise toplam atıf sayısı bakımından lider konumdadır.

Ayrıca, Taub, Ali, Xu ve Zhai gibi bazı araştırmacıların yüksek m-index değerlerine sahip olması, bu yazarların daha kısa sürede yüksek etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, alanda hem uzun süredir aktif olan araştırmacıların hem de son dönemde öne çıkan çalışmaların birlikte yer aldığını göstermektedir.

STEM ve yapay zekâ literatüründe yer alan çalışmaların etki düzeyi, toplam atıf sayıları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Tablo 3'te, 2006–2025 yılları arasında yayımlanan ve en yüksek atıf değerine sahip çalışmalar sunulmaktadır.

Tablo 3. STEM ve YZ Alanında En Üretken Yazarlar, Makaleleri ve Atıf Sayıları

Yazarlar	Başlık	Kaynak	Topla m Atıf Sayısı	Yıllık Topla m Atıf Sayısı	Normalleştiril iş Toplam Atıf Sayısı
Heffernan & Heffernan	The ASSISTments Ecosystem: Building a Platform that Brings Scientists and Teachers Together for Minimally Invasive Research on Human Learning and Teaching	International Journal of Artificial Intelligence in Education	272	22.67	5.86
Sun vd.	Unsupervised bilingual word embedding agreement for unsupervised neural machine translation	In Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics	234	33.43	9.88
Latecki vd.	Outlier detection with kernel density functions	In International workshop on machine learning and data mining in pattern recognition	213	11.21	3.96
D'Mello	A selective meta-analysis on the relative incidence of discrete affective states during learning with technology.	Journal of Educational Psychology	200	15.38	4.15
Belland vd.	Synthesizing Results From Empirical Research on Computer-Based Scaffolding in STEM	Review of Educational Research	179	19.89	8.04

Avan, Ç., & Açıkgöz, S. (2026). STEM and Artificial Intelligence: A Bibliometric Analysis of Integrated Approaches in Education (2006–2025). *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 42-67.

Education: A Meta-Analysis					
Nye vd.	AutoTutor and Family: A Review of 17 Years of Natural Language Tutoring	International Journal of Artificial Intelligence in Education	165	13.75	3.56
Azevedo & Gasevic	Analyzing Multimodal Multichannel Data about Self-Regulated Learning with Advanced Learning Technologies: Issues and Challenges	Computers in Human Behavior	163	23.29	6.88
Casal-Otero vd.	AI literacy in K-12: a systematic literature review	IJ STEM Ed	145	48.33	8.24
NhatHai vd.	Differential Privacy Preservation for Deep Auto-Encoders: an Application of Human Behavior Prediction	Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence	141	14.10	4.85
Neff & Nagy	Automation, Algorithms, and Politics Talking to Bots: Symbiotic Agency and the Case of Tay	International Journal of Communication	140	14.00	4.82
McCullough vd.	High-throughput experimentation meets artificial intelligence: a new pathway to catalyst discovery	Physical Chemistry Chemical Physics	106	17.67	6.30
Kalinin vd.	Deep Learning in Pharmacogenomics: From Gene Regulation to Patient Stratification	Pharmacogenomics	103	12.88	5.46
Xu & Ouyang	The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021	IJ STEM Ed	102	25.50	7.85
Gamage vd.	A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning	IJ STEM Ed	102	25.50	7.85
Kim vd.	Effectiveness of Computer-Based Scaffolding in the Context of Problem-Based Learning for Stem Education: Bayesian Meta-analysis	Educ Psychol Rev	100	12.50	5.30

Bu tabloda, toplam atıf sayısı (TC), yıllık ortalama atıf (TC p Y) ve normalleştirilmiş atıf değeri (N.TC) dikkate alınarak sıralanan çalışmalar yer almaktadır. Tablo 3 incelendiğinde, Heffernan ve Heffernan (2014) çalışmasının 272 atıf ile en yüksek etkiye sahip çalışma olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, Sun ve arkadaşlarının (2019) çalışması yıllık ortalama atıf değeri bakımından öne çıkmaktadır.

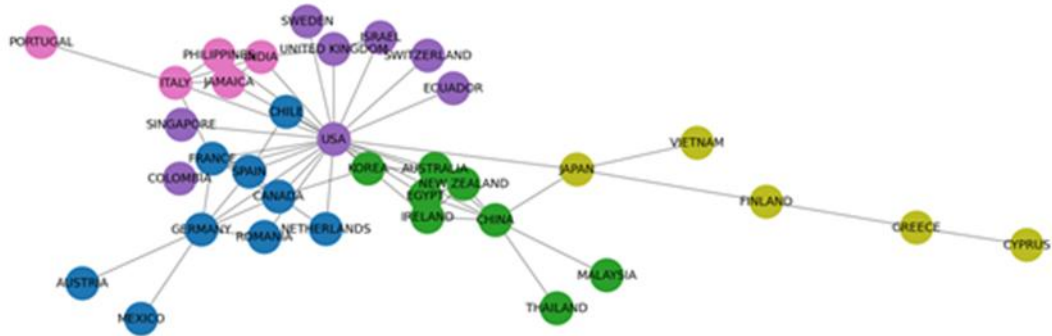
Ayrıca, Azevedo ve Gasevic'in öz-düzenleme süreçlerine odaklanan çalışması ile Belland ve arkadaşlarının STEM bağlamındaki bilgisayar destekli öğrenme üzerine yaptığı meta-analiz de yüksek atıf değerleri ile dikkat çekmektedir. Bu bulgular, literatürde öne çıkan çalışmaların çoğunlukla yapay zekâ destekli öğrenme sistemleri ve öğrenme süreçlerinin analizi üzerine yoğunlaştığını göstermektedir.

Kurumsal düzeyde yapılan analizler, STEM ve yapay zekâ alanındaki bilimsel üretimin belirli üniversitelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre North Carolina State University en yüksek yayın sayısına sahip kurum olarak öne çıkmaktadır. Bunu Carnegie Mellon University, Arizona State University ve University of Memphis gibi araştırma üniversiteleri takip etmektedir.

Ayrıca Çin ve Hong Kong merkezli üniversitelerin katkılarında artış gözlemlenmesi, alanın küresel ölçekte genişlediğine işaret etmektedir. Bu bulgular, bilimsel üretimin belirli merkezlerde yoğunlaşmakla birlikte uluslararası düzeyde yayılım gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Araştırma Sorusu 3: İş Birliği Ağları

Bu bölümde, STEM ve yapay zekâ literatüründe ülkeler arası akademik iş birliği yapıları incelenmiştir. Şekil 6'da sunulan ağ, 2006–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalar temel alınarak oluşturulmuştur.



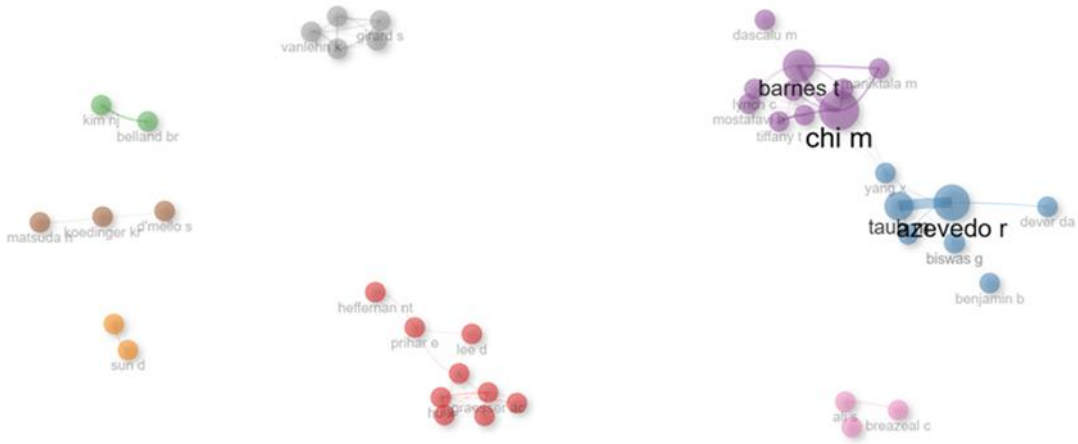
Şekil 6. 2006–2025 Arasında STEM ve YZ Literatüründe Ülkeler Arası Akademik İşbirliği Ağı

Şekil 6 incelendiğinde, ABD'nin ağda merkezi bir konumda yer aldığı ve çok sayıda ülke ile iş birliği yaptığı görülmektedir. ABD'nin Kanada, Çin, Birleşik Krallık, Almanya, Güney Kore ve Fransa ile yoğun iş birliği içinde olduğu dikkat çekmektedir.

Bunun yanı sıra Avustralya, Çin ve Almanya gibi ülkelerin kendi çevrelerinde bölgesel işbirlikleri oluşturduğu görülmektedir. Bu bulgu, STEM ve yapay zekâ alanındaki araştırmaların uluslararası iş birlikleri aracılığıyla geliştiğine işaret etmektedir.

Görselleştirme, Louvain algoritmasına dayalı modülerlik temelli kümeleme yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Louvain algoritması, büyük ölçekli ağlarda topluluk yapısını ortaya çıkarmak amacıyla modülerlik değerini maksimize eden ve düğümleri yoğun bağlantılarına göre kümeliendiren yaygın bir ağ analiz yöntemidir. Bu sayede, sık iş birliği yapan ülkeler aynı renkli kümelerde toplanarak tematik yakınlıkları ve bilimsel etkileşim yoğunlukları ortaya konmuştur. Yazarlar arası ortak yazarlık (co-authorship) ağı Şekil 7’de sunulmaktadır. Bu ağda düğümler yazarları, bağlantılar ise birlikte yayımlanan çalışmaları temsil etmektedir.

Şekil 7, araştırma alanındaki ortak yazarlık ağının yapısını ortaya koymaktadır.



Şekil 7. STEM ve YZ Literatüründe Yazarlar Arası Ortak Yazarlık Ağı (Co-Authorship)

Şekil 7 incelendiğinde, Barnes ve Chi’nin yoğun bağlantı yapılarıyla ağın merkezinde yer aldığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu yazarların literatürde yüksek iş birliği düzeyine sahip olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, merkeziyet ölçümleri incelendiğinde Heffernan’ın yüksek aradalık (betweenness) değeri ile farklı yazar grupları arasında köprü rolü üstlendiği görülmektedir. Bu durum, görsel merkezilik ile yapısal merkeziliğin farklı kavramlar olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Azevedo’nun farklı kümelerle bağlantı kurduğu ve literatürde tematik çeşitliliği temsil eden bir konumda yer aldığı görülmektedir.

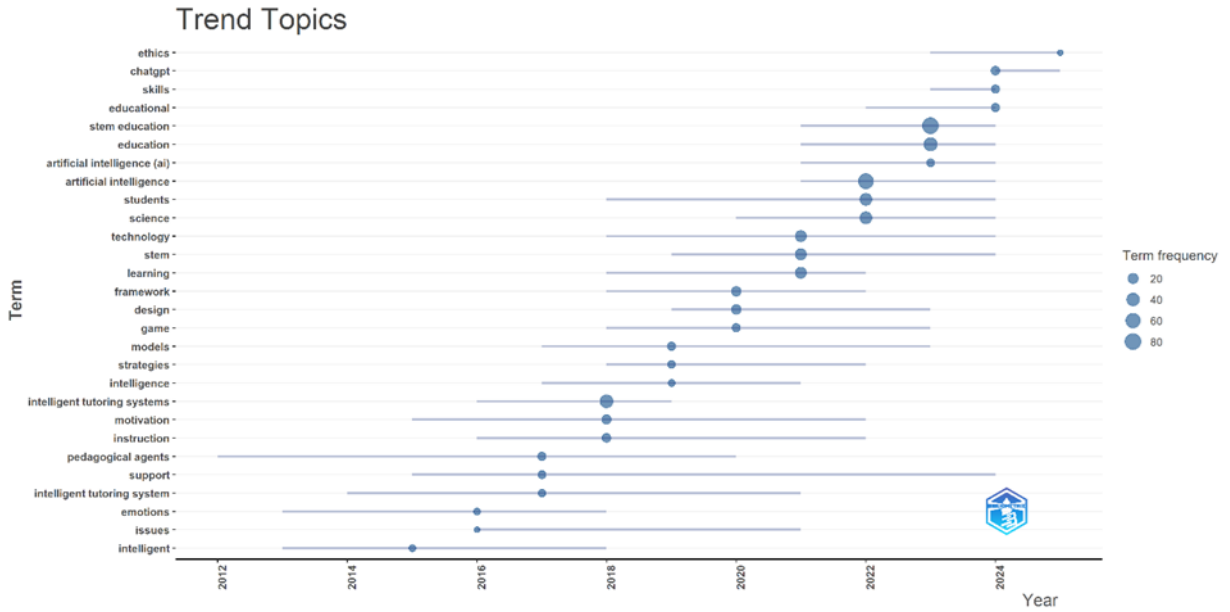
Araştırma Sorusu 4: Anahtar Kelimeler ve Tematik Yapı

Bu bölümde, STEM ve yapay zekâ literatüründe en sık kullanılan anahtar kelimeler ve bu kavramların son yirmi yıldaki tematik dönüşümü incelenmiştir. Kelime bulutu (Şekil 8) ve kavramsal eğilim grafikleri (Şekil 9), “intelligent tutoring systems” ve “computational thinking” gibi kavramların literatürde öne çıkan temalar arasında yer aldığını göstermektedir.

Tablo 4, STEM ve yapay zekâ alanındaki yayınlarda en sık kullanılan anahtar kelimeleri üç farklı bibliyometrik alan (yazar anahtar kelimeleri, Keywords Plus ve özetler) üzerinden karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

Şekil 8’de sunulan kelime bulutu, STEM ve yapay zekâ alanında en sık kullanılan anahtar kelimelerin frekans dağılımını görselleştirmektedir. Görselde daha büyük ve belirgin şekilde yer alan terimler, literatürde daha yüksek sıklıkta kullanılan kavramları temsil etmektedir. Kelime bulutu incelendiğinde “STEM education”, “artificial intelligence” ve “intelligent tutoring systems” gibi kavramların öne çıktığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu kavramların literatürde sıklıkla birlikte ele alındığını göstermektedir.

Şekil 9 yazar anahtar kelimelerine dayalı olarak hangi terimlerin ortaya çıktığını göstermekte, terimlerin popülerliğini vurgulayarak, konunun evrimine genel bir bakış sağlamaktadır.



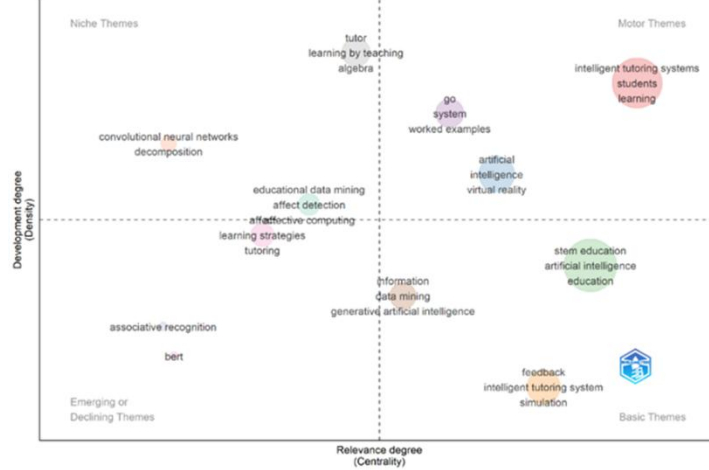
Şekil 9. Yazar Anahtar Kelimelerine Göre 2006–2025 Arasında Kavramsal Eğilimler

Şekil 9, 2006–2025 yılları arasında STEM ve yapay zekâ temalı çalışmalarda yazar anahtar kelimelerinin zaman içerisindeki değişimini göstermektedir. Grafik, belirli kavramların hangi dönemlerde öne çıktığını ve literatürdeki araştırma eğilimlerinin nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır. 2006–2014 döneminde “intelligent tutoring systems”, “machine learning”, “computer-based learning” ve “learning analytics” gibi kavramların literatürde yer almaya başladığı görülmektedir. Bu kavramlar, eğitimde teknoloji kullanımına yönelik erken dönem çalışmaları yansıtmaktadır.

2015–2019 döneminde “STEM education”, “artificial intelligence in education”, “educational technology” ve “robotics” gibi kavramların daha belirgin hale geldiği dikkat çekmektedir. Bu durum, yapay zekâ uygulamalarının eğitim ortamlarına entegrasyonunun arttığını göstermektedir. 2020–2025 döneminde ise “online learning”, “personalized learning”, “adaptive learning systems”, “augmented reality” ve “chatbot” gibi daha kullanıcı odaklı kavramların literatürde yer aldığı görülmektedir. Ayrıca “AI ethics” ve “equity” gibi kavramların da bu dönemde öne çıkması, teknolojik gelişmelerle birlikte etik ve toplumsal boyutların da araştırma gündemine dâhil edildiğini göstermektedir. Bu bulgular kavramsal eğilimlerin zaman içerisinde teknik odaklı yaklaşımlardan daha kullanıcı ve öğrenen merkezli yaklaşımlara doğru bir değişim gösterdiği söylenebilir.

Şekil 10’da sunulan tematik harita, anahtar kelimelerin merkezilik (centrality) ve yoğunluk (density) değerlerine göre dört farklı bölgede sınıflandırıldığı bir yapıyı göstermektedir. Bu harita,

literatürde öne çıkan tematik kümelerin konumlarını ve gelişmişlik düzeylerini ortaya koymaktadır.

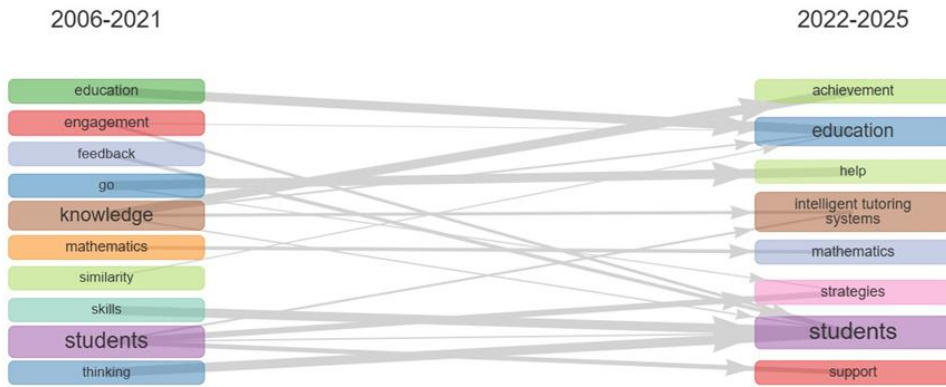


Şekil 10. Anahtar Kelime Temelli Tematik Yoğunluk ve Merkezilik Haritası

Şekil 10 incelendiğinde, anahtar kelimelere dayalı olarak oluşan tematik kümelerin farklı araştırma odaklarını temsil ettiği görülmektedir. Bu kümeler, STEM eğitimi, yapay zekâ uygulamaları, öğrenme analitiği ve kullanıcı odaklı yaklaşımlar gibi temel araştırma alanları etrafında yoğunlaşmaktadır.

Yeşil küme, STEM eğitimi ile yapay zekâ uygulamalarının bütünleştiği güncel çalışmaları temsil etmektedir. Kırmızı küme, akıllı öğretim sistemleri ve bilişsel modelleme gibi daha kuramsal temelleri içeren çalışmalardan oluşmaktadır. Turuncu küme, öğrenme analitiği ve veri temelli yaklaşımları kapsarken; mavi küme, insan-bilgisayar etkileşimi ve kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımlarını içermektedir. Ayrıca daha küçük ölçekli kümelerin artırılmış gerçeklik, etik, metaverse ve bilgisayarla görme gibi daha özgün ve gelişmekte olan araştırma alanlarını temsil ettiği görülmektedir. Bunun yanında tematik harita STEM ve yapay zekâ literatürünün hem kuramsal hem de uygulamaya dönük alanları kapsayan çok boyutlu bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Şekil 11’de 2006–2021 ve 2022–2025 dönemlerine ait tematik evrim haritası sunulmaktadır.



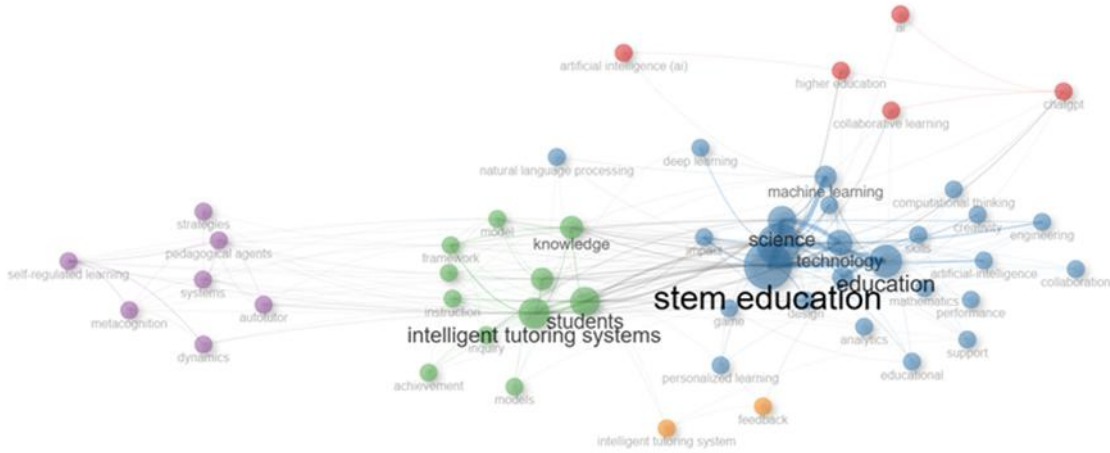
Şekil 11. 2006–2021 ve 2022–2025 Dönemlerine Ait Tematik Evrim Haritası

Şekil 11, 2006–2021 ve 2022–2025 yılları arasında STEM ve yapay zekâ literatüründe öne çıkan temaların zamansal olarak nasıl değiştiğini göstermektedir. Görselde yer alan temalar, belirli dönemlerde çalışmalarda öne çıkan anahtar kavramları temsil etmekte; oklarla gösterilen bağlantılar ise bu temaların zaman içerisindeki dönüşümünü yansıtmaktadır.

2006–2021 döneminde öne çıkan “students”, “education”, “knowledge” ve “skills” gibi temaların, 2022–2025 döneminde de varlıklarını sürdürdüğü görülmektedir. Bu durum, bazı kavramların literatürde süreklilik gösterdiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, önceki dönemde öne çıkan “feedback”, “engagement” ve “thinking” gibi temaların son dönemde daha az yer aldığı; buna karşılık “achievement”, “help”, “strategies” ve özellikle “intelligent tutoring systems” gibi kavramların daha belirgin hale geldiği görülmektedir.

Bu değişim, literatürde araştırma odağının genel öğretim süreçlerinden daha çok bireyselleştirilmiş öğrenme yaklaşımlarına ve yapay zekâ destekli sistemlere yöneldiğini göstermektedir. Tematik evrim analizi, STEM ve yapay zekâ literatüründe hem süreklilik gösteren hem de zamanla değişen araştırma eğilimlerinin birlikte bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 12, STEM ve yapay zekâ literatüründe yazarlar tarafından belirlenen anahtar kelimelere dayalı olarak oluşturulan eş-oluşum (co-occurrence) ağını göstermektedir. Bu ağda düğümler anahtar kelimeleri, bağlantılar ise bu terimlerin aynı çalışmalarda birlikte kullanılma sıklığını temsil etmektedir. Düğüm boyutları, anahtar kelimelerin toplam kullanım sıklığına göre ölçeklendirilmiştir.



Şekil 12. STEM ve YZ Literatüründeki Anahtar Kelimeler Arasındaki Eş-Oluşum İlişkileri

Şekil incelendiğinde, “STEM education” kavramının ağda merkezi bir konumda yer aldığı ve “science”, “technology” ve “education” gibi kavramlarla bağlantılar kurduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu kavramların literatürde birlikte ele alındığını göstermektedir. Bununla birlikte, “students”, “learning” ve “knowledge” gibi kavramların da ağda önemli bir yer tuttuğu, ancak bağlantı yoğunluklarının görsel olarak daha sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. “Artificial intelligence” ve “machine learning” gibi kavramların ise belirli alt kümeler içerisinde konumlandığı ve daha sınırlı sayıda kavramla ilişki kurduğu görülmektedir. Bu durum, bu kavramların literatürde daha spesifik araştırma bağlamlarında ele alındığı şeklinde yorumlanabilir.

Ayrıca “ChatGPT” gibi daha yeni kavramların ağı çevresinde yer alması, bu terimlerin literatüre gireceği yeni dâhil olduğunu ve henüz diğer kavramlarla güçlü bir bağlantı yapısı oluşturmadığını

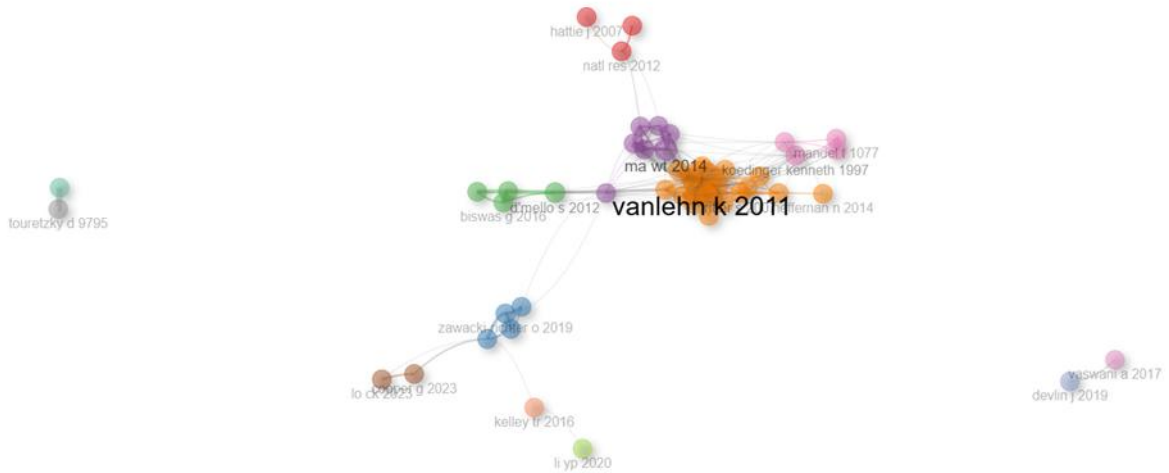
göstermektedir. Kümeleme analizi uygulanmamış olmakla birlikte, bağlantı yoğunluklarına dayalı görsel inceleme, literatürde STEM eğitimi, disiplinler bileşenler, öğrenme süreçleri ve yapay zekâ temelli yaklaşımlar olmak üzere farklı tematik odakların bulunduğunu düşündürmektedir.

Araştırma Sorusu 5: Kuramsal Yapı ve Ortak Atıf Analizi

VanLehn (2011) tarafından ortaya konulan akıllı öğretim sistemlerinin etkililiğine ilişkin bulgular ile Koedinger ve arkadaşlarının (1997) geliştirdiği bilişsel modelleme yaklaşımları, literatürde merkezi bir “köprü” işlevi görmektedir. Bilişsel modelleme, öğrencilerin problem çözme süreçlerini ve hata örüntülerini analiz ederek öğrenme sürecine ilişkin ayrıntılı bir temsil sunmaktadır. Bu temsil, akıllı öğretim sistemlerinin öğrenme ortamını bireyselleştirmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, bilişsel modelleme yaklaşımları bilişsel yük kuramı ile doğrudan eşdeğer olmayıp, öğrenme sürecinde ortaya çıkan bilişsel yükün düzenlenmesine katkı sağlayan bir araç olarak değerlendirilebilir. Nitekim akıllı öğretim sistemleri, öğrencinin mevcut bilişsel durumuna uygun geri bildirim ve yönlendirmeler sunarak gereksiz bilişsel yükü azaltmayı hedeflemektedir (Sweller, 1988). Ayrıca bu sistemler, öğrencinin aktif katılımını ve bilgi inşasını destekleyen yapılarıyla yapılandırmacı öğrenme ilkeleriyle de örtüşmektedir. Bu yönüyle yapay zekâ destekli STEM uygulamaları, yalnızca teknik araçlar değil, bilişsel süreçleri yöneten ve öğrenmeyi destekleyen pedagojik yapılar olarak değerlendirilebilir.

Atıf analizi, bilimsel belgeler, yazarlar veya yayınlar arasındaki entelektüel ilişkileri incelemek amacıyla kullanılan temel bibliyometrik yöntemlerden biridir (Small, 1973). Bu yöntem, bilimsel bilgi yapılarının haritalanmasına ve araştırma alanları arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasına olanak tanımaktadır (Brahimi & Haneya, 2023).

Bu çalışmada kullanılan birlikte atıf (co-citation) analizi, farklı çalışmaların literatürde birlikte referans verilme sıklığına dayalı olarak aralarındaki kuramsal ilişkileri belirlemeyi amaçlamaktadır (Small, 1973). Analiz süreci, Bibliometrix R paketi (Aria & Cuccurullo, 2017) ve ilgili bibliyometrik yöntemler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, araştırma alanındaki entelektüel kümelenmeleri ve tematik yakınlıkları ortaya koymada etkili bir araç olarak görülmektedir.



Şekil 13. STEM ve YZ Alanında Yazarlar Arası Ortak Atıf Ağı Görselleştirilmesi

kuramsal bir kabule zemin hazırlarken; asıl yayın patlamasının, bu teknolojik adaptasyonun ardından gelen yapay zekâ tabanlı kişiselleştirilmiş öğrenme araçlarındaki teknolojik sıçramayla (2022 sonu ve sonrası) ivme kazandığı görülmektedir. Bu dönemde fiziksel sınıfların yerini alan uzaktan eğitim modelleri, öğrenci performansının takibi ve öğrenme süreçlerinin desteklenmesi açısından dijital teknolojilere olan ihtiyacı artırmıştır. Bu kapsamda, özellikle veri analitiği ve makine öğrenmesi temelli sınırlı sayıdaki YZ uygulaması, eğitim süreçlerinde destekleyici araçlar olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu kullanım, henüz yaygın ve zorunlu bir dönüşümden ziyade, belirli bağlamlarda gelişen ve hız kazanan bir eğilim olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bu literatür artışı, yalnızca niceliksel bir birikimden öte, kriz dönemlerinde teknolojinin eğitime entegrasyonuna yönelik artan ilgi ve ihtiyacın bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Alan çok disiplinli ve çok merkezlidir. En üretken kurumlar arasında North Carolina State University, Carnegie Mellon University ve Arizona State University gibi yüksek profilli araştırma üniversiteleri öne çıkarken, ABD, Çin ve Almanya gibi ülkeler yayın üretiminde merkezî konumdadır. Anahtar kelime analizlerinde “STEM education”, “artificial intelligence”, “learning” ve “intelligent tutoring systems” gibi kavramlar öne çıkmaktadır. Bu terimler, araştırma sahasının pedagojik, teknolojik ve bireyselleştirilmiş öğrenme eksenlerinde şekillendiğini göstermektedir. Bibliyometrik ağ analizleri, literatürde güçlü entelektüel kümelenmeler olduğunu ortaya koymuştur. VanLehn (2011), D’Mello (2014), Graesser (2004) gibi yazarlar, bilgi akışı ve tematik yoğunluk açısından merkezi konumda yer almaktadır.

Tematik evrim analizi, son yıllarda “personalized learning”, “chatbot”, “AI ethics” ve “equity” gibi yeni kavramların literatürde önem kazandığını göstermektedir. Bu durum, teknolojik ilerlemelerle birlikte etik ve toplumsal sorumluluk boyutlarının da araştırma gündemine taşındığını göstermektedir. Bu sonuçlar, STEM ve YZ birleşiminin yalnızca teknik bir entegrasyon değil; pedagojik, etik ve sosyal boyutlarıyla da çok katmanlı bir gelişim süreci içinde olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın bulguları, STEM ve YZ kesişimindeki araştırmaların son yirmi yılda kazandığı ivmenin, salt bir yayın artışı olmadığını, eğitim teknolojileri literatüründeki araştırma odaklarının yapısal bir dönüşüm geçirdiğini göstermektedir. Özellikle son beş yılda bu alanın merkezi bir konuma yerleşmesi; Holmes (2019) ve Zawacki-Richter vd. (2019) gibi çalışmaların vurguladığı üzere, YZ’nin eğitimde yalnızca yardımcı bir araçtan ziyade sistematik bir dönüşümün katalizörü haline gelmesinden kaynaklanmaktadır. Yıllık yayın sayılarındaki %20.93’lük büyüme, pandeminin yarattığı dijital zorunluluğun ötesinde, büyük veri analitiği ve makine öğrenmesinin öğrenci performansını tahmin etme ve bireyselleştirilmiş öğrenme patikaları sunma noktasındaki başarısının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Bu artış, literatürün artık ‘teknolojinin imkânlarını’ tartışmaktan ziyade, bu teknolojilerin ‘pedagojik etkinliğini ve etik sınırlarını’ tasarlamaya odaklanan bir olgunluk evresine geçtiğini göstermektedir.

Anahtar kelime analizinde “artificial intelligence”, “learning”, “intelligent tutoring systems” ve “computational thinking” gibi kavramların öne çıkması, Ouyang vd. (2023) tarafından vurgulanan bireyselleştirilmiş öğrenme, otomatik geribildirim sistemleri ve algoritmik düşünme gibi pedagojik dönüşüm alanlarının STEM çerçevesinde yeniden şekillendiğini göstermektedir. 2020 sonrası dönemde “AI ethics”, “equity” ve “augmented reality” gibi sosyal, etik ve kapsayıcı yaklaşımların da literatürdeki yerini güçlendirmesi; alanın sadece teknik değil, aynı zamanda insani ve normatif yönleriyle de ele alındığını gözler önüne sermektedir.

Atıf ve ağ analizleri, STEM ve YZ entegrasyonuna ilişkin literatür birikiminin hâlâ belirli kuramsal merkezlerde yoğunlaştığını ortaya çıkarmaktadır. VanLehn (2011), D’Mello (2012, 2014) ve Azevedo (2007) gibi yazarların yüksek atıf değerleri ve merkeziyet katsayıları, bu

araştırmacıların çalışmalarının alanın temel kuramsal referansları haline geldiğini göstermektedir. Özellikle Graesser ve Koedinger gibi modern araştırmacıların, Vygotsky gibi klasik öğrenme kuramcılarıyla aynı ağ kümelerinde yer alması YZ tabanlı teknolojilerin 'etkileşimli' ve 'uyarlanabilir' doğasının temelini Vygotsky'nin 'Yakınsal Gelişim Alanı' (ZPD) gibi köklü psikolojik kavramlardan almasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla bu alan, salt bir mühendislik başarısı olmaktan ziyade; eğitim felsefesi, psikoloji ve bilişsel bilimlerin sunduğu kuramsal çerçeve ile YZ'nin işlem gücünün bir sentezi olarak evrilmektedir. Bu multidisipliner yapı, alanın neden bilişsel modelleme ve sosyal yapılandırmacı temeller üzerinde yükseldiğini açıklamaktadır.

Son olarak, uluslararası iş birliği ağlarında ABD'nin lider pozisyonunu koruması ve Çin, Almanya, Birleşik Krallık gibi ülkelerle kurduğu güçlü ilişkiler, STEM ve YZ araştırmalarının küresel bilgi üretiminde asimetrik bir dağılım gösterdiğini de ortaya koymaktadır. Bu dağılım, yüksek kaynaklı ülkelerin araştırma çıktılarında baskın olduğunu ve gelişmekte olan ülkelerin katkılarının daha sınırlı kaldığını göstermektedir (Donthu vd., 2021).

Öneriler

Bu çalışmanın bulguları doğrultusunda, gelecekteki araştırmalara, eğitim politikalarına ve uygulamalara yönelik çeşitli öneriler sunulabilir. Öncelikle, “explainable AI”, “generative AI” ve “AI in teacher education” gibi yükselen temalar üzerine odaklanan niteliksel ve sistematik araştırmaların artırılması önem arz etmektedir. Bibliyometrik analizle belirlenen kuramsal kaynakların, yeni çalışmalarda hem referans çerçevesi hem de eleştirel tartışma zemini olarak değerlendirilmesi, alanın kuramsal derinliğini güçlendirecektir.

Son olarak, alanda uluslararası araştırma iş birliklerinin artırılması ve özellikle gelişmekte olan ülkelerin bilimsel üretime daha fazla katılımının sağlanması açısından önem arz etmektedir. Bibliyometrik analizlerin ortaya koyduğu bilgi merkezleri ile daha az temsil edilen bölgeler arasında köprüler kurulmalı; ayrıca çekirdek dergilerde yayın yapmayı hedefleyen, açık erişim ve çok dilli yaygınlaştırma stratejileri geliştirilmelidir. Bu bütüncül yaklaşım, STEM ve YZ odaklı eğitim araştırmalarının hem akademik hem de toplumsal etki düzeyini artırmaya katkı sağlayabilir.

Sınırlılıklar

Bu çalışmanın sonuçları, kullanılan veri tabanı ve arama stratejisi bağlamında bazı sınırlılıklara sahiptir. İlk olarak, analiz sadece Web of Science (WoS) Core Collection verileriyle sınırlıdır. WoS, yüksek etki faktörlü ve prestijli yayınları barındırması nedeniyle tercih edilse de, Scopus veya Google Scholar gibi diğer veri tabanlarında yer alan potansiyel yayınlar bu çalışmanın kapsamı dışında kalmıştır. İkinci olarak, araştırma anahtar kelime temelli bir tarama dizgisine dayanmaktadır. Seçilen terimlerin (STEM, Artificial Intelligence vb.) dışında kalan veya bu terimleri başlık/özet kısmında barındırmayan ilgili yayınların veri setine dahil edilememiş olması bir kısıtlılık olarak değerlendirilebilir. Ancak, tarama dizgisinin 'Topic' alanını kapsamaması ve geniş bir zaman dilimini (2006-2025) hedeflemesi, alanın genel eğilimlerini yansıtmak açısından yeterli bir temsiliyet düzeyi sunmaktadır.

Kaynakça

- Akhmetova, A. I., Sovetkanova, D. M., Komekbayeva, L. K., Abdrakhmanov, A. E., Yessenuly, D., & Serikova, O. S. (2025). A systematic review of artificial intelligence in high school STEM education research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(4), em2623.
- Avan, Ç., & Açıkgöz, S. (2026). STEM and Artificial Intelligence: A Bibliometric Analysis of Integrated Approaches in Education (2006–2025). *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 42-67.

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Barkoczi, N., Maier, M. L., & Horvat-Marc, A. (2024). The impact of artificial intelligence on personalized learning in STEM education. In *INTED2024 proceedings* (pp. 4980–4989). IATED.
- Brahimi, T., & Haneya, H. (2023, January). Mapping the scientific landscape of metaverse using VOSviewer and bibliometrix. In *2023 20th Learning and Technology Conference (L&T)* (pp. 8–13). IEEE.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
- Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A., & Bilyatdinova, A. (2018). Artificial intelligence trends in education: A narrative overview. *Procedia Computer Science*, 136, 16–24.
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278.
- Dare, E. A., Keratithamkul, K., Hiwatig, B. M., & Li, F. (2021). Beyond content: The role of STEM disciplines, real-world problems, 21st century skills, and STEM careers within science teachers' conceptions of integrated STEM education. *Education Sciences*, 11(11), 737. <https://doi.org/10.3390/educsci11110737>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
- Hariyanto, Kristianingsih, F. X. D., & Maharani, R. (2025). Artificial intelligence in adaptive education: A systematic review of techniques for personalized learning. *Discover Education*, 4(1), 458. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6>
- Holmes, W. (2020). Artificial intelligence in education. In *Encyclopedia of education and information technologies* (pp. 88–103). Springer International Publishing.
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. A. (Eds.). (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press.
- Koedinger, K. R., Anderson, J. R., Hadley, W. H., & Mark, M. A. (1997). Intelligent tutoring goes to school in the big city. *International journal of artificial intelligence in education*, 8, 30–43.
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson.
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213–228.
- National Science Foundation. (2021). *Proposal and award policies and procedures guide NSF 22-1*. https://www.nsf.gov/pubs/policydocs/pappg22_1
- Ouyang, F., Dinh, T. A., & Xu, W. (2023). A systematic review of AI-driven educational assessment in STEM education. *Journal for STEM Education Research*, 6(3), 408–426.
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26, 582–599.

- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4), 265–269.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285.
- VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational psychologist*, 46(4), 197-221.
- Xu, Z., Frankwick, G. L., & Ramirez, E. (2016). Effects of big data analytics and traditional marketing analytics on new product success: A knowledge fusion perspective. *Journal of Business Research*, 69(5), 1562–1566.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1–27.
- Zou, X., Li, J., & Wang, Y. (2025). Digital transformation in education: The role of artificial intelligence and emerging technologies. *Frontiers in Education*, 10, Article 1562391. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1562391>

ETİK ve BİLİMSSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI

Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine riayet edildiğini yazar(lar) beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde OJOMSTE'nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk makale yazarlarına aittir.

ARAŞTIRMACILARIN MAKALEYE KATKI ORANI BEYANI

1. yazar katkı oranı : % 50
2. yazar katkı oranı : % 50

Effects of Virtual Laboratory Applications on Academic Achievement and Six-Month Retention of Learning in Fourth-Grade Science Education*

Enis ABDİUSTA^a, Ahmet ÜNAL^b

^aKastamonu Üniversitesi, Institute of Social Science, Kastamonu/Türkiye
e.abdiusta37@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6507-2286>

^aKastamonu University, Faculty of Education, Kastamonu/Türkiye
aunal@kastamonu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-8617-6602>

Received: April 24, 2026

Accepted: June 04, 2026

Keywords:

Science education,
virtual laboratory,
academic
achievement,
simulation-based
learning

Paper Type:

Research

Abstract

This study investigated the effects of virtual laboratory applications on fourth-grade students' academic achievement and learning retention in Science education. Utilizing a pre-experimental, single-group pretest–posttest design, instruction on the "Movements of the World" unit was delivered via the EBA portal and Mozaweb 3D simulation platform. The sample comprised 65 students from three public primary schools in Samsun, Turkey, selected through convenience sampling. Data were collected using a researcher-developed 10-item achievement test measuring knowledge, comprehension, and application. This instrument was administered as a pretest, an immediate posttest, and a six-month retention test—a notably longer delay than is typical in comparable literature. Statistical analyses revealed a significant improvement from pretest to posttest, demonstrating that virtual laboratory instruction successfully enhanced academic achievement. Furthermore, no significant decline was observed between the posttest and the six-month retention test, indicating highly durable learning. These findings demonstrate that simulation-based science instruction yields immediate and long-lasting educational benefits, providing valuable evidence for primary school contexts where research on virtual laboratories remains limited.

*This article was produced from the first author's master's thesis completed at Kastamonu University, Institute of Social Sciences, under the supervision of the second author.

Introduction

Science education aims to develop students' capacity to observe, question, and systematically analyze the natural world, while cultivating the scientific process skills and problem-solving abilities required for twenty-first century citizenship (Çepni et al., 2005; Duban, 2008). Alongside this pedagogical imperative, the increasing digitalization of education has generated both new opportunities and new research questions about how best to harness technology in service of meaningful science learning (Zacharia et al., 2008; de Jong et al., 2013).

One of the most significant developments in this landscape is the emergence and proliferation of virtual laboratory environments. Virtual laboratories are interactive, technology-mediated learning environments that allow students to conduct experimental simulations without the physical, financial, or safety constraints of traditional laboratory settings (Ünlü, 2019; Brinson, 2015). Interest in virtual laboratories has grown substantially since the COVID-19 pandemic compelled widespread adoption of remote and hybrid learning modalities, making their pedagogical effectiveness an increasingly urgent empirical question (Bostan Sarioğlu et al., 2020; Kavlak ve Birhanlı, 2023).

A substantial body of research — predominantly conducted at the middle and secondary school levels — suggests that virtual laboratory applications may match traditional laboratory instruction in promoting conceptual understanding, scientific inquiry skills, and positive attitudes toward science (Kapıcı et al., 2019; Zacharia ve Olympiou, 2011; Tüysüz, 2010). Studies in the Turkish educational context have similarly found that virtual laboratories, particularly those accessed through the EBA national platform, promote achievement and engagement in science subjects (Ünal ve Şeker, 2020; Demir, 2018; Şimşek, 2017). However, systematic investigations of virtual laboratory effectiveness at the primary school level — where the conceptual foundations of science are first established — remain limited in the international literature (Akbulut, 2024; Baş, 2022; Ekici, 2015). This gap is noteworthy given that primary school students encounter abstract spatial and astronomical phenomena, such as Earth's rotational and orbital movements, that are difficult to visualize through static textbook representations alone.

The present study was designed to address this gap. Grounded in constructivist learning theory and informed by cognitive load theory, it examined whether virtual laboratory instruction using the Mozaweb simulation platform, integrated within a structured lesson sequence aligned with the Turkish Ministry of National Education (MoNE) fourth-grade Science curriculum, would produce significant gains in academic achievement and long-term retention of learning. A distinctive feature of the study is its use of a six-month retention test, an interval substantially longer than the two-to-four-week delays typical in comparable studies, enabling a more robust assessment of the durability of learning gains.

Constructivism

This study draws on two theoretical frameworks: constructivism and cognitive load theory. The constructivist framework is used to explain the academic achievement gains observed from pretest to posttest, as students actively constructed knowledge through simulation-based inquiry. From a constructivist perspective, meaningful learning occurs when learners actively engage with phenomena, manipulate variables, and construct knowledge through exploration and discovery rather than passive reception of transmitted information (Vygotsky, 1978; Piaget, 1964). Virtual laboratories operationalize these principles by enabling students to interact with simulated environments, observe cause-and-effect relationships in real time, and revise their understanding iteratively through trial and error (Karagöz Mırçık, 2018; Ünal Koç, 2019). In the context of the Movements of the World unit, the Mozaweb simulation allowed students to directly manipulate

Abdiusta, E., & Ünal, A. (2026). Effects of Virtual Laboratory Applications on Academic Achievement and Six-Month Retention of Learning in Fourth-Grade Science Education. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 68-80.

Earth's position relative to the Sun and observe the consequences for day-night cycles and seasonal variation, a form of concrete, vicarious experience not achievable through textbook or teacher-led instruction alone.

Cognitive Load Theory

Cognitive load theory (Sweller, 1988; Paas et al., 2003) is used to explain the six-month retention findings, as reduced extraneous load during instruction is expected to produce more durable mental representations. When abstract spatial concepts such as axial rotation and orbital revolution are represented through dynamic, interactive three-dimensional visualizations, extraneous cognitive load, the processing burden imposed by inadequate instructional representations, is reduced. Students can allocate more of their limited working memory capacity to germane processing: building integrated mental models of Earth's movements and their consequences. These richer, more elaborated representations are less susceptible to forgetting, which may explain why the learning gains observed in this study were maintained over a six-month interval.

Research Questions

The study addressed the following research questions:

- RQ1. Do virtual laboratory applications in the Movements of the World unit produce a statistically significant improvement in fourth-grade students' academic achievement?
- RQ2. Do the learning gains produced by virtual laboratory applications persist over a six-month retention interval?

Method

This study employed a pre-experimental, single-group pretest–posttest design (Campbell ve Stanley, 1963). Because the research was conducted in naturalistic school settings, random assignment to experimental and control conditions was not feasible. The design was chosen to balance practical accessibility of data collection with the opportunity to document change in the same participants across three measurement points spanning six months. The independent variable was the virtual laboratory-enhanced science instruction; the dependent variables were academic achievement (pretest–posttest comparison) and learning retention (posttest–retention test comparison). The primary limitations inherent in this design, notably the absence of a control group, are acknowledged explicitly in Section 6 (Limitations).

Participants

The study group consisted of 65 fourth-grade students (31 girls, 34 boys; mean age approximately 9–10 years) enrolled in three public primary schools in the Yakakent district of Samsun province, Turkey, during the 2023–2024 academic year. Participants were selected through convenience sampling based on the researcher's institutional access and prior ethics approval. Convenience sampling precludes claims of population representativeness; however, the comparability of the three school samples was empirically verified through a pretest ANOVA (see Section 3.1).

Table 1. Demographic Distribution of Participants Across Schools

School	Girls (n)	Boys (n)	Total (n)	% of Sample
School 1	18	15	33	50.8%
School 2	11	13	24	36.9%
School 3	2	6	8	12.3%
Total	31	34	65	100%

Measurement Instrument

The Movements of the World Unit Achievement Test was developed specifically for this study. The development process comprised five stages: (a) specification of learning outcomes, (b) item generation guided by a content validity table (Table 2), (c) expert review, (d) pilot administration, and (e) item analysis.

Table 2. Content Validity Table (Test Blueprint) — Movements of the World Unit

Learning Outcome	Bloom Level	Item Type	Item Numbers
Distinguishing Earth's rotation from revolution	Knowledge / Comprehension	Fill-in-the-blank	1, 2
Explaining formation of day and night	Comprehension / Application	Multiple choice	3, 4, 5
Explaining formation of seasons	Comprehension / Application	Multiple choice	6, 7
Identifying real-world consequences of Earth's movements	Application	Multiple choice / Fill-in-the-blank	8, 9, 10

The initial item pool contained 14 questions. Following expert review by two science education specialists and one classroom teacher — who evaluated items for content relevance, cognitive level appropriateness, and language clarity — two items were revised based on feedback. The revised 14-item test was then piloted with 71 fourth-grade students from the previous academic year. Item discrimination indices (D) were calculated for all items; four items yielding $D \leq .19$ were eliminated, resulting in a final 10-item test (five multiple-choice, five fill-in-the-blank). The Cronbach's Alpha internal consistency coefficient for the final test was .727, indicating acceptable reliability. Correct responses were scored as 1 and incorrect or blank responses as 0, yielding total scores on a 0–10 scale.

Instructional Procedure

All instructional activities were delivered by the researcher over nine 40-minute lessons, covering two MoNE curriculum outcomes: (F.4.1.2.1) distinguishing between Earth's rotation and revolution; and (F.4.1.2.2) explaining phenomena resulting from Earth's movements (day-night cycles, seasons).

The instructional sequence proceeded in three phases. In Phase 1 (Lessons 1–3), the MoNE-approved textbook provided the conceptual foundation, supported by teacher-led discussion and

Abdiusta, E., & Ünal, A. (2026). Effects of Virtual Laboratory Applications on Academic Achievement and Six-Month Retention of Learning in Fourth-Grade Science Education. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 68–80.

a riddle-based motivational opener. In Phase 2 (Lessons 4–6), content was deepened through the EBA (Education Information Network) portal, Turkey's national e-learning platform, which offered animated lesson explanations, interactive activities, and visual materials aligned with curriculum outcomes. In Phase 3 (Lessons 7–9), virtual laboratory activities were implemented using Mozaweb (www.mozaweb.com/tr), a three-dimensional simulation platform. Students individually manipulated Earth's axial position in the simulation environment, observed day-night formation as the planet rotated, and explored seasonal change across Earth's orbital revolution. They were encouraged to repeat the simulations as many times as necessary to confirm their understanding. Following the researcher-led sessions, the classroom teacher continued with the Mozaweb applications for an additional two weeks (six class hours) in accordance with the annual instructional plan. At the conclusion of instruction, the Mozaweb URL was shared with students so they could independently revisit the simulations at home.

Data Collection and Analysis

The achievement test was administered at three time points: (1) as a pretest before instruction, administered by classroom teachers, to establish baseline knowledge; (2) as a posttest immediately following the nine-lesson instructional sequence; and (3) as a retention test six months after the completion of instruction.

Normality was assessed by examining skewness and kurtosis values for each distribution. All three fell within the ± 1 range considered acceptable for parametric testing (Hair et al., 2013): pretest (skewness = -0.26 , kurtosis = -0.74), posttest (skewness = -0.83 , kurtosis = $+0.71$), and retention test (skewness = -0.40 , kurtosis = -0.45). Paired-samples t-tests were used to compare pretest with posttest scores (Research Question 1), and posttest with retention test scores (Research Question 2). A one-way ANOVA was conducted to verify the pre-instructional equivalence of the three school samples. All analyses were performed at $\alpha = .05$ using SPSS 26.

Results

Pre-Instructional Equivalence of School Samples

Prior to instruction, the overall pretest mean was $M = 6.41$ ($SD = 1.96$), with scores ranging from 2 to 10 (10-point scale). School-level means were 6.84 (School 1), 5.79 (School 2), and 6.50 (School 3). A one-way ANOVA confirmed that these between-school differences did not reach statistical significance ($F(2, 62) = 2.099$, $p = .131$), supporting the assumption that the three sub-samples entered instruction with comparable prior knowledge and validating their treatment as a unified study group.

Table 3. Pretest Descriptive Statistics and Between-School ANOVA

School	n	Min	Max	M	SD
School 1	33	2	10	6.84	1.91
School 2	24	2	10	5.79	2.19
School 3	8	5	8	6.50	1.19
Total	65	2	10	6.41	1.96

Effect on Academic Achievement (RQ1)

Following the virtual laboratory-enhanced instructional unit, the mean posttest score rose to $M = 8.25$ ($SD = 1.33$), with scores ranging from 4 to 10. This represents a raw gain of 1.84 points on the 10-point scale. Gender-disaggregated means were nearly identical (Boys: $M = 8.23$; Girls: $M = 8.25$), indicating no differential effect by gender. School-level posttest means were 8.51 (School 1), 7.91 (School 2), and 8.12 (School 3). A paired-samples t -test revealed a statistically significant improvement from pretest to posttest ($t(64) = -9.42$, $p < .001$), providing a clear positive answer to Research Question 1 (see Table 4).

Table 4. Paired-Samples t -Test: Pretest vs. Posttest

Comparison	n	M (Pre)	M (Post)	Mean Diff.	t	df	p
Pretest → Posttest	65	6.42	8.25	+1.83	-9.42	64	< .001

Effect on Long-Term Retention (RQ2)

Six months after instruction concluded, the same 65 students completed the retention test. This six-month interval is substantially longer than those reported in comparable research. The mean retention test score was $M = 8.11$ ($SD = 1.48$), with scores ranging from 4 to 10. The retention mean represents only a 0.14-point decline from the posttest mean of 8.25, well within the margin of measurement error. School-level retention means were 8.30 (School 1), 8.08 (School 2), and 7.37 (School 3). A paired-samples t -test comparing posttest with retention test scores found no statistically significant difference ($t(64) = 0.90$, $p = .37$), directly answering Research Question 2 in the affirmative: learning gains were preserved over the six-month interval (see Tables 5 and 6).

Table 5. Paired-Samples t -Test: Posttest vs. Six-Month Retention Test

Comparison	n	M (Post)	M (Ret.)	Mean Diff.	t	df	p
Posttest → Retention Test	65	8.25	8.11	-0.14	0.90	64	.370

Table 6. Summary of Score Trajectories Across All Three Measurement Points

Test Phase	n	M	SD	Min	Max
Pretest (T1)	65	6.41	1.96	2	10
Posttest (T2)	65	8.25	1.33	4	10
Retention Test (T3 — 6 months)	65	8.11	1.48	4	10

Discussion

Achievement Gains: A Cognitive Load Perspective

The statistically significant pretest-to-posttest improvement ($t = -9.42$, $p < .001$; $\Delta M = +1.83$ points) is consistent with a broad and growing literature demonstrating that simulation-based science instruction can enhance student achievement across grade levels and subject domains (de Jong et al., 2013; Brinson, 2015; Trundle ve Bell, 2010). Several studies conducted in the Turkish primary and secondary science context report comparable findings: Ünal and Şeker (2020) found virtual laboratory users outperformed traditionally taught peers in a fifth-grade electricity unit; Demir (2018) reported achievement gains in sixth-grade Force and Motion instruction; and Şimşek (2017) observed superior performance and greater lesson enjoyment among fifth-grade students using EBA and PhET simulations. A recent meta-analysis of 15 Turkish graduate theses similarly confirmed that virtual laboratory use in science education produces large positive effects on academic achievement (Ünal, İ., 2025).

The three-dimensional Mozaweb simulations likely reduced the extraneous cognitive load that arises when students attempt to mentally reconstruct spatial astronomical phenomena, such as Earth's axial tilt and seasonal variation, from flat, static textbook diagrams (Sweller, 1988; Paas et al., 2003). By offloading this representational burden onto the simulation, students could devote more working memory resources to germane processing: constructing integrated mental models of Earth's rotation and revolution and their observable consequences. This aligns with Mayer's (2009) Cognitive Theory of Multimedia Learning, which predicts that combining dynamic visualizations with interactive engagement produces deeper conceptual understanding than text or static imagery alone.

Achievement Gains: A Constructivist Perspective

The virtual laboratory also created a condition of active inquiry that is rarely achievable in traditional primary school science instruction (Vygotsky, 1978; Piaget, 1964). Students could directly test causal hypotheses, for example, positioning Earth at different orbital points to observe which hemisphere is tilted toward the Sun, and immediately observe the consequences, enacting the observe-hypothesize-test-revise cycle that defines scientific reasoning (Zacharia ve Olympiou, 2011). The ability to repeat simulations at will, at individual pace, and without resource constraints further supports differentiated learning (İçel et al., 2007; Ekici, 2015).

Not all research, however, finds virtual laboratories to be superior to traditional instruction. Aydın (2018) found no significant achievement gap between virtual and traditional laboratory conditions for an acid-base unit in secondary science, and Pınar and Akgül (2021) reported comparable motivation and attitude profiles across both laboratory modes among seventh-grade students. These mixed findings likely reflect heterogeneity in grade level, topic complexity, specific platform features, and implementation fidelity. The present study's topic — three-dimensional astronomical motion — may be particularly well suited to virtual simulation precisely because the phenomena involved are spatially complex, unobservable in the physical classroom, and difficult to represent through non-dynamic media (Trundle ve Bell, 2010).

Why Were Gains Retained Over Six Months?

The near-zero decline from posttest ($M = 8.25$) to six-month retention test ($M = 8.11$), a statistically non-significant difference ($t = 0.90$, $p = .37$), is the most notable finding of this study. Most comparable research employs retention intervals of two to four weeks (Duman ve Avcı,

Abdiusta, E., & Ünal, A. (2026). Effects of Virtual Laboratory Applications on Academic Achievement and Six-Month Retention of Learning in Fourth-Grade Science Education. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 68-80.

2016; Chen et al., 2008; Küçük, 2014); the six-month interval used here provides a more stringent test of learning durability.

Several mechanisms may account for this persistence. The most plausible explanation lies in cognitive load theory: deeply elaborated mental models, built through interactive and multi-representational engagement, are more resistant to forgetting than surface-level declarative knowledge acquired through passive exposure (Sweller, 1988; Mayer, 2009). The spatial-causal understanding of Earth's movements that students developed through Mozaweb is a qualitatively different form of knowledge from the fact-level recall that typically decays rapidly. Two additional factors may have contributed, though neither was systematically measured. First, the astronomical phenomena studied, day and night cycles and seasonal change, recur in everyday life across the six-month interval, providing natural retrieval opportunities that may reinforce memory traces (Cepeda et al., 2006). Second, students received access to the Mozaweb URL for independent use after formal instruction. Duman and Avcı (2016) and Chen et al. (2008) similarly reported superior retention for virtual laboratory conditions, and the present study extends their conclusions to a primary school population and a more extended follow-up period.

Gender and School-Level Considerations

Gender comparisons across all three test administrations revealed virtually no difference in performance (pretest gap: 0.06 points; posttest gap: 0.02 points; retention gap: 0.53 points, with girls scoring slightly higher). This absence of gender effects is consistent with the broader literature on technology-enhanced science learning (Pinar ve Akgül, 2021) and suggests that virtual laboratory applications are equally accessible and engaging for boys and girls at the primary school level.

School-level pretest differences were not statistically significant ($F = 2.099$, $p = .131$), and all three schools demonstrated substantial posttest improvements, confirming that the intervention produced consistent achievement gains across different school contexts. The wider school-level variation observed at the retention test (range: 7.37–8.30) may reflect differences in how frequently classroom teachers continued to use the Mozaweb application after the researcher's sessions concluded — a variable that was not systematically monitored and that warrants attention in future research.

Conclusions and Practical Implications

This pre-experimental study provides evidence that virtual laboratory instruction using the EBA portal and Mozaweb simulation platform significantly improved fourth-grade students' achievement in the Movements of the World science unit, and that these gains were maintained at a comparable level six months later. These findings are consistent with the constructivist and cognitive load theoretical frameworks described in Section 1.1, and extend the virtual laboratory literature to the primary school level, a context in which such evidence was previously limited.

For classroom teachers, the results suggest that virtual laboratory applications — particularly freely accessible, curriculum-aligned platforms such as EBA — represent a practical and pedagogically effective strategy for teaching abstract astronomical concepts at the primary school level, even in resource-constrained settings. Teachers are encouraged to integrate simulation-based activities not merely as supplementary enrichment but as a core instructional phase, supported by deliberate sequencing from textbook-based concept introduction through interactive virtual exploration.

For school administrators and curriculum designers, the findings support investment in digital infrastructure and in providing teachers with training in virtual laboratory implementation. Incorporating virtual laboratory learning outcomes directly into annual instructional plans, and ensuring that adequate computer or tablet access is available, would facilitate wider adoption. The Ministry of National Education could extend the FATİH Project's scope to include the systematic pre-loading of vetted virtual laboratory applications onto school smart boards, removing access barriers for students in underserved communities.

The six-month retention finding warrants attention from school leaders: these findings may inform decisions about allocating limited technology resources toward simulation-based instruction.

Limitations and Future Directions

Several important limitations must be acknowledged when interpreting these findings. Most fundamentally, the results should be interpreted with caution due to the absence of a control group in the pre-experimental design, which means the observed achievement gains cannot be directly attributed to the virtual laboratory intervention. Alternative explanations cannot be ruled out: natural cognitive maturation, the instructional quality of the classroom teachers who continued the unit, increased general familiarity with the topic through everyday experience, or the motivational novelty of technology use (the so-called 'Hawthorne effect') could all have contributed to posttest gains independent of the specific affordances of virtual laboratory simulation.

A second limitation concerns sample size and generalizability. Sixty-five students from three schools in a single rural district of Turkey constitute a relatively restricted and potentially non-representative sample. Differences in school context, teacher quality, and family socioeconomic background were not systematically controlled for, and findings cannot be generalized to other populations, grade levels, or science topics without further empirical verification.

Third, the measurement instrument — a 10-item achievement test — offers only a narrow operational definition of learning. The test did not assess higher-order outcomes such as scientific reasoning, transfer of learning to novel contexts, or attitudes toward science, all of which may be differentially affected by virtual laboratory instruction. The absence of a Cronbach's Alpha above .80 also indicates that further test development would be beneficial.

Fourth, independent use of the Mozaweb application by students after formal instruction was encouraged but not systematically monitored, meaning it is unclear to what extent self-directed post-instructional practice contributed to the retention findings. Future studies should track out-of-school engagement with virtual laboratory platforms to disentangle instructional and self-practice effects on retention.

Future research should address these limitations by employing true experimental or quasi-experimental designs with randomized assignment or matched control groups; recruiting larger and more diverse samples across multiple districts and provinces; incorporating mixed-method data (e.g., interviews, observation) to understand students' cognitive and motivational experiences during virtual laboratory engagement; and examining the comparative long-term effectiveness of virtual versus traditional laboratory instruction within the same units. Longitudinal studies tracking cohorts across multiple science topics and academic years would provide the most definitive evidence regarding the conditions under which virtual laboratory instruction maximizes both achievement and retention at the primary school level.

References

- Aydın, Ş. Z. N. (2018). *Fen bilgisi dersi öğretiminde sanal laboratuvar uygulamasının kullanılması ve değerlendirilmesi [Use and evaluation of virtual laboratory applications in science education]* (Unpublished master's thesis). İstanbul University, Turkey.
- Akbulut, H. İ. (2024). Türkiye’de eğitim alanında sanal laboratuvar ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin içerik analizi: 2003-2023 [Content analysis of postgraduate theses on virtual laboratories in the field of education in Turkey: 2003-2023]. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, 61, 2017–2039. <https://doi.org/10.53444/deubefd.1410659>
- Baş, K. (2022). *Fen eğitiminde sanal laboratuvar uygulamalarının öğrencilerin akademik başarılarına ve fen tutumlarına etkisi [Effects of virtual laboratory applications on academic achievement and science attitudes]* (Unpublished master's thesis). Akdeniz University, Turkey.
- Bostan Sarioğlu, A., Altaş, R., ve Şen, R. (2020). Uzaktan eğitim sürecinde fen bilimleri dersinde deney yapmaya ilişkin öğretmen görüşlerinin araştırılması [Teacher views on conducting experiments in science education during distance learning]. *Milli Eğitim Dergisi*, 49(1), 371–394.
- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers ve Education*, 87, 218–237. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003>
- Campbell, D. T., ve Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Rand McNally.
- Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., ve Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychological Bulletin*, 132(3), 354–380. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.354>
- Chen, Y. C. (2008). Learning effects of virtual laboratory on conceptual knowledge and attitudes toward science. *Journal of Educational Technology ve Society*, 11(4), 120–136.
- Çepni, S., Akdeniz, A. R., Ayas, A., Özmen, H., Yiğit, N., ve Ayvacı, H. Ş. (2005). *Kuramdan uygulamaya fen ve teknoloji öğretimi [Science and technology teaching from theory to practice]*. Pagema Yayıncılık.
- de Jong, T., Linn, M. C., ve Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Demir, A. (2018). Endüstri 4.0'dan eğitim 4.0'a değişen eğitim–öğretim paradigmaları [Changing educational paradigms from Industry 4.0 to Education 4.0]. *Electronic Turkish Studies*, 13(15), 147–171.
- Abdiusta, E., & Ünal, A. (2026). Effects of Virtual Laboratory Applications on Academic Achievement and Six-Month Retention of Learning in Fourth-Grade Science Education. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 68–80.

- Dönel Akgül, G., Geçikli, E., Konan, F., ve Konan, E. (2018). Fen eğitiminde sanal laboratuvar kullanımı hakkında öğretmen adaylarının görüşleri [Preservice teachers' views on virtual laboratory use in science education]. *Kesit Akademi Dergisi*, 14, 61–74.
- Duban, N. (2008). *İlköğretim fen ve teknoloji dersinin sorgulamaya dayalı öğrenme yaklaşımına göre işlenmesi: Bir eylem araştırması [Inquiry-based learning in primary school science: An action research study]* (Unpublished doctoral dissertation). Anadolu University, Turkey.
- Duman, M. Ş., ve Avcı, G. (2016). Sanal laboratuvar uygulamalarının öğrenci başarısına ve öğrenilenlerin kalıcılığına etkisi [Effects of virtual laboratory applications on student achievement and retention]. *Erzincan University Journal of Education Faculty*, 18(1), 13–33.
- Ekici, M. (2015). *Fen bilimleri öğretmenlerinin sanal laboratuvar hakkındaki görüşleri ve bu yöntemden faydalanma düzeyleri [Science teachers' views on virtual laboratories and frequency of use]* (Unpublished master's thesis). Adıyaman University, Turkey.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., ve Anderson, R. E. (2013). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Pearson.
- İçelli, O., Polat, R., ve Sülün, A. (2007). *Fen bilgisi laboratuvar uygulamalarında yaratıcı proje desenleri [Creative project designs in science laboratory applications]*. Maya Akademi.
- Kapici, H. O., Akcay, H., ve de Jong, T. (2019). Using hands-on and virtual laboratories alone or together — which works better for acquiring knowledge and skills? *Journal of Science Education and Technology*, 28(3), 231–250. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9762-0>
- Kavlak, E. E., ve Birhanlı, A. (2023). Fen bilimleri öğretmenlerinin COVID-19 uzaktan eğitim sürecinde sanal laboratuvar uygulamaları hakkındaki görüşlerinin incelenmesi [Examining science teachers' views on virtual laboratory applications during COVID-19 distance education]. *International Anatolia Academic Online Journal Social Sciences Journal*, 9(2), 26–36.
- Karagöz Mırçık, Ö. (2018). *Basit elektrik devreleri konusu ile ilgili kavramların öğretiminde sanal laboratuvar destekli 7E öğretim modelinin öğrencilerin zihinsel modelleri üzerindeki etkileri [Effects of the virtual laboratory-supported 7E model on mental models in electric circuits]* (Unpublished doctoral dissertation). Karadeniz Technical University, Turkey.
- Küçük, T. (2014). *Işık ünitesinde simülasyon yönteminin kullanılmasının öğrencilerin fen başarısına ve fen tutumlarına etkisi [The effect of simulation use in the light unit on science achievement and attitudes]* (Unpublished master's thesis). Çanakkale Onsekiz Mart University, Turkey.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Abdiusta, E., & Ünal, A. (2026). Effects of Virtual Laboratory Applications on Academic Achievement and Six-Month Retention of Learning in Fourth-Grade Science Education. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education (OJOMSTE)*, 7(1), 68–80.

- Paas, F., Renkl, A., ve Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1
- Piaget, J. (1964). Cognitive development in children: Development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(3), 176–186.
- Pınar, M. A., ve Akgül, G. D. (2021). Sanal ve geleneksel laboratuvar uygulamalarının 7. sınıf öğrencilerinin kuvvet ve enerji ünitesiyle ilgili ders tutum ve motivasyonlarına etkisinin karşılaştırılması [Comparison of virtual and traditional laboratory effects on attitude and motivation]. *Akdeniz University Journal of Education Faculty*, 4(2), 13–25.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Şimşek, F. (2017). Fen bilimleri dersinde animasyon ve simülasyon kullanımının öğrencilerin akademik başarıları ve bilgilerin kalıcılığı üzerine etkisi [Effects of animation and simulation use on academic achievement and retention in science]. *International Journal of Educational Science and Technology*, 3(3), 112–124.
- Taşkın, Ö. (2008). *Fen ve teknoloji öğretiminde yeni yaklaşımlar [New approaches in science and technology education]*. Pegem Akademi.
- Trundle, K. C., ve Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers ve Education*, 54(4), 1078–1088. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.10.012>
- Tüysüz, C. (2010). The effect of the virtual laboratory on students' achievement and attitude in chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1), 37–53.
- Ünal, R., ve Şeker, R. (2020). Sanal laboratuvar uygulamalarının öğrenci akademik başarıları üzerine etkisinin incelenmesi: Elektrik ünitesi [Examining the effect of virtual laboratory applications on student achievement: The electricity unit]. *Kırşehir Journal of Education Faculty*, 21(1), 504–543.
- Ünal, İ. (2025). Fen eğitiminde sanal laboratuvar kullanımının öğrencilerin akademik başarılarına etkisi: Meta-analiz çalışması [The effect of virtual laboratory use on students' academic achievement in science education: A meta-analysis]. *Uluslararası Eğitim Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(1), 66–86.
- Ünal Koç, İ. (2019). *Sanal ve gerçek laboratuvar uygulamalarının, 5. sınıf fen dersi elektrik ünitesi öğretiminde öğrencilerin akademik başarıları üzerine etkisinin incelenmesi [Effects of virtual and real laboratories on achievement in 5th grade electricity]* (Unpublished master's thesis). Necmettin Erbakan University, Turkey.

- Ünlü, E. (2019). *Ortaokul fen bilimleri öğretmenlerin sanal laboratuvar kullanımının fen öğretiminde uygulanabilirliği hakkındaki görüşleri [Middle school science teachers' views on the applicability of virtual laboratories in science instruction]* (Unpublished master's thesis). Mersin University, Turkey.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Zacharia, Z. C., ve Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3), 317–331. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2010.03.001>
- Zacharia, Z. C., Loizou, E., ve Papaevripidou, M. (2012). Is physicality an important aspect of learning through science experimentation among kindergarten students? *Early Childhood Research Quarterly*, 27(3), 447–457.

ETİK ve BİLİMSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI

Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine riayet edildiğini yazar(lar) beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde OJOMSTE'nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk makale yazarlarına aittir. Yazarlar etik kurul izni gerektiren çalışmalarda, izinle ilgili bilgileri aşağıda belirtmişlerdir.

Kurul adı: Kastamonu Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırmalar ve Yayın Etiği Kurulu

Tarih: 7.12.2023 No: 13/40

ARAŞTIRMACILARIN MAKALEYE KATKI ORANI BEYANI

1. yazar katkı oranı : %60

2. yazar katkı oranı : %40

Matematik Eğitimi Alanındaki Kümeler Konulu Tezlerin Araştırma Eğilimlerinin İncelenmesi*

Sebahattin ÇETİNKAYA^a, Abdullah Çağrı BİBER^b

^a Milli Eğitim Bakanlığı, Zonguldak/Türkiye.

malatya376744@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1911-445X>

^b Kastamonu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Kastamonu/Türkiye.

acbiber@kastamonu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7635-3951>

Geliş Tarihi: 27.04.2026

Kabul Tarihi: 21.06.2026

Anahtar Kelimeler:

Kümeler,
Lisansüstü tezler,
Matematik eğitimi,
Araştırma eğilimleri.

Makale Türü:

Araştırma

Öz

Bu araştırmanın amacı, Türkiye’de matematik eğitimi alanında “Kümeler” konusunu ele alan lisansüstü tezlerin araştırma eğilimlerini belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda YÖK (Yükseköğretim Kurulu) veri tabanında kümeler konusunda tamamlanmış 13 yüksek lisans ve 2 doktora tezi betimsel içerik analizi yöntemiyle incelenmiştir. Bu bağlamda ele alınan çalışmalar yayın yıllarına, örneklem düzeylerine, örneklem büyüklüklerine, amaçlarına, yöntem ve desenlerine, veri toplama araçlarına ve çalışmalarda tercih edilen öğretim yöntemlerine göre yedi ölçüte göre analiz edilmiştir. Çalışmalardan elde edilen bulgular frekans ve yüzde değerleri hesaplanarak tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca tezlerin analizi, belirlenen ölçütler doğrultusunda matematik eğitimi alanında uzman iki araştırmacı tarafından yapılmış ve sonuçlar arasındaki uyum dikkate alınarak çalışmanın güvenilirliği sağlanmıştır. Araştırma sonucunda, tezlerin büyük çoğunluğunun 2009 yılı ve sonrasında gerçekleştirildiği ve çalışmaların ağırlıklı olarak ortaokul seviyesinde, özellikle de 6. sınıf öğrencileriyle yürütüldüğü tespit edilmiştir. Araştırma kapsamında incelenen tezlerin 6’sının deneysel desenli olduğu ve bu çalışmalarda farklı öğretim yöntemlerinin akademik başarı üzerindeki etkisinin araştırıldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, kümeler konusuna ilişkin lisansüstü araştırmaların belirli temalar etrafında yoğunlaştığını ve metodolojik çeşitliliğin sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, ileride yapılacak çalışmalarda farklı araştırma desenlerine ve değişkenlere yer verilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

*Bu makalenin temel bileşenleri 11-15 Kasım 2024 tarihlerinde düzenlenen UEDFOR V adlı kongrede bildiri olarak sunulmuştur.

Bibliometric Analysis of Theses on Sets in the Field of Mathematics Education*

Sebahattin ÇETİNKAYA^a, Abdullah Çağrı BİBER^b

^a Ministry of National Education, Zonguldak/Türkiye.

malatya376744@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1911-445X>

^b Kastamonu University, Faculty of Education, Kastamonu/Türkiye

acbiber@kastamonu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7635-3951>

Received: April 27, 2026

Accepted: June 21, 2026

Keywords:

Sets,
graduate theses,
mathematics education,
research trends.

Paper Type:

Research

Abstract

The aim of this research is to determine the research trends of postgraduate theses on the topic of "Sets" in the field of mathematics education in Turkey. To this end, 13 master's theses and 2 doctoral theses on the topic of sets in the completed in the field of mathematics education in the YOK (Council of Higher Education) database were examined using descriptive content analysis. In this context, the studies were analyzed according to seven criteria: publication year, sample level, sample size, aims, methods and designs, data collection tools, and teaching methods preferred in the studies. The findings obtained from the studies were presented in tables by calculating frequency and percentage values. Furthermore, the analysis of the theses was carried out by two researchers specializing in mathematics education in accordance with the determined criteria, and the reliability of the study was ensured by considering the agreement between the results. As a result of the research, it was determined that the vast majority of theses were conducted in 2009 and later, and the studies were predominantly conducted at the middle school level, especially with 6th-grade students. The study revealed that 6 of the theses examined were experimental in design, and these studies investigated the effects of different teaching methods on academic achievement. The results indicate that postgraduate research on clusters tends to focus on specific themes, and methodological diversity remains limited. This suggests that future studies should incorporate different research designs and variables.

*The main components of this article were presented as a paper at the UEDFOR V congress, held from November 11-15, 2024.

Giriş

Matematiksel kavramların bazıları, günlük yaşam pratiklerinde ve farklı konuların öğretiminde işlevsel bir araç olma özelliği taşımaktadır. Literatürde yer alan bu yapılar matematik eğitimindeki temel taşları oluşturan anahtar kavramlar olarak nitelendirilmektedir. Nokta, doğru, sayı doğrusu, birim çember ve küme kavramı matematik alanında birer anahtar kavrama örnektir (Altun, 2006). Özellikle kümeler konusu, matematiğin temelini oluşturan birçok kavramı içerisinde barındırmaktadır. Anahtar kavram olarak yer alan küme kavramının matematik tarihinde farklı isimlerde kullanıldığı söylene de ilk olarak George Cantor (1845-1918) tarafından ifade edildiği belirtilmektedir (Fischbein & Baltsan, 1998).

Kümeler teorisi, matematiğin kuramsal yapısında ve matematik öğretiminde merkezi bir öneme sahiptir (Gavalas, 2005). Matematikteki konuların birçoğunun kümeler konusu üzerine inşa edilmesi, küme kavramını matematiğin temel kavramlarından biri haline getirmektedir (Gür, 2009). Bu yapısal önemin yanında kümeler konusu, öğrenme kuramcılarının vurguladığı bilişsel şemaları düzenleme sürecinde kritik bir öneme sahip olan sınıflama becerisinin de temelini oluşturmaktadır (Olkun & Toluk Uçar, 2014). Kümeler; mantık ile cebirin inşası ve öğretilmesinde oldukça önemli olmasının yanında, matematiksel ispattaki mantığın ortaya çıkarılmasına bir zemin oluşturmaktadır. Sayı kavramının öğretim sürecinde; özellikle doğal sayı, tam sayı, rasyonel sayı, irrasyonel sayı ve gerçek sayı sistemleri ve bu yapılar aralarındaki ilişkilerin anlaşılabilmesinde küme mantığının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır (Özdemir, 2015). Bununla birlikte, kümeler sadece sayı sistemlerinin anlaşılmasında değil, aynı zamanda matematikteki daha karmaşık yapıların oluşturulmasında da temel bir araçtır görevindedir. Nitekim matematikteki bağıntı ve fonksiyon kavramları, kümeler arasındaki ilişkiler üzerinden tanımlanmaktadır. Bu bağlamda fonksiyonlar, iki küme arasındaki eşleme süreci olarak matematiksel ilişkilerin temelini oluşturmaktadır (Hatisaru, 2023; Vinner, 2002).

“Modern Matematik” akımının etkisi sonucunda ülkemizde 1983 yılında gerçekleştirilen program değişikliğiyle birlikte küme kavramı ilkökul ve ortaokul matematik müfredatına eklenmiştir (Sırmacı & Becerik, 2023). 2005 yılında gerçekleştirilen program değişikliği sonucunda, ilkökul ve ortaokuldaki küme kavramı ilkökul matematik müfredatından 1. sınıftan başlanarak kademeli olarak çıkarılırken, ortaokulda ise sadece 6.sınıfların matematik müfredatına eklenmiştir (MEB, 2005a, 2005b). 2013 yılında gerçekleştirilen müfredat değişikliğiyle ortaokuldaki 6. matematik programından kümeler konusu kaldırılmıştır (MEB, 2013). 2017 programında ise kümeler konusu yeniden 6.sınıf matematik dersi müfredatına dahil edilmiştir (MEB, 2017). Son olarak 2024 yılında uygulamaya geçirilen Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ile ortaokul matematik müfredatında önemli bir değişikliğe gidilerek kümeler konusu müfredat programından çıkarılmıştır. Lise müfredatında ise sadeleşmeye gidilerek kümeler konusu bağımsız bir ünite olarak değil de “sayı kümeleri” ve “aralık kavramı” başlıklarında yer almıştır. Oysa, literatürde küme kavramı; matematiksel düşünceyi inşa etmede, bilgiyi yapılandırma ve disiplinler arası geçişlerde merkezi bir rol üstlenen öncül bir yapı olarak ifade edilmektedir (Aktaş & Yüksel, 2010; Altun, 2021; Gür, 2009). Diğer matematiksel kavramlara temel teşkil eden kümeler konusu iyi öğrenilmediğinde öğrenciler ileriki konuları öğrenmede zorluklar yaşamaktadırlar (Aktaş & Yüksel, 2010).

Müfredatta yapılan bu güncel değişiklik ile literatürdeki akademik vurgu arasındaki etkileşimi anlayabilmek; ülkemizde bu alanda gerçekleştirilen lisansüstü çalışmaları bütüncül bir bakış açısı ile değerlendirmeyi anlamlı kılmaktadır. Bu bağlamda; küme kavramına ilişkin akademik çalışmaların belli kriterler çerçevesinde sistematik bir biçimde incelenmesi, mevcut tablonun ortaya çıkarılması ve yapılacak araştırmalara teorik bir zemin sunması açısından önem arz etmektedir. Yapılan literatür taramasıyla, kümeler konusuna yönelik ulusal ve uluslararası çalışmaların genellikle öğrencilerin ve öğretmen adaylarının kavramsal bilgi seviyeleri, kavram

yanılırları, kümeler konusundaki öğrenme güçlükleri, öğretmen alan bilgisi, alternatif öğretim yöntem tekniklerinin etkililiği, problem kurma ve problem çözme becerileri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Biber & Tuna, 2016; Dogan-Dunlap, 2006; Doruk & Çiltaş, 2020; Fischbein & Baltsan, 1998; İncikabı vd., 2012; Juana vd., 2022; Samosir & Herman, 2023; Yazıcı & Albayrak, 2022; Yazıcı & Kültür, 2017). Ancak Türkiye’de kümeler konusuna ilişkin lisansüstü tezleri bütüncül bir biçimde analiz ederek bu alandaki genel eğilimleri ortaya koyan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bir konu üzerine gerçekleştirilen çalışmaları incelemek, literatüre bütüncül bir perspektifte bakmaya olanak sağlamak ve gelecekte yapılacak araştırmalara yön verebilecek önemli çıkarımlar sunmaktadır (Snyder, 2019).

Bu araştırma kapsamında ‘Kümeler’ konusunu ele alan tezlerin araştırma eğilimleri nasıldır?” sorusuna cevap aranacaktır. Bu amaca ulaşabilmek için de aşağıda verilen alt problemler dikkate alınmıştır:

Araştırmada ele alınan tezlerin;

- 1.Yıllara göre,
- 2.Örneklem düzeylerine göre,
- 3.Örneklem büyüklüklerine göre,
- 4.Amaçlarına göre,
- 5.Yöntem ve desenlerine göre,
- 6.Veri toplama araçlarına göre,
- 7.Deneysel araştırmaların, deney gruplarında sınanan öğretim yöntemlerine göre, dağılımları nasıldır?

Yöntem

Araştırma Modeli

Araştırma kapsamında, matematik eğitimi alanında ‘Kümeler’ konusunda yayımlanan lisansüstü tezlerin tematik ve metodolojik eğilimlerini belirlemek amacıyla nitel araştırma desenlerinden betimsel içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Burada belli bir konu hakkında yapılan çalışmalar ele alınarak bu konu hakkındaki araştırma eğilimleri ve sonuçları tanımlayıcı bir biçimde sistematik olarak değerlendirilir (Çalık & Sözbilir, 2014; Lin vd., 2014). Bu yöntem, araştırma konusunda derinlemesine bir inceleme ve yorumlama içermezken, araştırmaların içerikleri hakkında genel bir çerçeve sunmaktadır (Dinçer, 2018; Selçuk vd., 2014). Araştırmanın temel amacı, tezlerin yapısal özelliklerini ve eğilimlerini bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymak olduğu için, betimsel içerik analizi bu çalışma için en uygun metodolojik araç olarak tercih edilmiştir.

Araştırmanın Örnekleme

Bu araştırmanın örnekleme, ‘Kümeler’ konusunu ele alan lisansüstü tezlerden oluşmaktadır. Çalışmanın verilerini elde etmek için 27 Mart 2026 tarihinde Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı (YÖK) Ulusal Tez Veri Merkezi veri tabanı üzerinde kapsamlı bir tarama gerçekleştirilmiştir. Tarama yaparken Dizin kısmında “Küme” anahtar kelimesi kullanılarak herhangi bir tarih sınırlaması yapılmadan gerçekleştirilen ilk incelemede matematik eğitimi ile doğrudan ilişkili olan 16 lisansüstü tez çalışmasının var olduğu tespit edilmiştir. Bu tezler arasında erişim izni bulunmayan bir çalışma kapsam dışı tutulurken, araştırma kapsamındaki kriterleri karşılayan ve tam metnine ulaşılabilen 15 tez (13 yüksek lisans ve 2 doktora) çalışması ele alınmıştır.

Araştırmada, belirlenen kriterlere uyan çalışmaların seçilmesini öngören “ölçüt örnekleme” yöntemi benimsenmiştir.

Veri Analizi, Güvenirlik ve Geçerlik

Veri analizi süreci öncelikle araştırmacının amacına uygun olan tezlerin kayıt altına alınmasıyla başlamıştır. Araştırmaya dahil edilen tezler, yayımlanma yıllarına göre yeniden eskiye doğru T1, T2, ..., T15 şeklinde kodlanmıştır. Araştırmacılar tarafından verilerin sistematik bir biçimde toplanabilmesi amacıyla tezlerin yayımlanma yılı, tez türü, araştırma amacı, yöntemi, çalışma grubu, öğretim yöntemleri, veri toplama araçları ve veri analiz tekniklerinden oluşan kategorilerin yer aldığı bir Veri Sınıflama Formu geliştirilmiştir. Veri Sınıflama Formunun kapsam geçerliliğini sağlamak için matematik eğitiminde uzman iki öğretim üyesinin görüşüne başvurularak gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Çalışmalardan elde edilen veriler bu forma işlenerek betimsel içerik analizi yöntemine uygun bir biçimde çözümleme gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada geçerlik ve güvenirlik öncelikle incelenen çalışmaların güvenirlik ve geçerliğine bağlıdır (Tavşancıl, 2014). Araştırma kapsamında incelenen tezlerin akademik bir denetimden geçirilerek savunulmuş olmaları ve YÖK tarafından onaylanmış resmi bir nitelik taşımaları, bu tezlerin güvenirlik ve geçerlik yönünden nitelikli ve güvenilir veri kaynakları olarak kabul edilmelerine olanak sağlamaktadır (Biber & Çetinkaya, 2020). Araştırma kapsamında incelenen tezlerden elde edilen veriler araştırmacı ve bir matematik eğitim uzmanı tarafından ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analizler arasındaki uyumu saptayabilmek için güvenirlik katsayısı [Güvenirlik Katsayısı = Görüş Birliği ÷ (Görüş Birliği + Görüş Ayrılığı) x100] hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda araştırmacının güvenirlik katsayısı %85 olarak saptanmıştır. Bu katsayının %70’den yüksek olması, verilerin analizi ve kodlanması sürecindeki tutarlılığın istatistiksel açıdan kabul edilebilir bir düzeyde olduğu göstermektedir (Miles & Huberman, 1994). Analiz sürecinde görüş ayrılığının yaşandığı maddeler araştırmacı ve alan uzmanı tarafından yeniden değerlendirilmiş; ortak bir paydada buluşulmasının ardından analizler tamamlanmıştır.

Bulgular

Bu bölümünde bulgular alt problem sırasına göre verilmiştir.

Birinci alt probleme ilişkin bulgular

Tezlerin yıllara göre dağılımı Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Tezlerin yıllara göre dağılımı

Yayımlanma Yılı	Çalışmalar	f	%
1998-2009	T14, T15	2	13
2010-2015	T9, T10, T11, T12, T13	5	33
2016-2021	T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8	7	47
2022-2024	T1	1	7
Toplam		15	100

Tablo 1 incelendiğinde çalışmaların tamamının 1998-2024 yılları arasında yayımlandığı, 15 tezden 12’sinin (%87) 2010 yılı ve sonrasında tamamlandığı görülmektedir. Ayrıca çalışmaların 7’sinin (%47) 2016-2021 yılları arasında yoğunlaştığı görülmektedir.

İkinci alt probleme ilişkin bulgular:

Tezlerin örneklem düzeylerine göre dağılımı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Örneklem düzeyleri

Örneklem Düzeyi	Çalışmalar	f	%
5. Sınıf	T15	1	7
6. Sınıf	T1, T2, T3, T7, T10, T12, T13, T14	8	53
9. Sınıf	T9	1	7
Matematik Öğretmen Adayları	T4, T5, T8, T11	4	27
Matematik Öğretmenleri	T6, T7	2	13
Öğretim Üyeleri	T6	1	7

Araştırma kapsamındaki lisansüstü tezlerin örneklem düzeylerine göre dağılımı incelendiğinde, bazı çalışmalarda birden fazla örneklem grubuna yer verildiği, bu nedenden ötürü toplam frekansın tez sayısını aştığı görülmektedir. Tablo 2 incelendiğinde lisansüstü çalışmaların en fazla 6. sınıf öğrencileriyle (%53) gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunu %27’lik oranda matematik öğretmen adayları izlemektedir. En az tercih edilen örneklem gruplarının ise her biri %7’lik orana sahip 5. sınıf öğrencileri, 9. sınıf öğrencileri ve öğretim üyelerinin olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kümeler konusunun özellikle ortaokul düzeyinde yoğunlaştığını göstermektedir.

Üçüncü alt probleme ilişkin bulgular:

Tezlerin örneklem büyüklüklerine göre dağılımı Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. Örneklem büyüklükleri

Örneklem Büyüklüğü	Çalışmalar	f	%
0-30	T4, T6	2	13
31-60	T1, T3, T5, T9, T13, T14	6	40
61-90	T10	1	7
91-...	T2, T7, T8, T11, T12, T15	6	40

Tablo 3 incelendiğinde lisansüstü çalışmaların 6’sının (%40) örneklem büyüklüğünün 91 ve üzerinde olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 31-60 aralığındaki örneklem büyüklüğüne sahip çalışmaların oranı da %40 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık örneklem büyüklüğü olarak 61-90 aralığına sahip çalışmaların en düşük orana (%7) sahip olduğu dikkat çekmektedir. Bu bulgu, araştırmalarda orta ve yüksek büyüklükte örneklemelerin tercih edildiğini göstermektedir.

Dördüncü alt probleme ilişkin bulgular:

Tezlerin amaçlarına göre dağılımları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Amaçlar

Amaçlar	Çalışmalar	f	%
Farklı öğretim yöntem ve tekniklerinin akademik başarıya etkisini belirleme	T1, T9, T10, T11, T13, T14	6	40
Farklı öğretim yöntem ve tekniklerinin kalıcılığa etkisini belirleme	T1, T10, T11, T13	4	27
Kümeler konusunda bilgi düzeylerinin belirlenmesi	T7, T12, T15	3	21
Kümeler konusundaki temel kavramlara ilişkin metaforik algıları belirleme	T2	1	7
Kümeler konusunun öğretiminde Gerçekçi Matematik Eğitimi Yaklaşımının kullanılmasını inceleme	T3	1	7
Sözel olarak ifade edilmiş kümelerin matematiksel dile çevrilmesi	T4	1	7
Kümeler konusundaki matematiksel kavramların görselleştirilmesi	T5	1	7
Küme kavramının müfredattaki yeri hakkındaki görüşlerin tespiti	T6	1	7
Sonsuz kümelerin denkliğine ilişkin bilgi düzeylerinin belirlenmesi	T8	1	7

Tablo 4 incelendiğinde, tezlerin büyük bir kısmının (%40) amacının, farklı öğretim uygulamalarının akademik başarıya etkisini incelemek olduğu görülmektedir. Ayrıca 3 tez (%21) için de “Kümeler konusunda bilgi düzeylerinin belirlenmesi” şeklindeki amacın benzer olduğu söylenebilir. Bununla birlikte diğer çalışmaların ise büyük oranda birbirinden farklı amaçlara odaklandığı dikkat çekmektedir. Bu kapsamda; öğrencilerin kümeler konusundaki temel kavramlara ilişkin bilgilerini tespit etmek, küme kavramının müfredattaki yeri hakkındaki görüşlerin alınması ve öğrencilerinin kümeler konusunda problem kurma becerilerinin incelenmesi gibi farklı amaçların da ele alındığı görülmektedir. Bu bulgular, “Kümeler” konusuna ilişkin çalışmaların belli bir alana odaklanmakla birlikte farklı araştırma amaçları doğrultusunda çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Beşinci alt probleme ilişkin bulgular:

Tezlerin yöntem ve desenlerine göre dağılımları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Yöntem ve desenler

Araştırma Yöntemi	Araştırma Deseni	Çalışmalar	f	%
Nicel	Yarı Deneysel Desen	T1, T10, T14	3	20
	Eşit Olmayan Kontrol Grubu Deseni	T11	1	7
	Betimsel Araştırma	T15	1	7
Nitel	Durum Çalışması	T4, T7, T8	3	20
	Bütüncül Tek Durum Deseni	T3	1	7
	Olgubilim Deseni	T2, T6	2	13
	Gömülü Teori	T5	1	7
Karma	Açıklayıcı Desen	T9	1	7
	Belirtilmemiş	T12	1	7
	Deneysel + Eylem Araştırması	T13	1	7

Tablo 5 incelendiğinde lisansüstü çalışmalarda en fazla nitel araştırma yöntemlerinin (%47) tercih edildiği görülmektedir. Nicel araştırma yöntemlerinin kullanım oranı %33 iken, karma yöntemlerin kullanım oranı %20 olarak belirlenmiştir. Araştırma deseni olarak da nicel araştırmalarda en fazla Yarı Deneysel Desenin (%20) tercih edildiği görülmektedir. Nitel araştırmalarda da en fazla durum çalışmasının (%20) kullanıldığı görülmekle birlikte olgubilim deseni (%13), bütüncül tek durum deseni (%7) ve gömülü teori (%7) gibi farklı desenlerin tercih edildiği görülmektedir. Bu bulgular, “Kümeler” konusuna ilişkin lisansüstü çalışmaların ağırlıklı olarak nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde yürütüldüğünü ve farklı araştırma desenleri açısından çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Altıncı alt probleme ilişkin bulgular:

Veri toplama araçlarına göre dağılım Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Veri toplama araçları

Veri Toplama Araçları	Çalışmalar	f	%
Başarı Testi	T1, T4, T7, T9, T10, T11, T13, T14, T15	9	60
Görüşme	T3, T4, T5, T6, T8, T9	6	40
Yazılı Dökümanlar	T2, T3, T5, T8, T12	5	33
Gözlem	T7, T8	2	13
Ölçek	T1, T11	2	13
Anket	T13	1	7
Kalıcılık Testi	T1, T10, T11, T13	4	27

Tablo 6 incelendiğinde tezlerde en çok başarı testinin (%60) veri toplama aracı olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunu sırasıyla görüşme (%40), yazılı dokümanlar (%33), ve kalıcılık testi (%27) takip etmektedir. Diğer veri toplama araçları incelendiğinde; gözlem (%13) ve ölçek (%13) kullanım oranlarının aynı olduğu görülmektedir. En az ise %7 oranla anketin tercih edildiği

görülmektedir. Bu bulgular, “Kümeler” konusuna ilişkin yapılan çalışmalarda daha çok akademik başarıyı ölçmeye ve derinlemesine veri elde etmeye yönelik veri toplama araçlarının tercih edildiğini göstermektedir.

Yedinci alt probleme ilişkin bulgular:

Deneysel desenli tezlerin deney gruplarında sınanan öğretim yöntemlerine göre dağılımları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Deney gruplarında sınanan öğretim yöntemlerinin dağılımına ait veriler

Öğretim Yöntemleri	Çalışmalar	f	%
Gerçekçi Matematik Eğitimi	T9	1	17
5E Öğrenme Halkası Modeli	T10	1	17
Jigsaw Tekniği	T11	1	17
Bilgisayar Destekli Öğretim	T13	1	17
Aktif Öğrenme Teknikleri	T1, T14	2	33
Toplam		6	100

Araştırma kapsamında incelenen 15 lisansüstü çalışmanın 7 tanesinin deneysel çalışma olduğu görülmektedir. Tablo 7’de yer alan yüzdeler sadece deneysel çalışmalar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tablo 7 incelendiğinde öğretim yöntemi olarak deney gruplarında en fazla gerçekçi matematik eğitimi (%29) ve aktif öğrenme tekniklerinin (%29) tercih edildiği görülmektedir. Bunun yanında 5E öğrenme halkası modeli, jigsaw tekniği ve bilgisayar destekli öğretim yöntemlerinin ise %14 oranla kullanıldığı belirlenmiştir. Bu bulgular, “Kümeler” konusuna ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda farklı öğretim yöntemlerinin benimsendiğini ve öğretim sürecine yönelik olarak alternatif yaklaşımların ön plana çıktığını göstermektedir.

Tartışma ve Sonuç

Araştırma bulguları incelendiğinde, kümeler konusuna ilişkin lisansüstü çalışmaların 2009 yılı ve sonrasında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, kümeler konusuna yönelik akademik ilginin son yıllarda arttığını gösterir niteliktedir. Benzer şekilde eğilimleri matematik eğitimi alanında yer alan farklı araştırma konularında da görmek mümkündür. Örneğin; problem kurma, kavramsal ve işlemsel bilgiler, origami ve çoklu temsillere ilişkin yapılan tez inceleme araştırmalarında çalışmaların belli yıllarda yoğunlaştığı ve zaman içerisinde de artış gösterdiği rapor edilmektedir. (Çakan & Tekin Dede, 2023; Doğan & Bayraktar Kurt, 2021; Özcan vd., 2023; Türer & Cantürk Günhan, 2022). Bu durum, matematik eğitimindeki araştırma eğilimlerinin dönemsel biçimde değişebileceğini, belli konuların farklı zamanlarda araştırmacıların daha fazla ilgisini çekebileceğini ifade etmektedir.

Araştırmaların örneklem düzeylerine ilişkin elde edilen bulgular, lisansüstü çalışmaların ağırlıklı olarak ortaokul seviyesinde, özellikle 6. sınıf öğrencileriyle (%53) gerçekleştirildiğini göstermektedir. Ortaokulda kümeler konusunun (müfredatta olduğu dönemlerde) sadece 6. sınıflarda yer alması, ayrıca bu sınıfta ilgili konu kazanımlarının uygulama açısından daha az zaman almasının araştırmacılara pratiklik sağlaması, bu örneklem düzeyinin araştırmacılar tarafından tercih edilme sebepleri arasında yer alabilir. Bu bulgu, benzer çalışmaların bulgularıyla da örtüşmektedir (Kaya & Keşan, 2022; Özey, 2019). Araştırmaların örneklem büyüklüklerine ilişkin bulgular incelendiğinde ise çalışmaların önemli bir bölümünün orta ve yüksek

büyüklikteki örneklerle gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu durumun, araştırmalarda genellenebilirliği artırma yönündeki eğilimden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Araştırmaların amaçları incelendiğinde, çalışmaların önemli bir kısmının (%40) farklı öğretim uygulamalarının akademik başarı ve kalıcılık üzerindeki etkisini incelemeye odaklandığı görülmektedir. Bu bulgu, matematik eğitiminde öğretim süreçlerinin etkililiğini tespit etmeye ilişkin çalışmaların öncelikli olarak ele alındığını ortaya koymakta olup, benzer çalışma bulgularıyla örtüşmektedir (Biber & Çetinkaya, 2020; Özey, 2019; Şimşek & Yaşar, 2019). Araştırmalarda kullanılan yöntemler incelendiğinde çalışmalarda en fazla nitel araştırma yöntemlerinin (%47) tercih edildiği görülmektedir. Bu durum, kümeler konusunun kavramsal yapısı gereği derinlemesine inceleme gerektiren bir konu olması ile ilişkilendirilebilir. Nitekim kavramsal öğrenmenin doğasının, bireylerin düşünme süreçlerinin ayrıntılı olarak analiz edilmesini gerektirmesi, nitel araştırma yaklaşımlarını ön plana çıkarmaktadır. Ancak eğitim alanında gerçekleştirilen birçok çalışmada nicel yöntemlerin daha yaygın bir biçimde kullanıldığı görülmektedir (Biber & Çetinkaya, 2020; Çiltaş vd., 2012; Demirkol & Kutluca, 2016; Gülbahar & Alper, 2009; Ozan & Köse, 2014; Ozan & Küçüköğlü, 2016; Özenç & Özenç, 2013; Özkan & Şenyurt, 2017; Ulutaş & Ubuz, 2008; Yaşar & Papatğa, 2015).

Veri toplama araçlarına ilişkin bulgular, çalışmalarda yaygın bir biçimde başarı testlerinin (%60) kullanıldığını göstermektedir. Bu durum, araştırmacıların kümeler konusundaki çalışmalarını çoğunlukla öğretim uygulamalarının etkililiğini sınamaya yönelik olarak tasarladıklarını düşündürmektedir. Alan yazında yer alan benzer çalışmalar, araştırmalarda en fazla başarı testinin kullanıldığı göstermektedir (Biber & Çetinkaya, 2020; Kaya & Keşan, 2022; Özcan vd., 2023; Özey, 2019). Ayrıca çalışmalarda görüşme gibi nitel veri toplama araçlarının da sıklıkla kullanılması, veri çeşitlemesinin sağlanmaya çalışıldığını göstermektedir. Bu bulgu da literatürde yer alan benzer çalışmaların bulgularıyla örtüşmektedir (Albayrak & Çiltaş, 2017; Biber & Çetinkaya, 2020).

Deneysel çalışmalarda kullanılan öğretim yöntemleri incelendiğinde, çeşitli öğretim yaklaşımlarının sınırlı sayıda görülmesiyle birlikte herhangi bir yöntemin belirgin bir şekilde öne çıkmadığı belirlenmiştir. Araştırmalarda gerçekçi matematik eğitimi ve aktif öğrenme teknikleri diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmiş olsa da bu yaklaşımların sadece ikişer çalışmada kullanılmış olması, literatürde bu yöntemin diğer yöntemlere göre belirgin bir üstünlük göstermediğini ifade etmektedir. Bu durum, kümeler konusuna ilişkin yapılan deneysel çalışmaların sınırlı sayıda olması ve araştırmacıların bu çalışmalarda farklı öğretim yöntemlerini test etmeye yönelmeleriyle açıklanabilir. Son yıllarda gerek ulusal gerek uluslararası literatürde matematik öğretiminde tek bir yönetime bağlı kalınmadığı; dijital oyunlar, teknoloji destekli uygulamalar, gerçekçi matematik eğitimi ve diğer öğrenciyi merkeze alan yaklaşımlar gibi farklı öğretim uygulamalarının araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanıldığı bulgusu araştırmanın sonuçlarıyla örtüşmektedir (Aydın & Ata, 2024; Bognar vd., 2025; Çelik vd., 2024; Putri vd., 2025). Söz konusu bulgular, kümeler konusunun öğretiminin yönetsel yeniliklere ve farklı uygulama stratejilerine açık, dinamik bir gelişim alanı olma özelliğini koruduğuna işaret etmektedir.

Öneriler

Araştırmanın neticesinde “Kümeler” konusunda hazırlanan tezlerin sınırlı sayıda olması dikkat çekicidir. Bu durum, söz konusu alanda daha fazla çalışmanın yapılmasına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bu çalışma, sadece yurt içinde yayımlanmış lisansüstü tezlerle sınırlıdır. Bu doğrultuda, ilerleyen çalışmalarda “Kümeler” başlığı altında yurtdışında yayımlanmış lisansüstü tezlerin analiz edilmesi ve söz konusu alandaki uluslararası eğilimlerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi önerilebilir. Bununla birlikte “Kümeler” konusuna ilişkin

makalelerin de incelenmesi, alan yazının kapsamlı bir biçimde değerlendirilmesine imkân sunacaktır.

Yapılan incelemede, ağırlıklı olarak nitel yöntemlerin araştırmalarda tercih edildiği görülmektedir. Bu bağlamda nicel ve karma yöntemlerin dengeli bir biçimde kullanılması da veri çeşitlenmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- Aktaş, M., & Yüksel, T. (2010). İlköğretim 6. Sınıf matematik dersinde kümeler alt öğrenme alanının aktif öğrenme yöntemi ile işlenmesinin öğrenci başarısına etkisi. *e-Journal of New World Sciences Academy: Education Sciences*, 5(4), 1439-1468.
- Albayrak, E., & Çiltaş, A. (2017). Descriptive content analysis of mathematical modeling research published in the field of mathematics education in Turkey. *International Journal of Turkish Education Sciences*, 2017(9), 258-283.
- Altun, M. (2006). Matematik öğretiminde gelişmeler. *Journal of Uludağ University Faculty of Education*, 19(2), 223-238.
- Altun, M. (2021). *Ortaokullarda (5,6,7 ve 8. Sınıflarda) matematik öğretimi* (14. Baskı). Aktüel Yayınları.
- Aydın, C. S., & Ata, R. (2024). Türkiye’de matematik eğitiminde dijital oyunların kullanımı: bir sistematik derleme çalışması. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 25(2), 570-596. <https://doi.org/10.17679/inuefd.1415803>
- Biber, A. Ç., & Çetinkaya, S. (2020). Trigonometri konulu tezler. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 1(1), 41-53.
- Biber, A. Ç., & Tuna, A. (2016). Altıncı sınıf öğrencilerinin kümeler konusunda kurdukları problemlerin incelenmesi. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(1). <https://doi.org/10.17556/jef.22237>
- Bognar, B., Mužar Horvat, S., & Jukić Matić, L. (2025). Characteristics of effective elementary mathematics instruction: a scoping review of experimental studies. *Education Sciences*, 15(1), 76. <https://doi.org/10.3390/educsci15010076>
- Çakan, A. T., & Tekin Dede, A. (2023). Matematik eğitiminde kavramsal ve işlemsel bilgi üzerine hazırlanan tezlerin eğilimlerinin incelenmesi. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 14(2), 1155-1174. <https://doi.org/10.51460/baebd.1340359>
- Çelik, B., Eroğlu, T., & Sarı Uzun, M. (2024). Matematik eğitimi alanında 2017-2021 yılları arasında Türkiye’de yapılan lisansüstü tezlerin araştırma eğilimleri. *Milli Eğitim Dergisi*, 53(244), 1873-1912. <https://doi.org/10.37669/milliegitim.1277249>
- Çiltaş, A., Sözbilir, M., & Güler, G. (2012). Türkiye’de matematik eğitimi araştırmaları: Bir içerik analizi çalışması. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 12(1), 565-580.
- Demirkol, M., & Kutluca, T. (2016). Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi dergisinin bibliyometrik analizi. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, (28), 108-118. <https://doi.org/10.14582/DUZGEF.674>
- Dinçer, S. (2018). Eğitim Bilimleri araştırmalarında içerik analizi: meta-analiz, meta-sentez, betimsel içerik analizi. *Bartın Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(1), Makale 1. <https://doi.org/10.14686/buefad.363159>

- Dogan-Dunlap, H. (2006). Lack of set theory relevant prerequisite knowledge. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 37(4), 401-410. <https://doi.org/10.1080/00207390600594853>
- Doğan, M., & Bayraktar Kurt, E. (2021). Matematik eğitiminde origami: Lisansüstü tezlerinin araştırma eğilimleri. *Journal of International Social Research*, 14((77-5)), 874-885. <https://doi.org/10.17719/jisr.11620>
- Doruk, M., & Çiltaş, A. (2020). Pre-Service mathematics teachers' concept definitions and examples regarding sets. *International Journal of Psychology and Educational Studies*, 7(2), 21-36. <https://doi.org/10.17220/ijpes.2020.02.003>
- Fischbein, E., & Baltsan, M. (1998). The mathematical concept of set and the "collection" model. *Educational Studies in Mathematics*, 37(1), 1-22.
- Gavalas, D. (2005). Conceptual mathematics: An application to education. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 36(5), 497-516. <https://doi.org/10.1080/00207390500063942>
- Gülbahar, Y., & Alper, A. (2009). A content analysis of the studies in instructional technologies area. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 42(2), 93-111. https://doi.org/10.1501/Egifak_00000001178
- Gür, H. (2009). 8. ve 9. Sınıf öğrencilerinin kümeler konusundaki temel hataları ve kavram yanlışlarının belirlenmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 4(3), 678-654.
- Hatisaru, V. (2023). Mathematical connections established in the teaching of functions. *Teaching Mathematics and Its Applications: An International Journal of the IMA*, 42(3), 207-227. <https://doi.org/10.1093/teamat/hrac013>
- İncikabı, L., Tuna, A., & Biber, A. Ç. (2012). İlköğretim matematik öğretmen adaylarının kümelerle ilgili kavramsal bilgilerinin analizi. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(2), 1-18.
- Juana, N. A., Kaswoto, J., Sugiman, S., & Hidayat, A. A. A. (2022). The learning trajectory of set concept using realistic mathematics education (RME). *Jurnal Pendidikan Matematika*, 17(1), 89-102. <https://doi.org/10.22342/jpm.17.1.19077.89-102>
- Kaya, D., & Keşan, C. (2022). Türkiye’de cebir öğrenme alanında yapılmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik profili (2011-2021). *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 13(1), 400-421.
- Lin, T.-C., Lin, T.-J., & Tsai, C.-C. (2014). Research trends in science education from 2008 to 2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1346-1372. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.864428>
- MEB. (2005a). *İlköğretim matematik dersi (1–5. Sınıflar) öğretim programı*. Millî Eğitim Bakanlığı.
- MEB. (2005b). *İlköğretim matematik dersi (6–8. Sınıflar) öğretim programı*. Millî Eğitim Bakanlığı.
- MEB. (2013). *Ortaokul matematik dersi (5, 6, 7 ve 8. Sınıflar) öğretim programı*. Millî Eğitim Bakanlığı.
- MEB. (2017). *Matematik dersi öğretim programı (ilkokul ve ortaokul 1–8. Sınıflar)*. Millî Eğitim Bakanlığı.

- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (ss. xiv, 338). Sage Publications, Inc.
- Olkun, S., & Toluk Uçar, Z. (2014). *İlköğretimde etkinlik temelli matematik öğretimi* (6. Baskı). Eğiten Kitap Yayınları. <https://www.seckin.com.tr/kitap/544567912>
- Ozan, C., & Köse, E. (2014). Eğitim programları ve öğretim alanındaki araştırma eğilimleri. *Sakarya University Journal of Education*, 4(1), 116. <https://doi.org/10.19126/suje.76547>
- Ozan, C., & Küçükoglu, A. (2016). Sınıf öğretmenliği alanındaki lisansüstü tezlere yönelik bir içerik analizi. *International Journal Of Eurasia Social Sciences*, 2013(12), 27-47.
- Özcan, H. Z., Batur, Z., & Yusufoglu, S. (2023). Disiplinlerarası tezlerin bibliyometrik analizi. *Korkut Ata Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, (13), 1646-1671. <https://doi.org/10.51531/korkutataturkiyat.1384672>
- Özdemir, B. (2015). A comparison of IRT-based methods for examining differential item functioning in TIMSS 2011 mathematics subtest. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 2075-2083. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.004>
- Özenç, E. G., & Özenç, M. (2013). Türkiye’de üstün yetenekli öğrencilerle ilgili yapılan lisansüstü eğitim tezlerinin çok boyutlu olarak incelenmesi. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 171(171), 13-28. <https://doi.org/10.20296/tsad.50492>
- Özey, K. (2019). *Cebir öğrenme alanında yapılan lisansüstü tezlerin incelenmesi: 2010-2018 yılları arası Türkiye örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Özkan, Y. Ö., & Şenyurt, S. (2017). Eğitimde ölçme ve değerlendirme alanında yapılan yüksek lisans tezlerinin tematik ve metodolojik açıdan incelenmesi. *İlköğretim Online*, 16(2), 628-653. <https://doi.org/10.17051/ilkonline.2017.304724>
- Putri, L. I., Retnawati, H., Jaedun, A., Murfi, A., & Begimbetova Atymtaevna, G. (2025). Enhancing mathematical skills through multicontextual approaches: A meta-analysis of realistic mathematics, ethnomathematics, and technology integration. *Cogent Education*, 12(1), 2548648. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2548648>
- Samosir, C. M., & Herman, T. (2023). Students’ ways of understanding and thinking based on harel’s theory in solving set problems. *JOHME: Journal of Holistic Mathematics Education*, 7(2), 169. <https://doi.org/10.19166/johme.v7i2.7422>
- Selçuk, Z., Palancı, M., Kandemir, M., & DüNDAR, H. (2014). Eğitim ve bilim dergisinde yayınlanan araştırmaların eğilimleri: İçerik analizi. *Eğitim ve Bilim*, 39(173). <https://egitimvebilim.ted.org.tr/index.php/EB/article/view/3278>
- Sırmacı, N., & Becerik, A. (2023). Öğretmen ve öğretim üyelerinin küme kavramının müfredattan çıkarılması ile ilgili görüşleri. *Anadolu Eğitim Liderliği ve Öğretim Dergisi [Anatolian Journal of Educational Leadership and Instruction]*, 11(1), 1-16.
- Şimşek, N., & Yaşar, A. (2019). GeoGebra ile ilgili lisansüstü tezlerin tematik ve yöntemsel eğilimleri: Bir içerik analizi. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 10(12), 290-313. <https://doi.org/10.16949/turkbilmat.450566>
- Tavşancıl, E. (2014). *Tutumların ölçülmesi ve SPSS ile veri analizi*. Nobel.
- Türer, G., & Cantürk Günhan, B. (2022). Türkiye’de matematik eğitiminde çoklu temsiller ile ilgili yapılan çalışmaların incelenmesi. *Fen Matematik Girişimcilik ve Teknoloji Eğitimi Dergisi*, 5(3), 214-236.

- Ulutaş, F., & Ubuz, B. (2008). Matematik eğitiminde araştırmalar ve eğilimler: 2000 ile 2006 yılları arası. *İlköğretim Online*, 7(3), 614-626.
- Vinner, S. (2002). The role of definitions in the teaching and learning of mathematics. İçinde D. Tall (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking* (ss. 65-81). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1_5
- Yaşar, Ş., & Papatğa, E. (2015). İlkokul matematik derslerine yönelik yapılan lisansüstü tezlerin incelenmesi. *Trakya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5(2).
- Yazıcı, N., & Albayrak, M. (2022). An investigation of mathematics teachers' specialized content knowledge related to basic concepts about sets. *Education and Science*, 47(209), 413-441. <https://doi.org/10.15390/EB.2022.9256>
- Yazıcı, N., & Kültür, M. N. (2017). Matematik öğretmenlerinin kümeler ünitesinde yer alan temel kavramlara ilişkin matematiksel bilgilerinin incelenmesi. *Journal of Computer and Education Research*, 5(10), 250-272.

Ek 1. Araştırma Kapsamında İncelenen Tezler

Tezin Araştırma Künyesi Kodu

- | | |
|-----------|--|
| T1 | Şimşek, Ş. (2024). <i>6.Sınıf Matematik Dersi Kümeler Konusunun Aktif Öğrenme Teknikleri ile Öğretiminin Etkisinin Çeşitli Değişkenler Açısından İncelenmesi</i> . Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Sakarya. |
| T2 | Soydan, A. (2021). <i>Ortaokul 6. Sınıf Öğrencilerinin Kümelerde Temel Kavramlara İlişkin Metaforik Algılarının İncelenmesi</i> . Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karaman. |
| T3 | İnce, M. (2019). <i>6. Sınıflarda kümeler konusu öğretiminde gerçekçi matematik eğitimi yaklaşımı ve yansımaları</i> . Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Amasya. |
| T4 | Yardımcı, H. (2019). <i>Matematik Öğretmeni Adaylarının Sözel Olarak İfade Edilen Kümeleri Matematiksel Dile Çevirebilme Becerileri</i> . Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Mersin. |
| T5 | Turgut, G. İ. (2019). <i>Matematik Öğretmen Adaylarının Bazı Matematiksel Kavramları Görselleştirme Süreçlerinin İncelenmesi: Kümeler ve Fonksiyonlar</i> . Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara. |
| T6 | Becerik, A. (2018). <i>Öğretmen ve Öğretim Üyelerinin Küme Kavramının Müfredattan Çıkarılması ile İlgili Görüşleri</i> . Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. |
| T7 | Yazıcı, N. (2017). <i>Matematik Öğretmenlerinin Öğretim İçin Matematik Bilgisi: Kümelerde Temel Kavramların Analizi</i> . Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. |
| T8 | Pala, O. (2016). <i>İlköğretim Matematik Öğretmen Adaylarının Sonsuz Kümelerin Denkliği Konusundaki Kanıt İmajlarının İncelenmesi</i> . Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İzmir. |

- T9** Özdemir, H. (2015). *Gerçekçi Matematik Eğitimi Yaklaşımının Ortaöğretim 9. Sınıf Kümeler Ünitesi Öğretiminde Öğrenci Başarısına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- T10** Şahiner A. (2013). *5E Modelinin İlköğretim 6. Sınıf Öğrencilerinin Matematik Dersi Kümeler Konusundaki Erişi ve Kalıcılığına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- T11** Demiral, S. (2012). *Jigsaw Tekniğinin Kümeler ve Önermeler Konusunun Öğretiminde Öğretmen Adaylarının Akademik Başarılarına ve Öğrenmenin Kalıcılığına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- T12** Bunar, N. (2011). *Altıncı Sınıf Öğrencilerinin Kümeler, Kesirler ve Dört İşlem Konularında Problem Kurma ve Çözme Becerileri*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyon.
- T13** Yücesan, C. (2011). *Bilgisayar Destekli Öğretimin 6. Sınıf Kümeler Konusunda Öğrenci Başarısına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Rize Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Rize.
- T14** Yüksel, T. (2009). *İlköğretim 6. Sınıf Matematik Dersinde Kümeler Alt Öğrenme Alanının Aktif Öğrenme Yöntemi ile İşlenmesinin Öğrenci Başarısına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- T15** Cereno, A. (1998). *İlköğretim Okulları Matematik Programının Merkez Okullar ile Taşımalı Eğitim Yapan Okulların 4. ve 5. Sınıflarındaki Dört İşlemler, Kümeler, Kesirler Konularına Ait Hedef ve Hedef Davranışların Gerçekleşme Düzeyi*. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bolu.

ETİK ve BİLİMSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI

Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine riayet edildiğini yazar(lar) beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde OJOMSTE'nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk makale yazarlarına aittir.

ARAŞTIRMACILARIN MAKALEYE KATKI ORANI BEYANI

1. yazar katkı oranı : % 60

2. yazar katkı oranı : % 40

An examination of Libyan and Turkish Students' Thinking Levels Through Their Quadratic Patterns Generalization According to SOLO Taxonomy*

Awatef ELAZZABI^a, Ahmet KAÇAR^b,

^aTripoli University, Faculty of Education, Tripoli / Libya.

alazzabiawatef@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-4384-8920>

^bKastamonu University, Faculty of Education, Kastamonu, Türkiye.

akacar@kastamonu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0072-2033>

Received: June 06, 2025

Accepted: June 30, 2026

Keywords:

Libyan and Turkish students' thinking levels, quadratic patterns generalization, SOLO taxonomy.

Paper Type:

Research

Abstract

This study aimed to an examination of Libyan and Turkish students' thinking levels of quadratic patterns generalization according to SOLO taxonomy. The study model was a hybrid design with predominantly qualitative design. In this study, the working group was consisted of 112 from Libyan students at three high school in the city of Tripoli in Libya and 129 Turkish students at three high school in the city of Kastamonu in Turkey. The study was undertaken in the 2018-2019 academic year. Overall, the results showed that most Turkish and Libyan students who participated in the study mostly their level on the Uni-structural level, the Multi structural level and the Relational structure level in quadratic patterns generalization. However, some of them were able to reach successful in moving Advanced thinking levels in this area. Despite of these, there Libyan and Turkish students left the problems blank and there were students at the pre-structural level. In order for students to achieve a higher level of thinking in understanding and quadratic patterns generalization. Supporting students to develop their thinking level by solving problems and getting them involved in different activities that are aimed at promoting their skills and improving their level thinking in quadratic patterns generalization. In addition, mathematics teachers should create opportunities for students to relate their mathematical ideas and concepts to enable the students to promote their ability in thinking, as well support students' thinking levels in moving from a design-based learning environment that encourages "recalling facts" to one that encourages "analysis and synthesis".

*This study was derived from the first author's doctoral dissertation titled "Investigation of Turkish and Libyan Students' Algebraic Thinking Skills in Quadratic Equations with one Unknown According to SOLO Taxonomy," submitted to Kastamonu University Institute Science

Introduction

Mathematics is one of the most important sciences in this world, its value and importance have gradually increased throughout history. Mathematics occupies a prominent place in the educational curricula of various countries world (Polat, 2010), and is considered fundamental at all educational levels, its importance is particularly pronounced at the primary level, as it provides students with the foundational mathematical knowledge necessary for continuing their mathematical studies in later educational stages (Isik & Tarim, 2009; Yildirim, 2006).

Mathematics and its various branches play a major role in developing students' thinking skills. Thinking is the basis of the learning process. Developing thinking skills is primary educational requirement, as it leads to a deeper understanding of the knowledge content students acquire. Algebraic thinking is one of the most important types of thinking associated with mathematics, and it is considered a Wayport for students' thinking skills, given its effective contribution to solving mathematical problems, it has an important role in mathematics, and it is a way of seeing the real world (NCTM, 1992).

Different researchers have tried to reveal components of algebraic thinking. For Example, Dindayal (2003) sees algebraic thinking includes three skills the use of symbols and algebraic relationships, the use of multiple representations, the use of patterns and generalizations. Çelik (2007) sees, algebraic thinking consists of three basic skills: using symbols and algebraic relations, utilizing multiple representations, and formulating generalizations (Çelik, 2007). As for Çelik (2007) and Bağdat (2013) also emphasizes that algebraic thinking consists of the ability to use symbols and algebraic relations, benefit from multiple representations and formulate generalizations. Through literature, generalization is an important indicator of algebraic thinking, and it is an essential skill in algebraic thinking. Algebraic thinking is a process that serves the aim of generalization (Kaput, 2008). Pattern and generalisation are both thought to be fundamental to mathematics and Patterns are a key step in the formation of generalization (Hargreaves, Shorrocks-Taylor & Threlfall, 1998).

In our daily life, because there are a system and pattern in many matters in our life, patterns may be described as structures which human encounter in every area of daily life area (Palabıyık & Akkuş-İşpir, 2011). In mathematics, patterns are one of its most important topics, and it's the heart and essence of mathematics. (Zazkis & Liljedahl, 2002). Patterns are any predictable regularity (Mulligan & Mitchelmore, 2009). Patterns can be classified as numerical or non-numerical (Smith, 1997). Patterns can be classified as linear and quadratic (Stacey, 1989). as well as patterns can be classified into numerical patterns, pictorial patterns, repeating patterns, and linear and quadratic patterns (Zazkis & Liljedahl, 2002).

Many researchers have sought to study the stages or levels of development of pattern recognition ability. There are studies that show students do not have difficulty with generalization of patterns, for example, in a study conducted by Cathcart et al. (2003) asserted children can learn to see relationships and generalize. In a study conducted by Lannin (2005), which aimed to understand students' thinking and their ability to generalizations, the results showed that students can easily generalize the pattern. In study was conducted by Lee and Freiman (2006), results showed researchers found that children could discover patterns more easily at an early age. In a study made by Amit & Neria (2008), it was aimed to focus on the generalization methods used by students in solving linear and non-linear pattern problems. Results showed that students can easily generalize patterns. In a study made by Akkan (2013), it was aimed to determine strategies when dealing with problems related to linear and quadratic patterns. As a result of the study, it showed students' efficiencies of generalizing patterns and the variety of their strategies.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

However, there are some other studies that have indicated many of the difficulties students encounter in patterns generalization. For example, in a study made by Çayır and Akyüz (2015), it was aimed to determine the pattern generalization strategies of 9th grade students, a result of the study, students had difficulty in finding the generalization rule algebraically. As for study conducted by Andini and Suryadi (2017), As a result of the study, most students could not understand pattern generalization problems. As for study made by Yeşildere and Akkoç (2011), it was aimed to determine the strategies which a total of pre-service teachers used to teach how to find the rule of patterns. As a result of the study, it was determined that the pre-service teachers had some difficulties related to patterns.

It is clear in these previous studies that patterns were among the subjects in algebra which some students had difficulty comprehending and there were already some difficulties related to the concept of pattern, and how to perceive the pattern algebraically (Lee, 1996). For students to become creative in understanding patterns and perceive an algebraically useful pattern. Overcoming all these difficulties, it is necessary to know students' thinking levels of pattern understanding and to give recommendations and suggestions that mitigate and reduce these difficulties. Therefore, this study aims to an examination of Libyan and Turkish Students' Thinking Levels Through their Generalization in Quadratic Patterns according to SOLO Taxonomy. This study is like some studies that identified the level of students' thinking and their knowledge of patterns, as well as in the tools used and their use of SOLO Taxonomy as in mathematics at different levels in the literature as a study (Lam & Foong, 1996; Pegg & Coady, 1993; Bağdat, 2013; ÇELİK, 2007; Elazzabi & Kaçar, 2020). The current study differs from previous studies in that it examines the thinking levels of students of two countries in quadratic patterns generalization according to SOLO Taxonomy. Therefore, being in line with the stated aim, answers to the following questions were sought in the study:

1. What are Libyan and Turkish students' thinking levels Through their quadratic patterns' generalization according to SOLO Taxonomy?
2. Is there a significant difference between the thinking levels of Turkish and Libyan students to quadratic patterns generalization?

Method

The Study Design

As it is descriptive in nature, The case study design was chosen as the most suitable for the nature of the current research objectives, which is one of the qualitative research methods, which allows to determine the attitudes, successes, and ideas of the group of participants (Miriam, 1991; Stake, 1994). The problem-solving thinking levels that the students applied to the quadratic patterns' generalization problems were analyzed according to the answers obtained by the developed measurement tool. SOLO Taxonomy was used to examine the students' thinking levels. The qualitative data obtained from the measurement tool prepared in Arabic and Turkish were analyzed.

Participants

In this study, the participants were consisted of 112 Libyan students at three high school in the city of Tripoli in Libya and 129 Turkish students at three high school in the city of Kastamonu in Turkey. The study was undertaken in the 2018-2019 academic year. As the schools were willing to open their

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

doors to carry out the study, convenient sampling was the primary choice for the working group selection (Patton, 1987). Since these students were in the high grade in high schools and they were about to finish from high study, the working group had already studied quadratic patterns and they had the knowledge of quadratic patterns in order to solve the questions asked in this study.

Data Collection Tools

In the study, a four-problems test regarding quadratic patterns generalization was given to the students as data collecting tool, and In addition to Benefit some from the literature as (Ontario, 2013) were also consulted in developing this test. The data of the study were obtained through this test. The test was conducted in the 2018 –2019 academic year. Test is shown in the finding section. Each of the problems in the test are designed to reflect the students' level of thinking in quadratic patterns generalization. Academics' views in mathematics education were taken in Faculty of Education, Kastamonu University with research experience in algebraic thinking and pattern generalization reviewed the instrument to determine whether the questions were appropriate and valid in terms of language, level, and content. For the reliability of data obtained from the test, compatibility between the encoders was taken into consideration. After the students' answers were encoded independently by two supervisors, the student's answers were encoded independently by two supervisors, the Cohen's Kappa concordance coefficient was calculated. Results of Cohen's kappa coefficient were 0.87. Therefore, this result is enough for measuring the consistency of the encoder analysis.

Data Analysis

In this study, according to the descriptive research method the students' responses were analysed according to SOLO taxonomy. The students' responses examined in detail and their thinking levels regarding generalization in quadratic pattern according to SOLO taxonomy. The thinking levels of SOLO Taxonomy and how these assessments were undertaken are explained in below (Biggs & Collis 1991):

Pre-structural Level (PSL): This is the lowest level of SOLO taxonomy on which students cannot understand the problem. Misinterpretation of the problem. Unrelated answers.

Uni-structural Level (USL): In this level, students understanding of the problem is limited. Students focus on one aspect of the problem. Since students focus on only one aspect of the problem, so the answers are limited and unenough.

Multi-Structural Level (MSL): In this level, students can establish a more complex relation. Students use several aspects of the problem without comprehending the relations between them, so students cannot connect these aspects. This means there is no relational connection between students answers.

Relational-Structural Level (RSL): In this level, students can generalize the relation. Students give a rule or formula for the relation. Students understand all the aspects of the problem in relation to the answer. Therefore, they can connect these aspects in this level.

Abstracted-Structural Level (ASL): This is the highest level of SOLO taxonomy on which students can thinking and generalize beyond the data. Students create new things. Students go beyond the problem to develop a new strategy to reach a solution.

Students' responses to the test were classified with the help of a numerical scale depending on the SOLO taxonomy (Mooney, 2002; Rider, 2004). The answers were coded as:

"1" For Pre-structural level (PSL),

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

"2" For answer at the Uni- Structure level (USL),

"3" For an answer at the Multi- Structure level (MSL),

"4" For answer at the relational Structure level (RSL).

In addition, when students no answered for questions (Blank), the symbol is "0".

In this way, thinking levels of Libyan and Turkish students regarding quadratic pattern generalization according to SOLO taxonomy were determined. Obtained results were interpreted by conducting percentage, arithmetic average, graphic shapes, Mann Whitney U-Test was used as an alternative test of T-test.

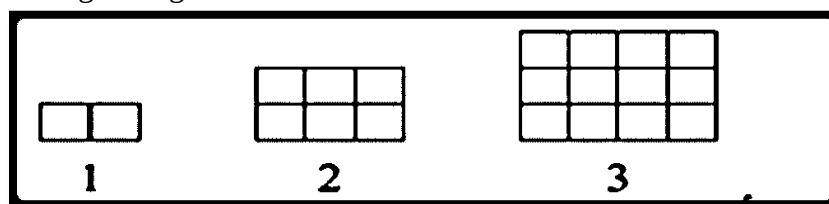
Finding

In this study, The responses of the Libyan and Turkish students were analyzed according to SOLO taxonomy, then the findings obtained were presented in graphs with examples from students. At least one sample was presented from both countries and student answers will be displayed at the highest level students have reached in every problem. They were carefully selected to represent other In addition, data obtained from study were analysed with SPSS computer program.

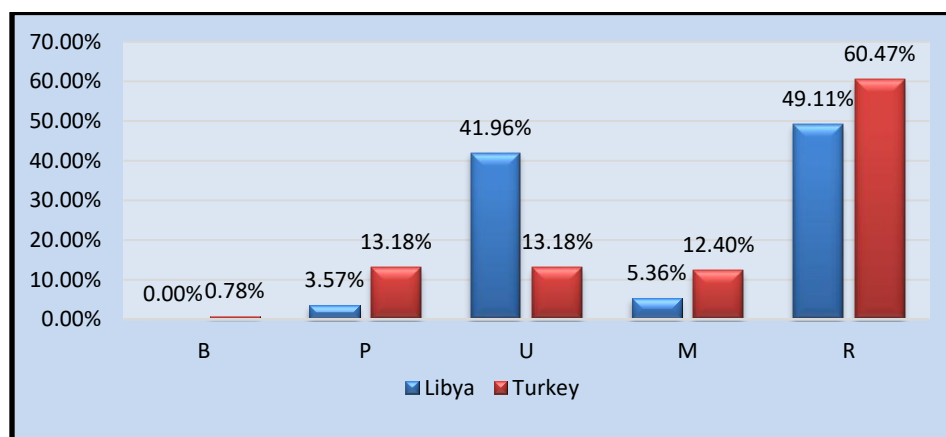
Findings and Comments Related to the First Research Question

The findings of the analysis of the students' responses to the first problem.

problem 1: Find the rule that relates the pattern number to the number of blocks and identify how the pattern is growing.



The analysis of the answers given to the 1st problem according to the SOLO taxonomy is given in the Graph 1.



Graph 1. The Analysis Of The Answers Given To The 1st Problem According To The SOLO Taxonomy

As is seen in the graph1, the findings indicate that a majority of the Turkish and Libyan students participating in the study can demonstrated relational-structural level thinking in solving the first problem. As for the Libyan students, 49.11 % of are at the relational-structural level (RSL), and For the Turkish students, 60.47% of are at the relational-structural level (RSL). In this problem, it means that students thinking levels in regarding generalization quadratic patterns are high. In addition, Turkish students' level was higher than the Libyan student's level. Some of the answers given by the Libyan and Turkish students at the relational -structural level are given below:

2×1	2	1
3×2	6	2
4×3	12	3

Figure 1. a Libyan students' sample answers to first problem

Kural = $n^2 + n$

→ 1. örüntü $1^2 + 1 = 1$
 → 2. örüntü $2^2 + 2 = 6$
 → 3. " $3^2 + 3 = 12$
 → 4. " $4^2 + 4 = 20$ diye devam eder.

Figure 2. a Turkish students' sample answers to first problem

As for figures 1 and 2 students were able to provide a correct answer to this question. Students have the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method, students took on a good step in the solution, students were able to solve the problem by using appropriate steps, and students can formulate a pattern rule. They could generalize the relation and put a rule, they could find the rule that relates the pattern number to the number of blocks, and they could identify how the pattern is growing. For this reason, the students' answers accepted to be at RSL.

The findings of the analysis of the students' responses to the second problem.

Problem 2: The following table shows the side length and area of a square. Side length of square = x.

Side length	1	2	3	
The area	1	4	9	64

(a) Find the missing value on the table.

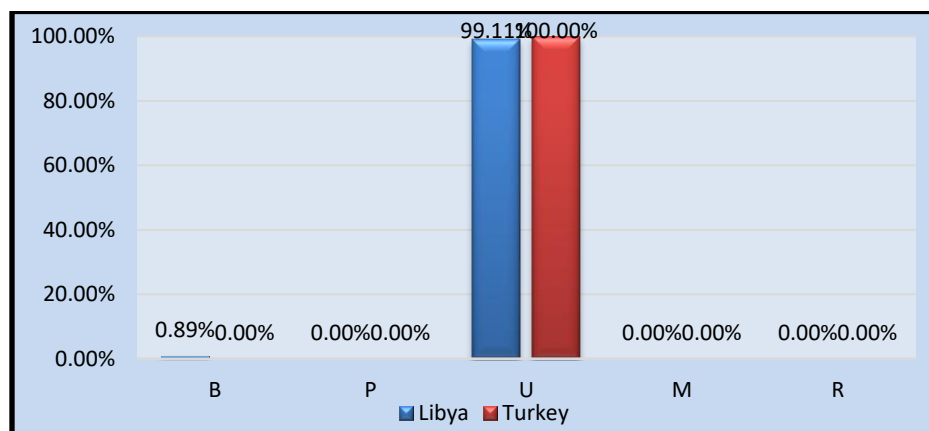
(b) Do you see any patterns in the table, if so? Describe them.

(c) If there is pattern, what is the formation rule of the numbers in the pattern?

Here present the findings of the analysis of the students' responses to the second problem, which is in three parts.

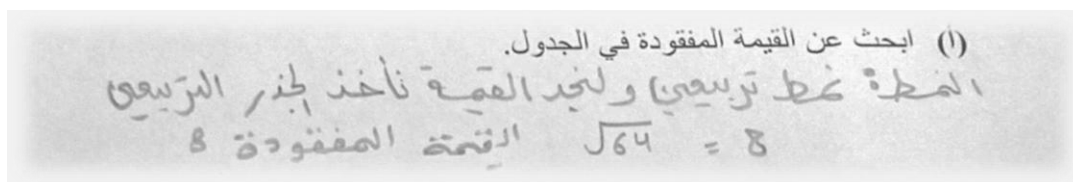
journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

Problem 2 - Part a: The analysis of the answers given to the 2nd problem - part (a) according to the SOLO taxonomy.



Graph 2. The analysis of the answers given to the 2nd problem according to the SOLO taxonomy: Part a

As is seen in the graph 2, findings indicate that a large proportion of the Libyan and Turkish students participating in the study can succeed in answer to part (a), the most common level for students in both countries was the Uni-structural level. Where the Libyan students, 99.11 % of was at the uni-structural level (USL), and For the Turkish students, 100% of are at the uni-structural level (USL). In addition, Turkish students' level was higher than the Libyan students' level. Some of the answers given by the Libyan and Turkish students at the uni-structural level are given below:



[Taking the square root of 64, the missing value is 8.]

Figure 3. A Libyan students' sample answers to second problem – Part a

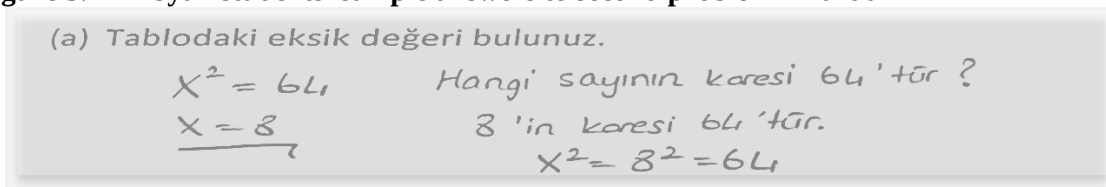
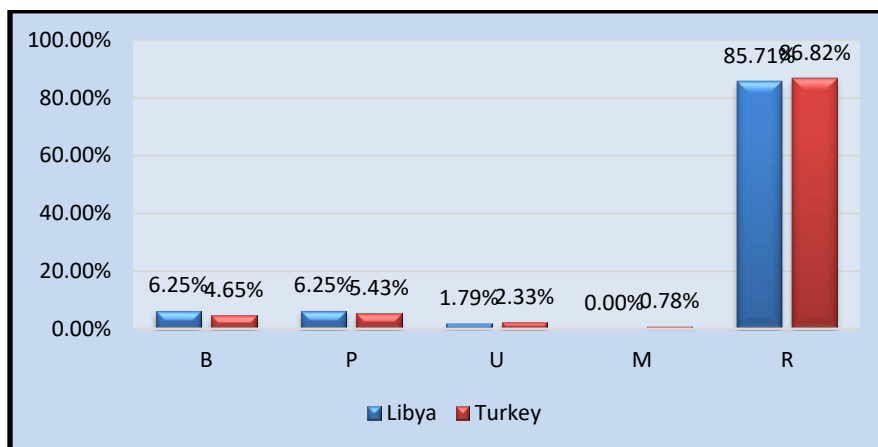


Figure 4. A Turkish students' sample answers to second problem – Part a

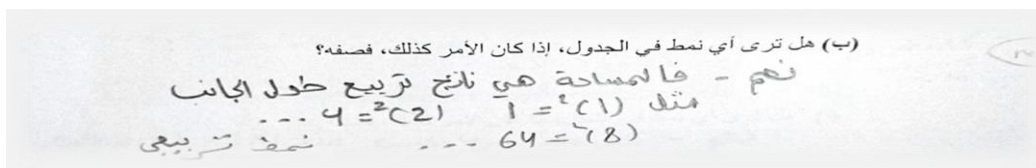
As shown in Figures 3 and 4, these two students could provide a correct answer to this problem, which suggests that they had the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method. The students took on a good step for the solution and they can complete the solution, this indicates students' understanding of quadratic patterns. For this reason, the students' answers were accepted to be at USL in part (a).

Problem 2 - Part b: The analysis of the answers given to the 2nd problem - part (b) according to the SOLO taxonomy.



Graph 3. The Analysis of The Answers Given to the 2nd Problem According to The SOLO Taxonomy: Part B

Here, it was observed that a large proportion of the Turkish and Libyan students participating in the study can succeed in advancing toward advanced thinking levels. As for the Libyan students, 85.71 % of are at the relational-structural level (RSL), and For the Turkish students, 86.82% of are at the relational-structural level (RSL). It means that students thinking levels in regarding the formulation of quadratic patterns are high and a large percentage of the Libyan and Turkish students were able to knowledge the pattern and its description. Some of the answers given by the Libyan and Turkish students at the relational-structural level are given below:



[area is squaring the side length, and the pattern is a quadratic pattern]

Figure 5. A Libyan students' sample answers to second problem – Part b

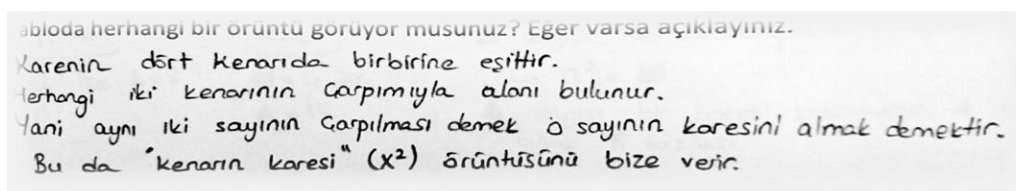
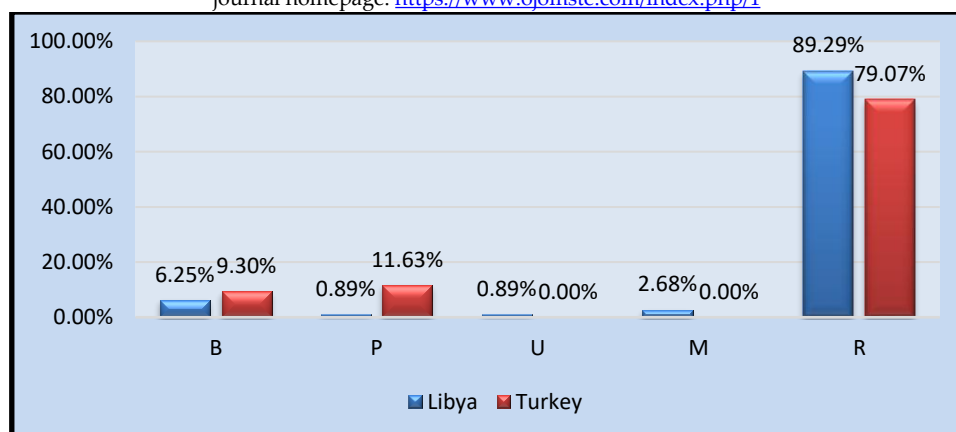


Figure 6. A Turkish students' sample answers to second problem – Part b

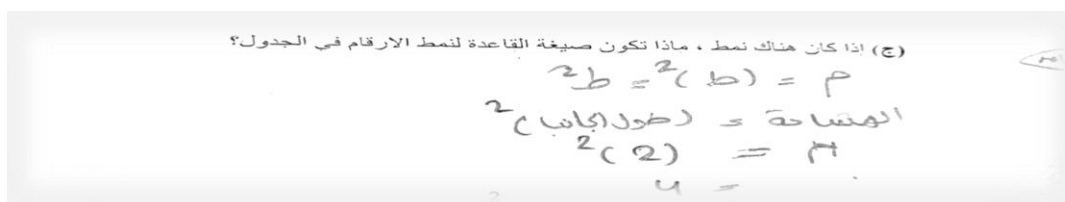
As shown in Figures 5 and 6, these two students could provide a correct answer to this problem, which suggests that they had the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method. The students took on a good step for the solution and they were able to knowledge the pattern and its description, this indicates students' understanding of quadratic patterns . For this reason, the students' answers were accepted to be at RSL in part (b).

Problem 2 - Part c: The analysis of the answers given to the 2nd problem - Part (c) according to the SOLO taxonomy.



Graph 4. An analysis of the answers given to the 2nd problem according to the SOLO taxonomy: Part c

As is seen in the graph4, it was observed that a large proportion of the Turkish and Libyan students participating in the study can succeed in advancing toward advanced thinking levels. As for the Libyan students, 89.29 % of are at the relational-structural level (RSL), and For the Turkish students, 79.07 % of are at the relational-structural level (RSL). It means that students thinking levels in regarding the formulation of quadratic patterns are high and a large percentage of the Libyan and Turkish students were able to knowledge the pattern and find the formation rule of the pattern. Despite this, Libyan students' level was higher than the Turkish students' level. Some of the answers given by the Libyan and Turkish students at the relational-structural level are given below:



[The area is equal to the square of the side length, $m = (L)^2$, L = side length]

Figure 7. A Libyan students' sample answers to second problem – Part c

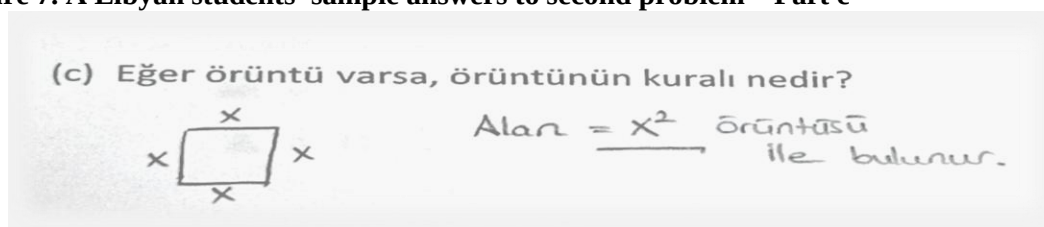


Figure 8. A Turkish students' sample answers to second problem – Part c

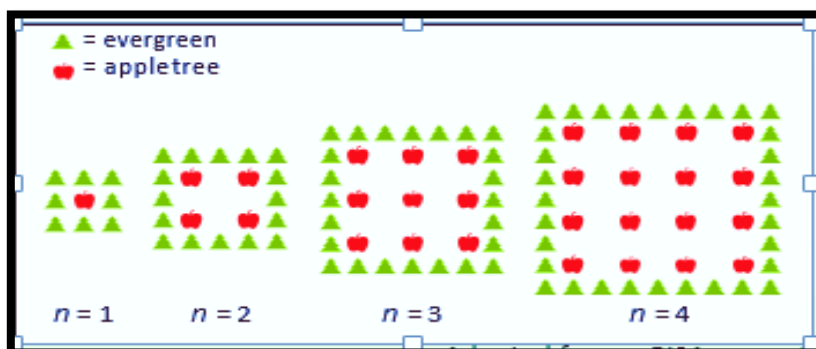
In the answers given in figures 7 and 8, where students were able to provide a correct answer. Students have the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method. Students took a good step in the solution, they could find the formation rule of the pattern, and they could generalize the relation and put a rule of the pattern. For this reason, the students' answers accepted to be at RSL.

The findings of the analysis of the students' responses to the third problem.

Problem 3: Ali, his neighbors who farm apples. They plant their apple trees in square patterns in each orchard. To protect the trees from the wind, they plant evergreens all around the orchard the diagram

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

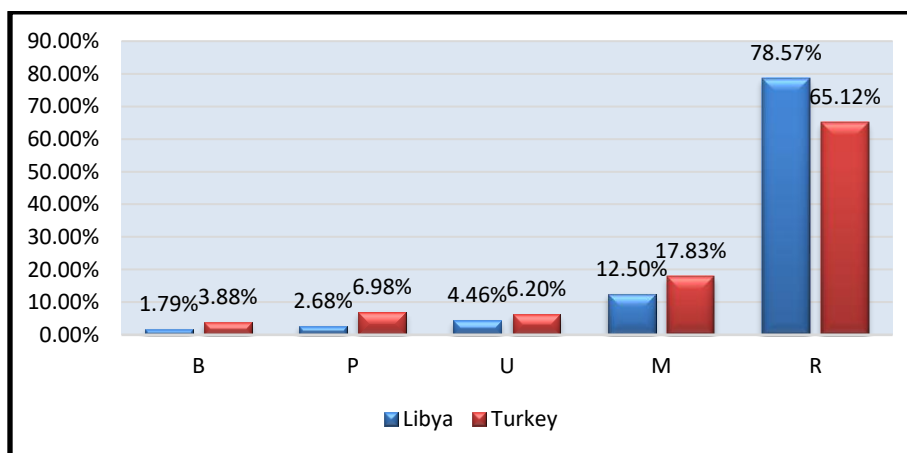
to the below illustrates the pattern of apple trees and evergreens for any number (n) of rows of apple trees.



- Do you see any patterns in the diagram? If so, describe them.
- How many of each type of tree will be there when $n = 6$?
- When does the number of apple trees equal the number of evergreens? Justify your response.
- How does the growth of the number of apple trees compare with the growth of the number of evergreens?

Here present the results of the analysis of the students' responses to the third problem, which is in four parts.

Problem 3 - Part a: The analysis of the answers given to the 3rd problem - part (a) according to the SOLO taxonomy.



Graph 5. The analysis of the answers given to the 3rd problem according to the SOLO taxonomy: Part a

As is seen in the Graph5, findings indicate that a large proportion of the Turkish and Libyan students participating in the study can succeed in advancing toward advanced thinking levels. As for the Libyan students, 78.57 % of are at the relational-structural level (RSL), and For the Turkish students, 65.12% of are at the relational-structural level (RSL). In this problem, it means that students' thinking levels in regarding the formulation of quadratic patterns are high. In addition, Libyan students' level

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

was higher than the Turkish students' level especially at the relational-structural level. Some of the answers given by the Libyan and Turkish students the relational structural level is given below:

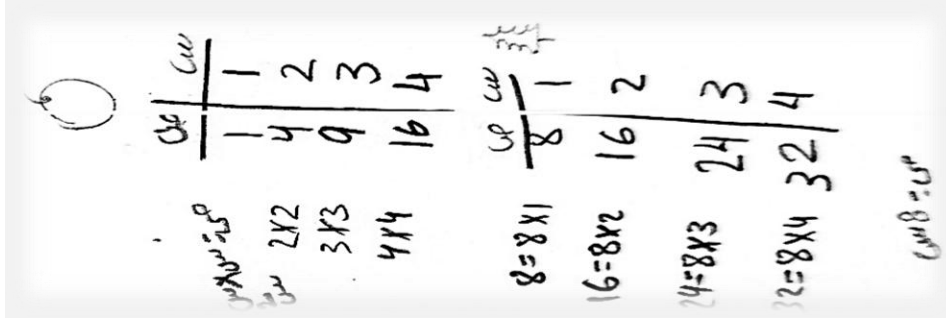


Figure 9. a Libyan students' sample answers to third

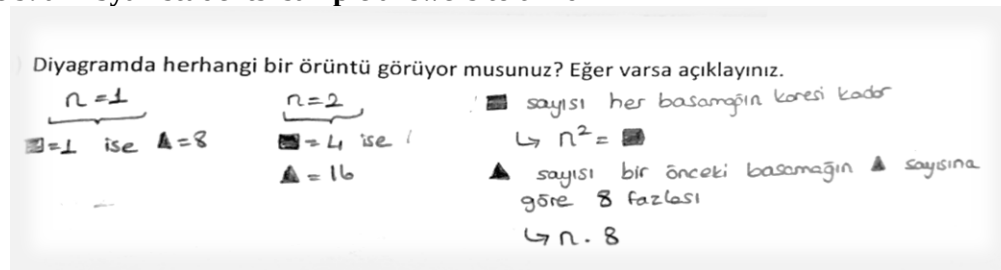
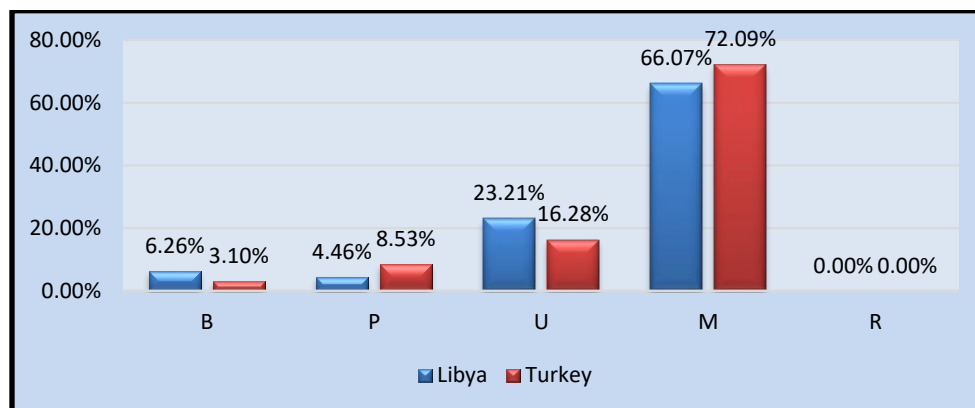


Figure 10. a Turkish students' sample answers to third problem – Part a

As for figures 9 and 10 students were able to provide a correct answer to this problem. Students have the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method, students took on a good step in the solution, students were able to solve the problem by using appropriate steps. Where students can see the pattern in the diagram, description of pattern and they could identify how the pattern is growing, and also they could generalize the relation and put a rule. For this reason, the students' answers accepted to be at RSL.

Problem 3 - Part b: The analysis of the answers given to the 3rd problem - part (b) according to the SOLO taxonomy.

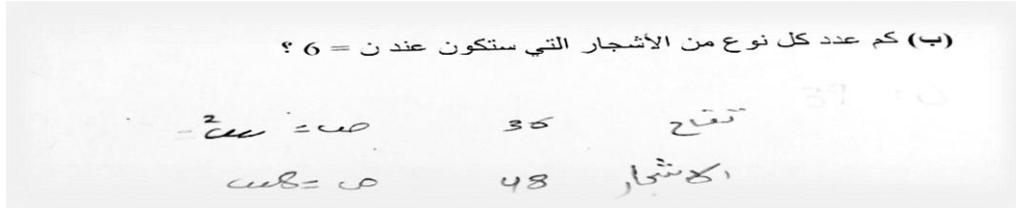


Graph 6. The analysis of the answers given to the 3rd problem according to the SOLO taxonomy: Part b

As is seen in the Graph6, findings indicate approximately 66.07% of the Libyan students tried to solve the problem at multi-structural, 23.21% are at the uni- structural level (USL), and 4.46% were at the pre-structural level (PSL). For the Turkish students, 72.09 % of are at the multi-structural level (MSL),

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

16.28% are at the uni- structural level (USL), and 8.53 % were at the pre-structural level (PSL). In this question, most levels of the students were multi-structural level. Some examples from solutions of students are as follows:



[Apple = $36/y = x^2$ but trees = $48/y = 8x$]

Figure 11. a Libyan students' sample answers to third problem – Part b

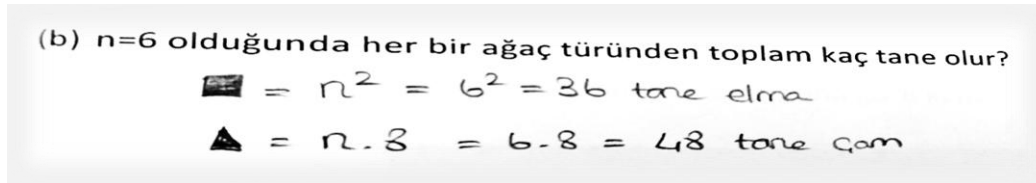
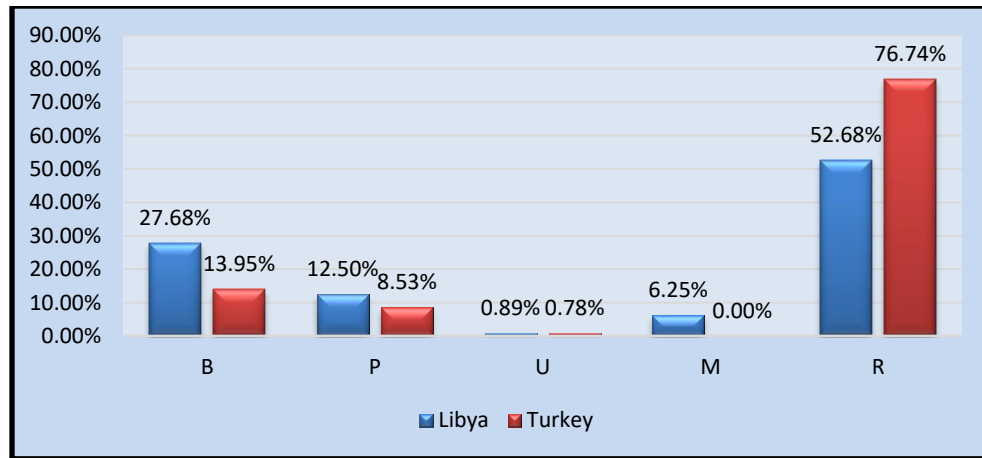


Figure 12. a Turkish students' sample answers to third problem – Part b

As shown in Figures 11 and 12, these two students could provide a correct answer to this problem. The students took on a good step for the solution and the students' answer indicates their knowledge of how the pattern grew, so students were able to know the number of tree species at $n = 6$. For this reason, the students' answers were accepted to be at MSL in part (b).

Problem 3 - Part c: The analysis of the answers given to the 3rd problem - Part (c) according to the SOLO taxonomy.



Graph 7. The analysis of the answers given to the 3rd problem according to the SOLO taxonomy: Part c

As is seen in the Graph7, the findings indicate that a majority of the Turkish and Libyan students participating in the study can demonstrated relational-structural level thinking in solving the problem, suggesting a relatively high level of understanding of quadratic pattern generalization. The following samples give examples of answers that are acceptable at RSL:

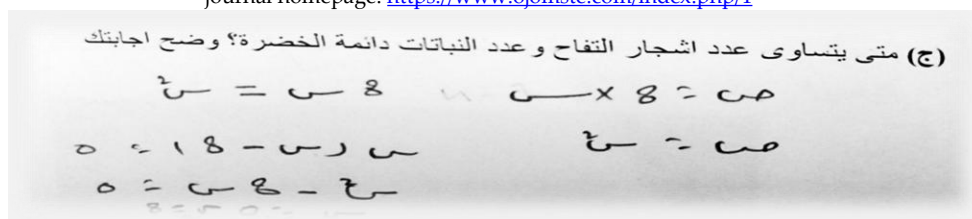
journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

Figure 13. a Libyan students' sample answers to third problem – Part c

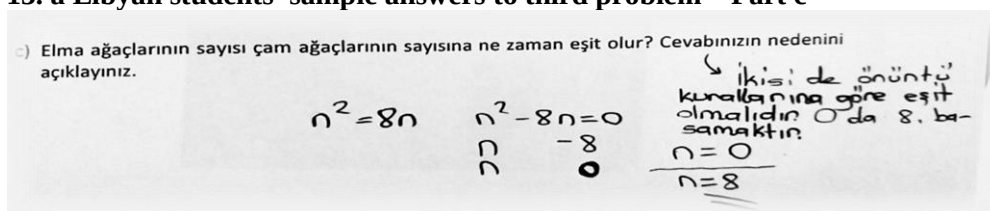
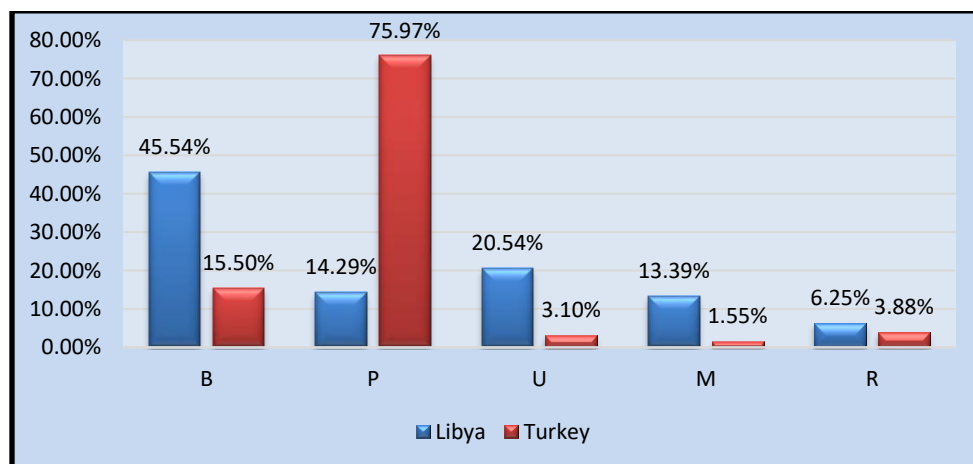


Figure 14. a Turkish students' sample answers to third problem – Part c

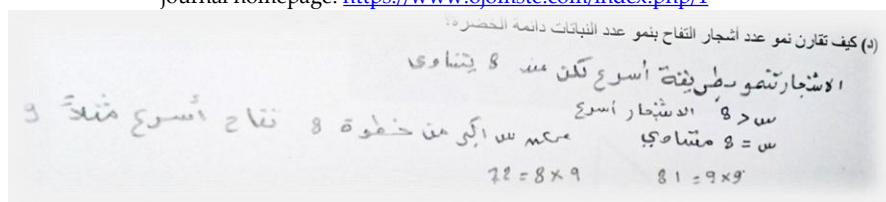
In figures 13 and 14, the students have the necessary knowledge and skills to solve part C of the third problem, and they have experience in mathematics laws. The students took the appropriate steps to achieve the solution and they analyzed the mathematical quadratic equation to find the solution. For this reason, the students' answers were accepted to be at RSL.

Problem 3 - Part d: The analysis of the answers given to the 3rd problem - part (d) according to the SOLO taxonomy.



Graph 8. The analysis of the answers given to the 3rd problem according to the SOLO taxonomy: Part d

A few students from each of the countries were able to achieve the full answer. We note that the highest percentage of students who answered this problem were Libyan students at the relational-structural level (RSL). However, this represents very low percentage, which indicates that most students have difficulty and failed in example answer and they cannot compare the growth of the number of apple trees with the growth of the number of evergreens. Therefore, students' answers could not be assessed as a product of advanced thinking. It can be concluded that the students failed to perform the transition to the advanced thinking level in problem 3 - Part d. Below are examples of answers that are accepted at RSL.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

[When $x < 8$, evergreens grow faster. / When $x > 8$, apple trees grow faster. / When $x = 8$, the number of apple trees and evergreen trees is equal.]

Figure 15. a Libyan students' sample answers to third problem – Part d

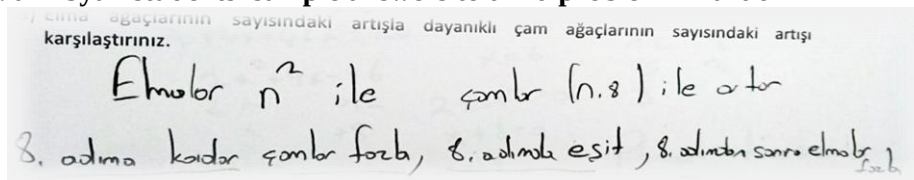
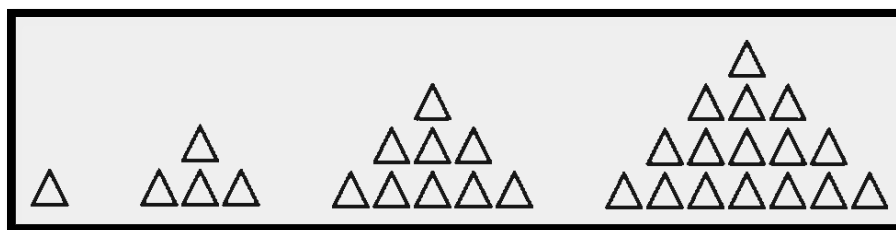


Figure 16. a Turkish students' sample answers to third problem – Part d

The answers given in figures 15 and 16 show that these two students had the necessary knowledge to find the solution and understand pattern problems. The students took the appropriate steps to achieve the solution. Students can compare how the growth of the number of apple trees with the growth of the number of evergreens. Two students answers could be assessed as a product of advanced thinking.

The results of the analysis of the students' responses to the fourth problem.

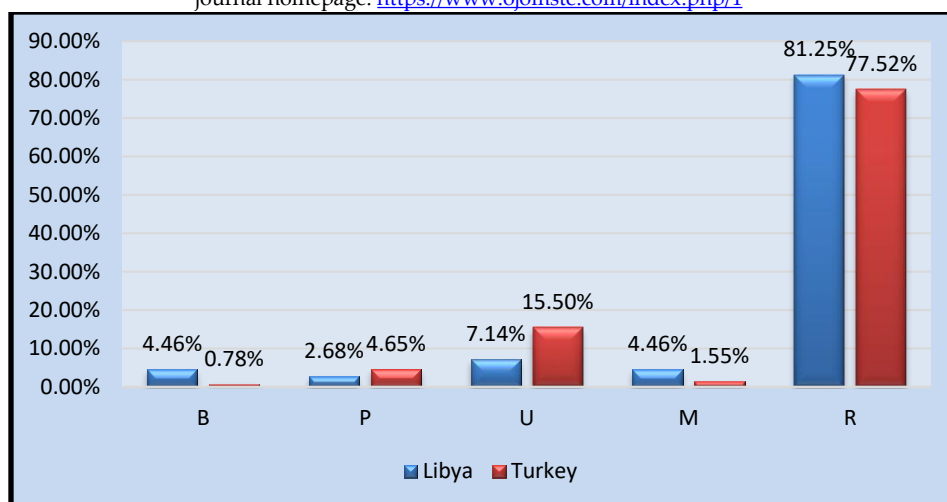
Problem 4: If we have the following diagram:



- Do you see any patterns in the diagram? If so, describe them.
- Continue the pattern for $n=5$.
- Writing an algebraic equation of a pattern in paragraph (a).

Here are the results of the analysis of the students' responses to the four problems, which is in three parts.

Problem 4 - Part a: The analysis of the answers given to the 4th problem - part (a) according to the SOLO taxonomy.



Graph 9. The analysis of the answers given to the 4th problem according to the SOLO taxonomy: Part a

As is seen in the graph 9, it was observed that a large proportion of the Turkish and Libyan students participating in the study can succeed in advancing toward advanced thinking levels. As for the Libyan students, 81.25 % of are at the relational-structural level (RSL), and For the Turkish students, 77.52% of are at the relational-structural level (RSL). It means that students thinking levels in regarding the formulation of quadratic patterns are high and a large percentage of the Libyan and Turkish students were able to knowledge the pattern and its description. Despite this, Libyan students' level was higher than the Turkish students' level. Some of the answers given by the Libyan and Turkish students at the relational-structural level are given below:

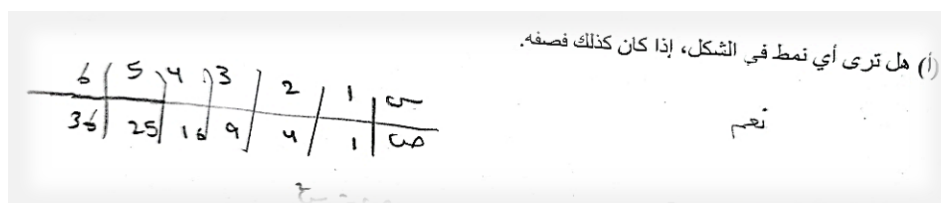


Figure 17. a Libyan students' sample answers to fourth problem – Part a

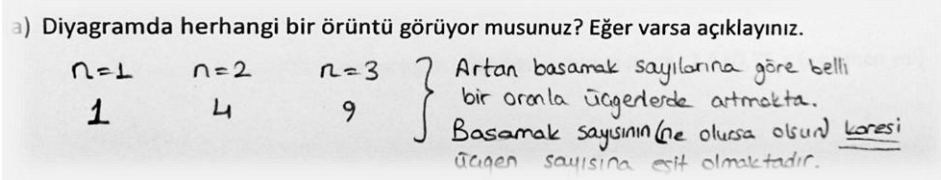
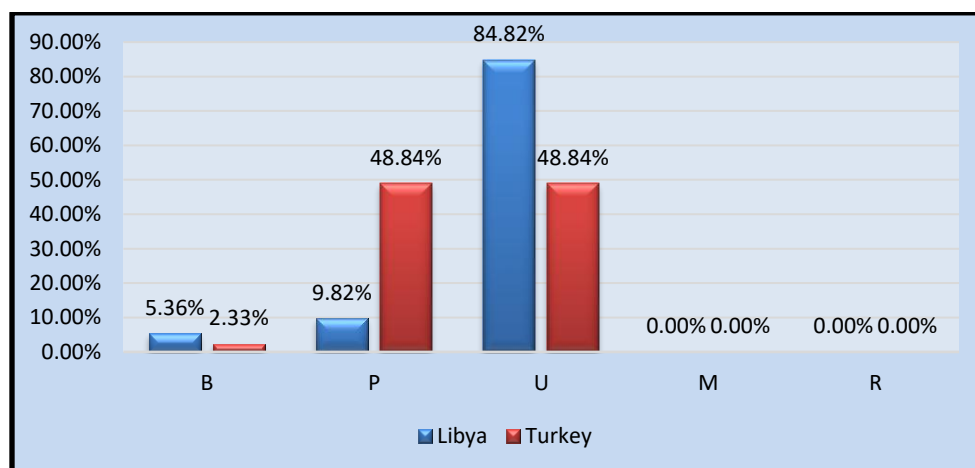


Figure 18. a Turkish students' sample answers to fourth problem – Part a

As shown in figures 17 and 18, these two students could provide a correct answer to this problem, which suggests that they had the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method. The students took a good step for the solution, and they were able to knowledge the pattern and its description, this indicates students' understanding of quadratic patterns. For this reason, the students' answers were accepted to be at RSL.

Problem 4 - Part b: The analysis of the answers given to the 4th question - part (b) according to the SOLO taxonomy.



Graph 10. The analysis of the answers given to the 4th problem according to the SOLO taxonomy: Part b

As is seen in the Graph 10, The findings indicate that a majority of the Turkish and Libyan students participating in the study can uni-structural level thinking in solving the problem. the Libyan students, 84.82% are at the uni- structural level (USL), and 9.82% were at the pre-structural level (PSL). For the Turkish students, 48.84% are at the uni- structural level (USL), and 48.84 % were at the pre-structural level (PSL). Some examples from solutions of students are as follows, it explains students can use arithmetic and descriptive methods properly and they can describe pattern but not generalize, meaning students cannot use algebraic methods.

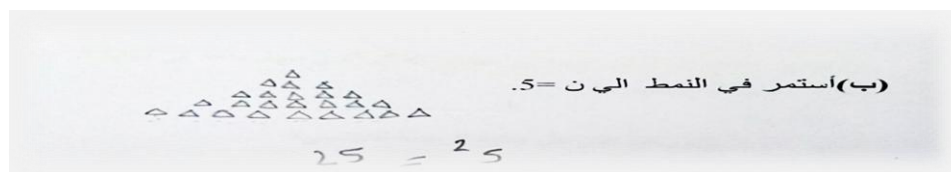


Figure 19. a Libyan students' sample answers to fourth problem – Part b

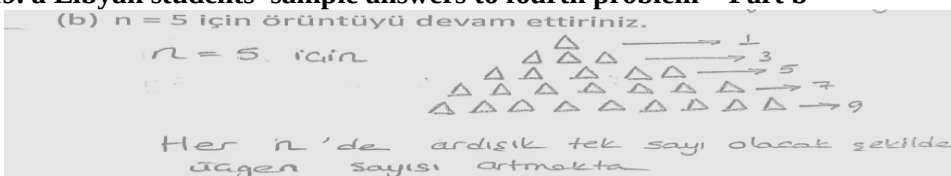
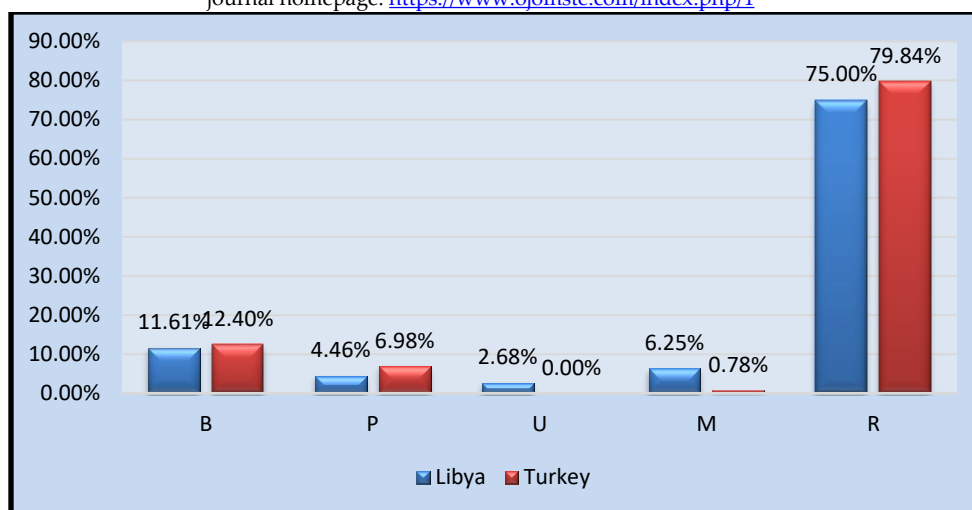


Figure 20. a Turkish students' sample answers to fourth problem – Part b

As shown in Figures 19 and 20, these two students could provide a correct answer to this problem, which suggests that they had the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method. The students took on a good step for the solution and obviously, It explains students can use arithmetic and descriptive methods properly and they can describe pattern but not generalize. For this reason, students' answers are accepted in USL.

Problem 4 - Part c: The analysis of the answers given to the 4th problem - part (c) according to the SOLO taxonomy.



Graph 11. The analysis of the answers given to the 4th problem according to the SOLO taxonomy: Part c

As is seen in the graph11, it was observed that a large proportion of the Turkish and Libyan students participating in the study can succeed in advancing toward advanced thinking levels. As for the Libyan students, 75.00 % of are at the relational-structural level (RSL), and For the Turkish students, 79.84 % of are at the relational-structural level (RSL). It means that students thinking levels in regarding the formulation of quadratic patterns are high and a large percentage of the Libyan and Turkish students were able to knowledge the pattern and find the formation rule of the pattern. Despite this, Turkish students' level was higher than the Libyan students' level. Some of the answers given by the Libyan and Turkish students at the relational-structural level are given below:

(ج) اكتب المعادلة جبرية للنمط في الفقرة (أ).
 $y = n^2$

[student answer: $y = n^2$]

Figure 21. a Libyan students' sample answers to fourth problem – Part c

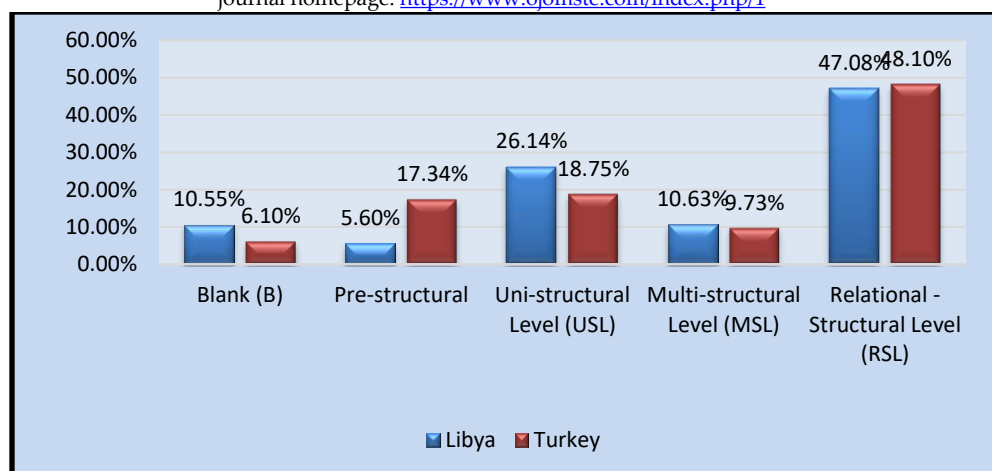
(a) şıkında açıkladığınız örüntünün cebirsel denklemini yazınız.
 Basamağın değeri = n^2
 Basamak = n

Figure 22. a Turkish students' sample answers to fourth problem – Part c

In the answers given in figures 21 and 22, where students were able to provide a correct answer. Students have the necessary knowledge and skills to present a solution using the right method. Students took a good step in the solution, they could find the formation rule of the numbers in the pattern, and they could generalize the relation and put a rule of the pattern. For this reason, the students' answers accepted to be at RSL.

Findings and Comments Related to the Second Research Question

This section presents the findings of the analysis of the responses of the Libyan and Turkish students to all four problems.



Graph 12. Overall analysis of the answers of the Libyan and Turkish students to the four problems according to the SOLO taxonomy

Graph 12 shows that 47.08% Libyan students are at the relational-structural level (RSL), 10.63% students are at the multi-structural level (MSL), 5.60% are at pre-structural, 26.14% are at uni-structural (USL) thinking levels, and the remaining are about 10.55% did not attempt to solve the problem. For the Turkish students, 48.1% of are at the relational-structural level (RSL), 9.73% students are at the multi-structural level (MSL), 17.34% are at pre-structural, 18.75 % are at uni-structural (USL) thinking levels, and the remaining 6.1% are not attempted to solve the problem.

Findings indicates that a large proportion of the Turkish and Libyan students participating in the study can succeed in advancing toward advanced thinking levels in questions requiring skill of generalization in quadratic pattern. Comparing students of the two countries, the percentage of the Turkish and Libyan students with thinking levels at MSL and RSL in the problems was somewhat similar.

In addition, Mann Whitney U - test was conducted to determine whether is there a significant difference between the levels defined by the SOLO taxonomy of the ability of Turkish and Libyan students of Generalization in Quadratic Pattern. The findings are given in table 1.

Table 1. Findings of Mann Whitney U - Test Related to Formulation Quadratic Patterns Skills

Groups	N	Mean Rank	Sum of Ranks	U	P	Z
Libya	112	118.17	13234.50	6906.500	0.555	-0.590
Turkey	129	123.46	15926.50			

According to the Mann Whitney U-Test findings, there is not a significant difference between of Turkish and Libyan students' levels in algebraic thinking test of skill of generalization in quadratic Pattern ($U = 6906.500$, $p = 0.555 > 0.05$, $z = -0.590$).

Discussion, Conclusion, Recommendations and suggestions

The current study aimed to examination the thinking levels of Libyan and Turkish students' quadratic patterns generalization according to SOLO Taxonomy, because SOLO taxonomy is used as tool to measure mathematical thinking levels of students, and SOLO taxonomy is used to evaluate the problem-solving procedures of the students and their understanding level of the concepts (Lian & Idris, 2006; Pegg & Tall, 2005) in mathematics. For this in this study, students' knowledge and

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

thinking levels were analyzed according to SOLO taxonomy. SOLO taxonomy provided information about the thinking levels of the students on quadratic patterns generalization problems.

According to the findings, the study findings showed that Turkish and Libyan students have a good level in quadratic patterns generalization. It was determined that most students are the relational structure thinking level in generalization in quadratic pattern, and a large proportion of the Turkish and Libyan students participating in the study can succeed in advancing toward advanced thinking levels, where 47.1% of Libyan students were at the related structure level and 48.1% of Turkish students were at the related structure level, This means that students can integrate their knowledge and skills in strong and cohesive structure. Those students their answers were require conceptual and operational knowledge and that operational and conceptual knowledge are very essential to be successful in mathematics (Hiebert & Carpenter, 1992). In addition, enabling students to the basic rules in mathematics, especially related to quadratic pattern , their success to determine how the pattern grows, their description of the pattern, and their writing of the algebraic equation of the pattern and this is an indication of the solidity of their knowledge and skill in the formulation quadratic patterns. The results of some studies support this finding, which has shown significant progress in generalizations (Olkun, Şahin, Akkurt, Dikkartın, & Gülbağcı, 2009; Berg, 2012).

However, some students struggle to use generalization correctly and fail to arrive at conclusions in problems that require it. 10.63% of Libyan students were at the multi-structural level (MSL), 26.14% of were at uni-structural (USL) thinking levels, and 9.73% of Turkish students were at the multi-structural level (MSL), 18.75 % of were at uni-structural thinking levels (USL). but these students did not apply generalization correctly, and they did not reach a conclusion. This is attributed to some students not using an appropriate method for answering questions neglect or to oversights. Furthermore, some students used computational methods to find the steps of generalization and arrived at the conclusion and the rule formula by generalizing those steps. In a study by Lian and Idris (2006) assessing the algebraic problem-solving skills of tenth-grade students using the SOLO classification, they found that low-performing students used drawing and counting methods. Similarly, some students did not consider the number of positions in the pattern, focusing only on the difference between consecutive positions. MacGregor & Stacey (1996) observed a similar situation in their study.

At the pre-structural level, approximately 10.6% of Libyan students and 6.1% of Turkish students left questions blank. This is because some students did not attempt to answer the questions due to inattention, or because their answers were irrelevant. However, these students' results do not reflect the overall level of students' ability to formulate generalizations. According to Potter and Kustra (2012), the pre-construction level should be excluded from the levels of thinking, since students generally have no grasp of any subject at this level.

When examining the results obtained using SPSS software, no statistically significant difference ($p = 0.05$) was found between the levels of Libyan and Turkish students' ability to formulate generalizations ($U = 6906,500$, $p = 0.555 > 0.05$, $z = -0.590$). Therefore, it can be concluded that the levels of Libyan and Turkish students in generalization in quadratic patterns are equivalent.

The concept of patterns is fundamental in mathematics. understanding students' level of thinking, and their knowledge of patterns is crucial, and the methods and techniques used by teachers in the classroom play a crucial role in developing thinking skills. Therefore, the following recommendations should be considered:

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

- Teachers should effectively utilize modern teaching methods to cultivate students thinking skills.
- classroom activities, questions, and worksheets should be presented in a way that effectively helps students acquire generalization to patterns.
- Students should be supported in developing their thinking patterns and improving their thinking levels through problem-solving.
- Supporting students in transferring their thinking skills from a design-based learning environment that focuses on "information retrieval" to an environment that encourages "analysis and synthesis".

Based on the study finding, the following suggestions are made:

- Numerous studies in various fields have been conducted in the educational literature according to the SOLO taxonomy. However, no studies in Libya based on this SOLO taxonomy have been found. Therefore, it should procedure many from studies according to SOLO taxonomy in different fields.
- This study was conducted on skill of quadratic patterns generalization . It is possible to conduct a study on other skills from thinking. In addition, it can work on other problems than the problems of this study.
- In studies to be made on the pattern, in future studies, students' insufficient knowledge, mistakes, and misperceptions about the concept of patterns can be determined.

References

- Akkan, Y. (2013). Comparison of 6th-8th graders' efficiencies, strategies and representations regarding generalization patterns. *Bolema*, 27 (47), 703-732 .
- Amit, M & Neria, D. (2008). Rising to the challenge: using generalization in pattern problems to unearth the algebraic skills of talented pre-algebra students. *ZDM Mathematics Education*, 40, 111–129
- Andini, W., & Suryadi, D. (2017). Student obstacles in solving algebraic thinking problems. *In Journal of Physics: Conference Series*, 895(1).
- Bağdat, O. (2013). İlköğretim 8. Sınıf Öğrencilerinin Cebirsel Düşünme Becerilerinin SOLO Taksonomisi İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir.
- Berg, D. M. (2012). Algebraic thinking in the elementary classroom. Doctoral Dissertation, *Simon Fraser University, Faculty of Education*. Canada.
- Biggs, J., & Collis, K. (1991). Multimodal learning and the quality of intelligent behaviour. In H. Rowe (Ed.), *Intelligence: Reconceptualization and measurement* (pp.57-76). New Jersey: Laurence Erlbaum Assoc.
- Cathcart, W. G., Pothier, Y. M., Vance, J. H., & Bezuk, N. S. (2003). *Learning mathematics in elementary and middle schools*. (3rd ed.). Englewood Cliffs, N.J.: Merrill/Prentice Hall.
- Çayır, M. Y., & Akyüz, G. (2015). 9. Sınıf öğrencilerinin örüntü genelleme problemlerini çözme stratejilerinin belirlenmesi. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 9(2), 205-229.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

- Çelik, D. (2007). Öğretmen Adaylarının Cebirsel Düşünme Becerilerinin Analitik İncelenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dindyal, J. (2003). Algebraic thinking in geometry at high level school. Doctoral Dissertation, Illinois Üniversitesi, Matematik Bölümü.
- Elazzabi, A., & Kaçar, A. (2020). Investigation of Libyan and Turkish students' thinking levels in solving quadratic word problems based on SOLO Taxonomy. *Pegem Eğitim ve Öğretim Dergisi*, 10(1), 283-316.
- Hargreaves, M., Shorrocks-Taylor, D., & Threlfall, J. (1998). Children's strategies with number patterns. *Educational Studies*, 24(3), 315-331.
- Hiebert, J., & Carpenter, T. P. (1992). Learning and teaching with understanding. *Handbook of research on mathematics teaching and learning: A project of the National Council of Teachers of Mathematics*, 65-97.
- Isik, D., & Tarim, K. (2009). The effects of the cooperative learning method supported by multiple intelligence theory on Turkish elementary students' mathematics achievement. Education Research Institute, Seoul National University, 10, 465– 474. doi: 10.1007/s12564-009-9049-5.
- Kaput, J. J. (2008). What is algebra? What is algebraic reasoning? In J. J. Kaput, D. W. Carraher, & M. L. Blanton (Eds.), *Algebra in the early grades* (pp. 235–272). New York, NY: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lam, P. ve Foong, Y. (1996). *Rasch analysis of math Solo taxonomy levels using hierarchical items in testlets*, ERIC-ED 398271.
- Lannin, J. K. (2005). Generalization and justification: The challenge of introducing algebraic reasoning through patterning activities. *Mathematical Thinking and Learning*, 7(3), 231-258.
- Lee, L. (1996). An initiation into algebraic culture through generalization activities. In *Approaches to Algebra* (pp. 87-106). Springer, Dordrecht.
- Lee, L., & Freiman, V. (2006). Developing algebraic thinking through pattern exploration. *Mathematics Teaching in The Middle School*, 11(9), 428-433.
- Lian, L. H., & Idris, N. (2006). Assessing algebraic solving ability of form four students. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 1(1), 55-76.
- MacGregor, M., & Stacey, K. (1996). Origins of students' interpretations of algebraic notation. In *PME Conference* (Vol. 3, pp. 3-297). *The Program Committee of the 18th PME Conference*.
- Miriam, S. B. (1991). Case study research in education. *San Francisco: Jossey-IBass*.
- Mooney, E. S. (2002). A framework for characterizing middle school students' statistical thinking. *Mathematical Thinking and Learning*, 4(1), 23-63.
- Mulligan, J., & Mitchelmore, M. (2009). Awareness of pattern and structure in early mathematical development. *Mathematics Education Research Journal*, 21(2), 33-49.
- NCTM. (1992). *Algebra for the twenty-first century. Proceedings of the August 1992 Conference*. Reston, VA: Author.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

- Olkun, S., Şahin, Ö., Akkurt, Z., Dikkartin, F. T., & Gülbağcı, H. (2009). Modelleme yoluyla problem çözme ve genelleme: İlköğretim öğrencileriyle bir çalışma. *Eğitim ve Bilim*, 34(151).
- Ontario Ministry of Education. (2013). *Paying Attention to Algebraic Reasoning: Support Document for Paying Attention to Mathematics Education*. Toronto: Queen's Printer for Ontario.
- Patton, M.Q. (1987). *How to use qualitative methods in evaluation*. Newbury Park, Sage, pp.169-183.
- Palabıyık, U. & Akkuş-İşpir, O. (2011). The effects of pattern-based Algebra instruction on students' Algebraic thinking attitude towards Mathematics. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 30, 111-123.
- Pegg, J., & Coady, C. (1993). Identifying Solo levels in the formal mode. In *Proceedings of the 17th International Conference for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 1, pp. 212-219).
- Pegg, J., & Tall, D. (2005). The fundamental cycles of concept construction underlying various theoretical frameworks. *International Reviews on Mathematical Education*, 37(6), 468- 475.
- Polat, S. (2010). İlköğretim 6–7. sınıf öğrencilerinin matematik kavramına ilişkin kullandıkları metaforlar. Unpublished master's thesis, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tokat.
- Rider, R. L. (2004). The effects of multi-representational methods on students' knowledge of function concepts in developmental college mathematics.
- Smith, S. S. (1997). *Early childhood mathematics*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Stacey, K. (1989). Finding and using patterns in linear generalizing problems. *Educational Studies in Mathematics*, 20, 147–164.
- Stake, R.E. (1994). Case studies. In YK Denzin and YS Lincoln (Eds), *Handbook of qualitative research*, (pp.236-246). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Yeşildere, S. ve Akkoç, H. (2011). Matematik öğretmen adaylarının şekil örüntülerini genelleme süreçleri. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 30, 141-153 .
- Yildirim, K. (2006). Çoklu zeka kurami destekli kubasik öğrenme yönteminin ilköğretim 4. sınıf öğrencilerinin matematik dersindeki erisilerine etkisi [The effects of cooperative learning method supported by multiple intelligence theory on elementary school 4th grade students` academic achievement]. *Ahi Evran Üniversitesi Kirsehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(2), 301–315.
- Zazkis, R., & Liljedahl, P. (2002). Generalization of patterns: The tension between algebraic thinking and algebraic notation. *Educational Studies in Mathematics*, 49(3), 379-402.

Öğretmen Adaylarının Formel Tanım ile İşlemsel Odaklılık Arasındaki Eğilimleri: Cebirsel Nesne Olarak Polinom

Saliha Nur ÖPAYDIN^a, Alper Cihan KONYALIOĞLU^b

^aMillî Eğitim Bakanlığı, Erzurum, Türkiye.

saliha.nur.opaydin24@ogr.atauni.edu.tr, <https://orcid.org/0009-0000-6339-8149>

^bAtatürk Üniversitesi, Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi, Erzurum/Türkiye.

ackonyali@atauni.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6009-4251>

Geliş Tarihi: 20.05.2026

Kabul Tarihi: 25.06.2026

Anahtar Kelimeler:	Öz
Polinom, kavram imajı, şablon bağımlılığı, öğretmen adayları	
Makale Türü:	
Araştırma	Bu araştırma, matematik öğretmen adaylarının polinom kavramına yönelik kavram imajlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Nitel durum çalışması olarak yürütülen araştırmaya 41 öğretmen adayı katılmıştır. Veriler, açık uçlu sorulardan oluşan bir kavram testi aracılığıyla toplanmış ve içerik analizi ile incelenmiştir. Bulgular, adayların polinom kavramını büyük ölçüde işlemsel ve şablon temelli bir yaklaşımla ele aldıklarını göstermektedir. Adayların önemli bir kısmı polinomu bir fonksiyon olarak tanımlarken, cebirsel nesne boyutunu ihmal ettikleri belirlenmiştir. Ayrıca, sıfır polinomu ve farklı cebirsel ifadelerin sınıflandırılmasında hatalı genellemeler yaptıkları görülmüştür. Sonuçlar, öğretmen adaylarının kavram imajı ile kavram tanımı arasında uyumsuzluk bulunduğunu ve süreç-nesne geçişinin yeterince gelişmediğini ortaya koymaktadır.

Pre-service Teachers' Tendencies Between Formal Definition and Procedural Orientation: The Polynomial as an Algebraic Object

Saliha Nur ÖPAYDIN^a, Alper Cihan KONYALIOĞLU^b

^aMisnistiry of National Education, Erzurum, Türkiye.

saliha.nur.opaydin24@ogr.atauni.edu.tr, <https://orcid.org/0009-0000-6339-8149>

^bAtatürk University, Kazım Karabekir Education Faculty, Erzurum/Türkiye.

ackonyali@atauni.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6009-4251>

Received: May 20, 2025

Accepted: June 25, 2026

Keywords:	Abstract
Polynomial, concept image, template dependency, pre-service teachers	This study aims to examine pre-service mathematics teachers' concept images of the polynomial concept. Conducted as a qualitative case study, the research involved 41 pre-service teachers. Data were collected through a concept test with open-ended questions and analyzed using content analysis. The findings indicate that participants predominantly approached polynomials in a procedural and template-based manner. A considerable number of participants defined polynomials as functions, neglecting their algebraic object nature. In addition, incorrect generalizations were observed in responses related to the zero polynomial and the classification of algebraic expressions. The results reveal a mismatch between concept image and concept definition, as well as an incomplete transition from process to object.
Paper Type: Research	

Giriş

Matematiksel kavramların zihinsel inşası, bireyin bu kavramlara ilişkin sahip olduğu formal tanımlar ile bu tanımları kullanma biçimi arasındaki etkileşime dayanır. Bu bağlamda, bireylerin matematiksel kavramlara ilişkin geliştirdikleri zihinsel yapılar ile matematiksel olarak kabul edilen formal tanımlar arasındaki uyum, öğrenmenin niteliğini belirleyen temel unsurlardan biridir (Tall & Vinner, 1981). Tanımlar kavramların nasıl kategorilendirileceğini etkileyen en önemli unsurdur. Kavramın yanlış kategorize edilmesi tanımın yanlış anlaşılması sonucudur ki bu durum ontolojik bir hata olarak görülür. Polinom kavramı da bu ontolojik hatanın kurbanlarından biridir.

Cebirin temel yapı taşlarından biri olan polinom kavramı hem lise hem de lisans düzeyindeki matematik eğitiminde merkezi bir role sahiptir. Ancak polinomlar, sadece katsayılar ve belirsizden oluşan cebirsel nesneler (halka elemanları) olmalarına rağmen, eğitim sürecinde sıklıkla sadece "fonksiyonel birer araç" olarak sunulmaktadır. Literatürde, cebirsel kavramların öğretiminde işlemsel yaklaşımların baskın olması durumunda, öğrencilerin kavramın yapısal boyutunu göz ardı edebildikleri belirtilmektedir (Sfard, 1991). Bu durum, öğrencilerin polinomları cebirsel bir yapı (nesne) olarak değil, bir hesaplama süreci (fonksiyon) olarak algılamalarına yol açmaktadır. Özellikle öğretmen adaylarının bu kavramı nasıl anlamlandırdıkları kritik bir öneme sahiptir; zira onların sahip olduğu "kavram imajları" (Tall & Vinner, 1981), gelecekteki öğretim pratiklerini ve öğrencilerinin matematiksel gelişimlerini doğrudan şekillendirecektir. Öğretmen adaylarının konu alan bilgisi ve pedagojik alan bilgisi üzerine yapılan çalışmalar, sınırlı kavram anlayışı durumunun kavramsal yapıların öğretim süreçlerine doğrudan yansıdığını göstermektedir (Even, 1993).

Bu araştırmanın amacı, matematik öğretmen adaylarının polinom kavramına ilişkin kavram imajlarını ve bu imajların işlemsel odaklılık ile formel tanım arasındaki konumunu incelemektir.

Teorik Temel***Kavram İmajı ve Kavram Tanımı***

Tall ve Vinner (1981) tarafından ortaya atılan bu kurama göre, "kavram tanımı" bir kavramın matematiksel dünya tarafından kabul edilmiş formal ifadesidir; "kavram imajı" ise bireyin bu kavramla ilgili zihninde oluşturduğu tüm görsel, zihinsel ve deneyimsel yapılar bütünüdür. Araştırmalar, öğrencilerin çoğu zaman formal tanımları bilseler dahi problem çözme süreçlerinde kavram imajlarına dayalı hareket ettiklerini göstermektedir (Vinner, 1991).

Bir öğrenci, polinomun formal tanımını bilse dahi, zihnindeki imaj sadece "sadeleşmiş ifadeler" veya "grafığı çizilebilen yapılar" ile sınırlıysa, sıfır polinomu veya rasyonel ifadeler gibi "sınır durumlarla" karşılaştığında bilişsel çatışma yaşar. Bu tür durumlar, kavram imajı ile kavram tanımı arasındaki uyumsuzluğun öğrenme sürecinde önemli hatalara yol açabileceğini göstermektedir (Tall & Vinner, 1981).

Süreç ve Nesne Olarak Matematiksel Kavramlar

Sfard (1991), matematiksel kavramların iki yönlü bir doğası olduğunu savunur: işlemsel (operational) ve yapısal (structural). Matematiksel öğrenme süreci, bireyin bir kavramı önce işlem olarak algılaması, ardından bu işlemi bir nesne olarak yeniden yapılandırması (reification) ile gerçekleşmektedir.

Polinom kavramı bağlamında, bir ifadeyi sadeleştirmek veya değerini hesaplamak "işlemsel" bir süreçtir; polinomu bir halka elemanı veya bağımsız bir matematiksel nesne olarak görmek ise "yapısal" bir kavrayıştır. Literatürde, öğrencilerin çoğunlukla işlemsel aşamada kaldıkları ve bu nedenle kavramları nesne olarak yeniden yapılandıramadıkları belirtilmektedir (Sfard, 1991).

Öğrencilerin rasyonel ifadeleri sadeleştirerek polinom olarak kabul etmeleri, onların kavramı bir nesne olarak değil, yapılan işlem üzerinden (süreç odaklı) tanımladıklarını göstermektedir. Bu durum, süreç-nesne geçişinin tamamlanamadığına işaret etmektedir.

Şablon (Prototip) Bağımlılığı

Öğrenciler genellikle bir kavramı, ders kitaplarında en sık karşılaştıkları "tipik" örnekler (prototipler) üzerinden kodlarlar. Bu durum, bireylerin matematiksel kavramları tanıma sürecinde yüzeysel özelliklere dayalı karar vermelerine neden olabilmektedir (Vinner, 1991).

Hershkowitz (1989), öğrencilerin kavramları değerlendirirken matematiksel tanımlar yerine prototipik örneklerle dayalı karar verdiklerini ve bunun kavramsal hatalara yol açtığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, cebir öğrenimine ilişkin çalışmalar, öğrencilerin sembolik ifadeleri anlamlandırmak yerine daha önce karşılaştıkları kalıpları uygulama eğiliminde olduklarını göstermektedir (Kieran, 1992).

Örneğin, "sabit terimi olan ifadelerin derecesi sıfırdır" şablonu o kadar baskındır ki, adaylar sıfır polinomunu da bu şablona uydurmaya çalışarak hatalı genellemeler yapmaktadırlar. Bu tür genellemeler, öğrencilerin matematiksel yapıyı anlamak yerine şablonlara dayalı karar verdiklerinin önemli bir göstergesidir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı birkaç açıdan değerlendirilebilir. Öncelikle, cebir öğrenimine ilişkin mevcut çalışmalar şablon bağımlılığı ve işlemsel odaklılığı genel bir çerçevede ele alırken (Kieran, 1992; Vinner, 1991), bu araştırma söz konusu eğilimleri polinom kavramı bağlamında, işlemsel odaklılık ile formel tanım arasındaki ilişkiyi merkeze alarak ve somut cebirsel örnekler (sıfır polinomu, rasyonel ifadeler, mutlak değer ve faktöriyel yapılar) üzerinden inceleyerek daha özgül bir analiz sunmaktadır. Ayrıca, polinom kavramının öğretmen adayları tarafından çoğunlukla fonksiyonel bir yapı olarak algılandığını ampirik verilerle ortaya koyması, formel tanım ile işlemsel yaklaşım arasındaki gerilimi görünür kılmakta ve bu iki bilişsel yönelim arasındaki konumlanmayı tartışmaya açmaktadır. Bunun yanı sıra, çalışmada sınır durumların (boundary cases) kullanılması, katılımcıların kavram imajlarını yüzeysel şablonlardan ayırt etmeye ve işlemsel reflekslerin ötesindeki kavramsal yapılarını ortaya çıkarmaya olanak sağlamaktadır. Son olarak, kavram imajı (Tall & Vinner, 1981), süreç-nesne teorisi (Sfard, 1991) ve şablon bağımlılığı (Vinner, 1991; Hershkowitz, 1989) çerçevelerinin birlikte kullanılması, öğretmen adaylarının polinom kavramına ilişkin bilişsel yapılarını işlemsel ve formel boyutlarıyla çok yönlü olarak analiz etmeye imkân tanımaktadır.

Yöntem

Bu araştırma, matematik öğretmen adaylarının polinom kavramına yönelik zihinsel yapılarını incelemeyi amaçlayan nitel bir çalışmadır.

Araştırma Deseni

Bu çalışma, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan durum çalışması (case study) deseniyle yürütülmüştür. Durum çalışması, araştırmacının kontrol edemediği güncel bir olguyu, "nasıl" ve "niçin" sorularına odaklanarak derinlemesine incelediği bir araştırma stratejisidir (Yin, 2018). Durum çalışması, bir grubun bir konudaki algısını kendi gerçeklikleri içinde betimlemektir (Merriam ve Tisdell, 2015). Çalışmada bu desenin odak noktası, öğretmen adaylarının polinom kavramına ilişkin sahip oldukları kavram imajlarını ve tanımlarını kendi özgün bağlamları içinde (yazılı açıklamalara dayalı olarak) betimlemektir. Araştırmada tek bir katılımcı grubunun ortak bir matematiksel kavram üzerindeki algıları incelendiği için "bütüncül tek durum deseni" tercih edilmiştir (Yin, 2018). Bu çalışmada "polinom" kavramı araştırılan olguyu temsil etmektedir.

Katılımcılar

Araştırmanın katılımcı grubunu, bir devlet üniversitesinin Eğitim Fakültesi Matematik Öğretmenliği programında öğrenim gören 41 öğretmen adayı oluşturmaktadır. Katılımcıların belirlenmesinde, araştırmanın amacına en uygun veriyi sağlayabilecek kişilerin seçilmesini öngören amaçlı örnekleme yöntemi tercih edilmiştir (Patton, 2015).

Veri Toplama Araçları

Veriler, araştırmacı tarafından geliştirilen ve uzman görüşü alınarak yapılandırılan "Kavram Testi" aracılığıyla toplanmıştır. Test; polinomun tanımı, değişken kavramı, sıfır polinomunun derecesi ve farklı cebirsel ifadelerin (faktöriyel, mutlak değer, rasyonel, köklü) sınıflandırılmasına yönelik 5 açık uçlu sorudan oluşmaktadır. Açık uçlu sorular, katılımcıların düşünme süreçlerini kısıtlamadan yansıtımlarına olanak tanır (Fraenkel, Wallen & Hyun, 2012).

Verilerin Analizi

Elde edilen yazılı verilerin analizinde nitel içerik analizi tekniği kullanılmıştır. İçerik analizi sürecinde veriler sistematik biçimde kodlanmış, benzer özelliklerine göre temalandırılmış ve kategorize edilmiştir (Miles, Huberman & Saldana, 2014). Bu çalışmada, analiz süreci literatüre dayalı olarak önceden belirlenmiş kavramsal çerçeveler doğrultusunda yürütülmüş olup yönlendirilmiş içerik analizi yaklaşımı benimsenmiştir (Hsieh & Shannon, 2005).

Analiz sürecinde aşağıdaki aşamalar izlenmiştir:

1. *Verilerin Düzenlenmesi*: 41 öğretmen adayından elde edilen yazılı yanıtlar sayısallaştırılmış (frekans ve yüzde olarak) ve analiz için düzenlenmiştir.
2. *Kodlama ve Temalandırma*: Adayların yanıtları, cebir öğrenimi literatüründe öne çıkan “fonksiyonel yaklaşım”, “işlem odaklılık” ve “şablon bağımlılığı” gibi temalar çerçevesinde kodlanmış ve kategorize edilmiştir (Vinner, 1991; Hershkowitz, 1989; Kieran, 1992). Bu süreçte veriler, önceden belirlenen temalar doğrultusunda incelenmiş ve ilgili kategorilere yerleştirilmiştir.
3. *Kavram İmajı Analizi*: Adayların polinom kavramına ilişkin ifadeleri, kavram imajı ile kavram tanımı arasındaki ilişki bağlamında değerlendirilmiş ve analiz sürecinde Tall ve Vinner (1981) tarafından geliştirilen kuramsal çerçeveden yararlanılmıştır.

Geçerlik ve Güvenirlik

Araştırmanın güvenilirliğini sağlamak amacıyla veriler iki farklı araştırmacı tarafından bağımsız olarak kodlanmış ve kodlayıcılar arası görüş birliğine varılmıştır. Ayrıca, adayların verdikleri yanıtlardan doğrudan alıntılar yapılarak bulguların ham veriye dayalı olması sağlanmış ve araştırmanın aktarılabilirliği artırılmıştır. Bunlar Guba ve Lincoln (1982) ölçütlerini (Akt. Tutar, 2022) karşılamaktadır.

Bulgular

Bu bölümde, 41 matematik öğretmen adayına uygulanan yapılandırılmış görüş formundan elde edilen veriler; polinom tanımı, belirsiz/bilinmez kavramı, sıfır polinomu ve cebirsel ifadelerin sınıflandırılması temaları altında sunulmuştur.

Polinom Tanımı ve Kavramsal Yaklaşımlar

Öğretmen adaylarının polinom kavramını tanımlama biçimleri incelendiğinde, ifadelerin lise müfredatı odaklı ve işlemsel bir çerçevede toplandığı görülmüştür.

- *Fonksiyonel Tanımlama*: Adayların büyük bir çoğunluğu (%51,2) polinomu fonksiyon türü olarak nitelendirmiştir. Bu yaklaşıma dair aday ifadelerinden biri şöyledir:

Aday 3

1) Derecesi doğal sayı katsayısı reel sayılardan oluşan fonksiyona polinom denir.

- **Biçimsel Şablon Kullanımı:** Adayların tanım yaparken yoğunlukla $P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$ biçimsel gösterimini (%43,9) kullandıkları ve katsayılar ile dereceler üzerine kısıtlar (üslerin doğal sayı olması gibi) getirdikleri gözlemlenmiştir. Tanımlarda yapısal özelliklerden ziyade bu görsel şablonun öne çıktığı görülmektedir.

Aday 29

Üsleri doğal sayılardan oluşan $P(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n$ formatında yazılan ifadeler polinom denir.

Adayların %4,9 'u ise soruyu cevaplamamıştır.

"x" Sembolüne Yüklenen Anlamlar ve Değişken Algısı

Polinom gösterimindeki x sembolünün ne olduğuna dair adayların (n=41) verdikleri yanıtların frekans dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur:

Tablo 1. x Sembolünün Tanımlanma Biçimleri

Tanım	Frekans (f)	Yüzde (%)
Değişken (Variable)	28	%68,3
Bilinmeyen(Unknown)	13	%31,7
Belirsiz(Indeterminate)	0	%0

Veriler, adayların hiçbirinin x sembolünü modern cebirdeki "belirsiz" (indeterminate) veya "biçimsel yer tutucu" kavramlarıyla ilişkilendirmediğini; sembolü daha çok fonksiyonel bir değişken veya denklem çözme sürecindeki bir bilinmeyen olarak kodladıklarını göstermektedir.

- **Değişken Yaklaşımı:** Bu gruptaki adaylar x'i sürekli değişen değerler olarak tanımlamıştır:

Aday 1

Soru 2: ifadedeki "a" katsayısının yanındaki değişkendir. a katsayısının olabileceği değerlere göre farklı değerler alabilirler

- **Bilinmeyen Yaklaşımı:** Bu adaylar polinomu bir denklem bağlamında değerlendirmiştir:

Aday 13

2) $P(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n$ ifadesindeki x "bilinmeyeni" ifade eden

Bulgular, örneklemin tamamında x'in "belirsiz" (indeterminate) doğasına dair bir farkındalığın bulunmadığını göstermektedir.

Sıfır Polinomu ve Derece Kavramı

$Q(x)=0$ polinomunun derecesine yönelik adayların verdikleri yanıtlar, uç durumlardaki muhakemelerin tutarsızlığını ortaya koymuştur:

Tablo 2. Sıfır Polinomunun Derecesine İlişkin Yanıtlar

Verilen Cevap	Frekans (f)	Yüzde (%)
Sıfırdır (0)	28	%68,2
Belirsiz / Bilinemez	7	%17,1
Her değeri alır	2	%4,9
Cevapsız	4	%9,8

Adayların %68,3'ü sıfır polinomunun derecesini "0" olarak belirtmiştir. Yanıtlar, adayların sıfır polinomunu $P(x)=c$ (sabit polinom) şablonu içerisinde değerlendirme eğiliminde olduklarını göstermektedir. Şablon bağımlılığı gösteren aday 15'in cevabı aşağıdaki gibidir.

Aday15

$Q(x)=0$ in derecesi sabit terimden olduğundan 0'dır.

Adayların %17,1'i sıfır polinomunun derecesini "belirsiz" olarak belirtmiştir. Belirsiz diyen aday 21'in cevabı aşağıdaki gibidir.

Aday21

$Q(x)=0 \rightarrow$ derecesi bilinemez çünkü birçok ihtimal vardır. Örneğin $Q(x)=0 \cdot x^4$ olabilir $Q(x)=0 \cdot x^{12}$ olabilir $Q(x)=0 \cdot x^7$ olabilir. Bunun gibi birçok durum vardır. Yani $Q(x)=0$ polinomunun derecesi belirsizdir.

Cebirsel İfadelerin Polinom Olarak Sınıflandırılması

Adayların beşinci soruda yer alan farklı cebirsel ifadelerin polinom olup olmadığına dair verdikleri kararların dağılımı Tablo 3'te özetlenmiştir:

Tablo 3. İfadelerin Polinom Olma Durumuna İlişkin Kararlar

İfade	Polinomdur (f)	Polinom Değildir (f)	Cevapsız (f)
$P_1(x)=x!$	24	11	6
$P_2(x)= x $	22	14	5
$P_3(x)=\frac{x^4-1}{x^2+1}$	40	1	0
$P_4(x)=\sqrt{x^2}$	25	15	1

Faktöriyel ve Aritmetik Yaklaşım

Adayların yarısından fazlası (%58,5) $x!$ ifadesini polinom olarak sınıflandırmıştır. Yazılı görüşlerde adayların bu ifadeyi faktöriyel açılımı, üs kuralları ve x 'e verilen değerler üzerinden üretilen bir sayı dizisi olarak ele aldıkları belirlenmiştir.

Aday25

$\therefore P_1(x) = 5! x^0 = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 x^0 = 120 x^0$ olduğundan $P_1(x)$ polinomdur

Aday 20

$P_1(x) = x \cdot (x-1) \cdot (x-2) \cdots 1$
 $P_1(x)$ polinomdur.

Aday11

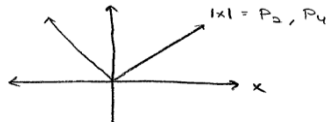
$P_1(x) = x!$ → faktöryel x 'den x 'e kadar olan sayıların çarpımıdır
 x 'in negatif değerleri için hesaplanamaz polinom değildir

Mutlak Değer ve Karekök Tutarlılığı

Adayların mutlak değerli ifadeye $P_2(x) = |x|$ %53,6 oranında, kareköklü ifadeye $P_4(x) = \sqrt{x^2}$ ise %61 oranında "polinomdur" dedikleri saptanmıştır. Cevap kağıtlarındaki açıklamalarda $\sqrt{x^2}$ ifadesinin dışarıya mutlak değer veya doğrudan x olarak çıkarılması, ifadenin polinom olarak kabul edilmesinde temel gerekçe olarak sunulmuştur.

Aday 19

P_2, P_4 ve P_3 polinom belirtir, grafikleri de sekildeki gibidir.



Aday 13

$P_2(x) = |x|$ → polinom değil

$P_4(x) = \sqrt{x^2} = x$ olur bu ifade de polinomdur.

Aday 1

$P_2(x) = |x| = \begin{cases} x & x > 0 \\ -x & x < 0 \\ 0 & x = 0 \end{cases}$ polinom değildir

$P_4(x) = \sqrt{x^2}$ bu ifadede x için $\sqrt{-1}$ olursa polinom olmaz

Rasyonel İfadeler ve İşlemsel Karar Verme

$P_3(x) = \frac{x^4-1}{x^2+1}$ rasyonel ifadesine yönelik adayların %97,5'i "polinomdur" yanıtını vermiştir. Yazılı gerekçelerde en sık rastlanan ifade "Pay ve paydanın sadeleşmesi sonucu $x^2 - 1$ kalması" olmuştur. Bu bulgu, adayların ifadenin orijinal formundan ziyade işlemsel sonucuna göre sınıflandırma yaptığını göstermektedir.

Aday11

$P_3(x) = \frac{(x^2-1) \cdot (x^2+1)}{(x^2+1)} = x^2-1$ → x 'in derecesi doğal sayıdır P_3 polinomdur

Tartışma ve Sonuç

Bu araştırma, matematik öğretmen adaylarının polinom kavramını tanımlarken lise düzeyindeki işlemsel alışkanlıklar ile lisans düzeyindeki yapısal tanımlar arasında kavramsal bir boşluk yaşadıklarını ortaya koymuştur. Bu halde matematik öğretmen adaylarının polinom kavramına

yönelik algılarının büyük oranda fonksiyonel bir yaklaşıma sıkıştığını ve kavramın cebirsel/nesne boyutunun (halka elemanı, belirsiz kavramı vb.) ihmal edildiğini söylemek mümkündür.

Kavram Tanımları ve Fonksiyonel Yaklaşım

Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri, adayların %51,2'sinin polinomu doğrudan bir "fonksiyon türü" olarak tanımlamasıdır. Bu durum, Tall ve Vinner (1981) tarafından kavramsallaştırılan "kavram imajı" ve "kavram tanımı" arasındaki uyumsuzluğu yansıtmaktadır. Adaylar, polinomun biçimsel (formal) tarif etseler dahi, yinede zihinlerindeki "fonksiyon" imajıyla hareket etmektedirler. Even (1993) te olduğu gibi, adayların polinomları birer fonksiyon olarak görmeleri kavramın daha ileri aşamalarındaki cebirsel özelliklerinin anlaşılmasını güçleştirmektedir.

İşlem Odaklılık ve Sadeleştirme Yanılgısı

Rasyonel bir ifadenin sadeleşmesi durumunda %97,5 gibi çok yüksek bir oranda "polinom" olarak kabul edilmesi, adayların "süreç-nesne" (process-object) gelişiminde süreç (işlem) aşamasında kaldıklarını göstermektedir. Sfard (1991), matematiksel kavramların önce bir süreç (hesaplama), sonra bir nesne (yapı) olarak algılandığını belirtir. Adayların sadeleştirmeye odaklanması, ifadenin sunulduğu andaki "biçimsel formunu" (formal form) bir nesne olarak değerlendirmek yerine, sadeleştirme işlemini (süreci) ön plana çıkardıklarını kanıtlamaktadır.

Sıfır Polinomu ve Şablon Bağımlılığı

Sıfır polinomunun derecesinin %68,2 oranında "0" olarak belirlenmesi, adayların "şablon bağımlılığı" içerisinde olduklarını göstermektedir. Sabit fonksiyonların derecesinin 0 olduğu bilgisinin (şablon), sıfır polinomuna ($-\infty$) genellenmesi, matematiksel kuralların bağlam dışı kullanımına bir örnektir. Bu durum, öğretmen adaylarının lise müfredatındaki "derecesi doğal sayı olan fonksiyon" kısıtına sıkı sıkıya bağlı olduklarını, ancak bu kısıtın cebirsel halka yapısındaki $\text{der}(P(x).Q(x))=\text{der}(P(x))+\text{der}(Q(x))$ tutarlılıkla çeliştğini fark edemediklerini göstermektedir. Yine liselerde sıfır polinomunun derecesini anlamlı kılmak için eksi sonsuz kavramı henüz bilinmediğinden "tanımsız, belirsiz ya da her değeri alabildiğinden belirlenemez" olarak düşünülmesine neden olmaktadır ki bu doğru olmayan anlayış Yapıcı-Topbaş (2023) çalışmasında da vurgulanmıştır. Bu durumlar polinom ve fonksiyon öğreniminde öğrenciler sıklıkla matematiksel yapıyı anlamak yerine, daha önce karşılaştıkları sembolik şablonlara dayalı işlem yapma eğilimi göstermeleri Kieran, (1992) ve Tall & Vinner (1981) çalışmaları ile uyumludur.

Öneriler

Araştırma sonuçları, öğretmen adaylarının polinomları cebirsel birer nesne (bir halka üzerindeki serbest yapılar) olarak değil, analitik birer araç (değer alan fonksiyonlar) olarak algıladıklarını göstermektedir. Adayların hiçbirinin "belirsiz" (indeterminate) kavramına değinmemesi, polinomun değişkenlerden bağımsız olan yapısal kimliğinin lisans eğitiminde yeterince içselleştirilmediğine işaret etmektedir.

Bu bulgular ışığında şu öneriler sunulabilir:

1. Lisans Eğitimi: Soyut Cebir derslerinde polinomların sadece katsayılar üzerinden tanımlanan birer "dizi" veya "halka elemanı" olduğu vurgulanmalı, fonksiyonel özellikleri ile cebirsel özellikleri arasındaki farklar belirginleştirilmelidir. Polinom kavramı ile fonksiyon kavramı arasında genetik bir bağın olmadığı, polinom fonksiyon ile polinomum farklı kavramlar olduğu lisans derslerinde vurgulanmalıdır. Fonksiyonlar polinomların oluşumunda bir araç görevi görür.

journal homepage: <https://www.ojomste.com/index.php/1>

2. Pedagojik Alan Bilgisi: Öğretmen adaylarına, lise müfredatındaki kısıtlı tanımların (Örn: derecenin doğal sayı olması) ileri matematiksel yapılarda hangi kavramsal zorluklara veya çelişkilere yol açabileceği tartışılmalıdır.
3. Kritik Örnekler: Öğretmen eğitiminde rasyonel ifadeler, mutlak değerli yapılar ve sıfır polinomu gibi "sınır durumlar" (boundary cases) üzerine daha fazla odaklanılarak kavramsal değişim sağlanmalıdır.

Kaynakça

- Even, R. (1993). Subject-matter knowledge and pedagogical content knowledge: Prospective secondary teachers and the function concept. *Journal for Research in Mathematics Education*, 24(2), 94-116
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Hershkowitz, R. (1989). Visualization in Geometry—Two Sides of the Coin. *Focus on Learning Problems in Mathematics*, 11, 61-76
- Hsieh, H.-F., & Shannon, S. E. (2005). *Three approaches to qualitative content analysis. Qualitative Health Research*, 15(9), 1277–1288.
- Kieran, C. (1992). The learning and teaching of school algebra. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 390–419). National Council of Teachers of Mathematics.
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2015). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). Sage.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). Sage.
- Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conceptions: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational Studies in Mathematics*, 22(1), 1-36.
- Tall, D., & Vinner, S. (1981). Concept image and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational Studies in Mathematics*, 12(2), 151-169.
- Tutar, H. (2022). Nitel Araştırmalarda Geçerlilik ve Güvenilirlik: Bir Model Önerisi. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(Özel Sayı 2), 117-140.
- Vinner, S. (1991). The role of definitions in the teaching and learning of mathematics. In *Advanced mathematical thinking* (pp. 65-81). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Yapıcı-Topbaş, E.S. (2023). Matematik öğretmen adaylarının deneyim fırsatları aracılığı ile farkındalıklarının incelenmesi: Polinom kavramı bağlamı. Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi. Ankara
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage.

ETİK ve BİLİMSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI

Bu çalışmanın tüm hazırlanma süreçlerinde etik kurallara ve bilimsel atıf gösterme ilkelerine riayet edildiğini yazar(lar) beyan eder. Aksi bir durumun tespiti halinde OJOMSTE'nin hiçbir sorumluluğu olmayıp, tüm sorumluluk makale yazarlarına aittir. Yazarlar etik kurul izni gerektiren çalışmalarda, izinle ilgili bilgileri aşağıda belirtmişlerdir.

Kurul adı: Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü

Tarih:14.05.2026 No:03

ARAŞTIRMACILARIN MAKALEYE KATKI ORANI BEYANI

1. yazar katkı oranı : %50

2. yazar katkı oranı : %50