

An Examination of National and International Research on Mathematics Teachers' Use of Digital Tools in Instructional Processes: A Literature Review

Gülsüm Akbaş^a and Derya Girgin^b

^aMinistry of National Education, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0009-0002-1048-9076)

^bÇanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Education, Çanakkale, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6114-7925)

Article History: Received: 3 December 2025; Accepted: 10 August 2026; Published online: 30 August 2026

Abstract: This study aims to identify current trends in the use of digital tools in mathematics teaching, the types of tools employed, and their pedagogical roles in instructional processes. Conducted within a qualitative research approach, the study adopted a document analysis design, and the data were analyzed through descriptive content analysis. A total of 25 articles (14 national and 11 international) published between 2011 and 2025 and directly addressing the integration of digital tools into mathematics teaching were systematically examined. The digital tools were classified into three themes: hardware-based, software-based, and web/internet-based technologies. The findings indicate that web-based technologies are the most widely used, while software-based tools particularly support concept teaching and modelling processes. Teachers primarily use digital tools for concept teaching, assessment, and interaction; however, usage patterns often remain focused on passive presentation. Professional development, institutional support, and positive attitudes emerge as facilitating factors, whereas technical limitations, time constraints, and insufficient pedagogical planning restrict effective integration. The findings also show that the integration of technology, pedagogy, and content required by the TPACK framework is not always fully achieved. Overall, effective integration requires subject-specific, practice-oriented professional development, stronger institutional and technical infrastructure, and pedagogical designs aligned with learning objectives. These findings provide an evidence-based framework for the digital transformation of teacher education and in-service training programs.

Keywords: digital tools, mathematics teaching, teacher competencies, technology integration, literature review

Öz: Bu çalışma, matematik öğretiminde dijital araç kullanımına ilişkin güncel eğilimleri, kullanılan araç türlerini ve bu araçların öğretim sürecindeki pedagojik rollerini ortaya koymayı amaçlayan, nitel araştırma yaklaşımı kapsamında doküman incelemesi deseninde yürütülen ve verileri betimsel içerik analizi ile çözümlenen bir araştırmadır. 2011–2025 yılları arasında yayımlanan ve matematik öğretiminde dijital araçların entegrasyonunu doğrudan konu alan 25 (14 ulusal, 11 uluslararası) makale sistematik biçimde analiz edilmiştir. Veriler betimsel içerik analizi ile çözümlenmiş; dijital araçlar donanımsal, yazılım tabanlı ve web/internet tabanlı olmak üzere üç temada sınıflandırılmıştır. Bulgular, dijital araçların en yaygın biçimde web tabanlı teknolojiler aracılığıyla kullanıldığını, yazılım tabanlı araçların özellikle kavram öğretimi ve modelleme süreçlerini desteklediğini göstermektedir. Öğretmenlerin araçları çoğunlukla kavram öğretimi, değerlendirme ve etkileşim amaçlı kullandıkları; ancak kullanım örüntülerinin çoğunlukla pasif sunum odaklı kaldığı belirlenmiştir. Entegrasyonu destekleyen etmenler arasında mesleki gelişim, kurumsal destek ve olumlu tutumlar öne çıkarken; teknik yetersizlikler, zaman kısıtlılığı ve pedagojik planlama eksikliği süreci sınırlamaktadır. Bulgular, matematik öğretiminde etkili teknoloji entegrasyonu için branşa özgü dijital pedagojik eğitimlerin güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. TPAB çerçevesinin gerektirdiği teknoloji–pedagoji–içerik bütünlüğünün her zaman sağlanamadığı görülmüştür. Sonuçlar, etkili entegrasyon için branşa özgü ve uygulamaya dayalı mesleki gelişimin, kurumsal/teknik altyapının güçlendirilmesinin ve öğrenme hedefleriyle uyumlu pedagojik tasarımların yaygınlaştırılmasının kritik olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, öğretmen yetiştirme ve hizmet içi eğitim programlarının dijital dönüşümüne kanıt temelli bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: dijital araçlar, matematik öğretimi, öğretmen yeterlikleri, teknoloji entegrasyonu, alanyazı taraması

Türkçe sürüm için tıklayınız

1. Introduction

Effective mathematics teaching requires students not merely to memorize abstract concepts, but to make sense of them and construct them cognitively. In this process, the use of instructional materials constitutes an important component in concretizing abstract mathematical concepts and enabling students to participate actively in cognitive construction processes (Bozkurt & Akalın, 2015). Instructional materials facilitate students' transition from passive recipients of information to active participants in meaningful learning and contribute to the permanence of learning by supporting cognitive activity. In this way, mathematics teaching moves beyond a process based solely on the transmission of information and becomes a process that guides learning within a constructivist perspective.

Corresponding Author: Derya Girgin  email: deryagirgin@comu.edu.tr

Citation Information: Akbaş, G., & Girgin, D. (2026). An examination of national and international research on mathematics teachers' use of digital tools in instructional processes: A literature review. *Turkish Journal of Mathematics Education*, 7(2), 51-75. <https://doi.org/10.66114/tujme.211>

With the advent of the digital age, the nature and functions of the tools used in teaching and learning environments have changed considerably. Dynamic geometry software, simulations, augmented reality applications, and web-based platforms have become tools that support the identification of misconceptions, the development of hypotheses, and the construction of meaning through multiple representations in mathematics teaching (Yüksel et al., 2016). These technologies also support students' active participation, their interest and confidence in doing mathematics, collaborative learning, and the continuity of learning beyond the classroom (Öztop & Buluç, 2022). Nevertheless, the abstract nature of mathematics and prejudices arising from previous negative learning experiences may lead to reluctance and anxiety among students (Hacıoğlu Seven & Erümit, 2025). Therefore, the mere presence of digital tools in learning environments is not sufficient; teachers' ability to use these tools in ways that are compatible with content, student characteristics, and pedagogical purposes becomes equally important. In this context, the fundamental issue is not simply whether digital tools are used, but rather for what purposes, in what ways, and in which pedagogical roles they are integrated into the instructional process.

The meaningful integration of technology into mathematics teaching requires teachers' technological knowledge to be considered together with pedagogical and content knowledge. Shulman's (1986) concept of Pedagogical Content Knowledge (PCK) emphasizes teachers' ability to restructure subject-matter knowledge according to students' levels and instructional contexts and to enrich meaning through multiple representations, analogies, and instructional strategies. In the digital age, this perspective has been extended through the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework, in which technological knowledge is integrated with pedagogical and content knowledge (Demir & Bozkurt, 2011; Özdemir & Erduran, 2019). TPACK focuses not merely on using technology, but on integrating technology meaningfully with content and pedagogical purposes. Accordingly, the use of dynamic geometry software, computational and modelling tools, video and simulation applications, and online platforms in alignment with instructional content and pedagogical purposes becomes important. The Instrumental Orchestration approach similarly emphasizes the teacher's role in structuring technology through pedagogical scenarios and supporting student interaction through classroom arrangements (Alan et al., 2021).

In the present study, TPACK and Instrumental Orchestration were considered not only as theoretical foundations but also as conceptual guides for analysing the studies included in the review. The types of digital tools, their pedagogical purposes in instructional processes, and the factors facilitating or hindering technology integration were evaluated in line with the core components of these approaches. Thus, the use of digital technologies was examined not only in terms of which tools were preferred, but also in terms of how these tools were integrated into instructional processes. This approach also provided a basis for formulating the research questions in a manner that takes into account the integrated structure of technological, pedagogical, and content knowledge.

Although digital tools used in mathematics teaching differ in terms of their technical characteristics and pedagogical functions, they were examined in the present study under three main categories: hardware-based technologies, software-based technologies, and web/internet-based technologies. Digital tools used in education range from hardware such as interactive whiteboards, tablets, and computers to software such as GeoGebra and web-based platforms such as Kahoot, EBA, Google Classroom, and Zoom (Nayiroğlu & Tutak, 2024). Hardware-based technologies such as interactive whiteboards, tablets, graphics tablets, and computers support the development of digital content, the implementation of interactive activities, and increased student participation (Demircioğlu Diren & Horzum, 2023). Teachers' competence in effectively selecting, implementing, and evaluating digital tools for pedagogical purposes is regarded as an important component of the meaningful integration of digital technologies into instruction (Redecker, 2017). Similarly, the development of teachers' digital competencies facilitates the integration of technologies into learning processes and contributes to students' acquisition of the skills required in the digital age (Toker et al., 2021). Software-based technologies such as GeoGebra, Cabri, and MATLAB are regarded as tools that support conceptual understanding, mathematical reasoning, problem solving, modelling, and the use of multiple representations (Karaarslan et al., 2013). Web-based tools such as Zoom, EBA, Google Classroom, Moodle, Kahoot, and Quizizz are used to support interaction, formative assessment, online collaboration, and feedback processes (Biçer & Tekinarslan, 2023). Digitalization in education also supports access to learning materials independent of time and place, thereby contributing to more flexible and sustainable learning processes (Sürer, 2020). The threefold classification used in this study was developed on the basis of the technical characteristics of digital tools and their use in instructional processes, as well as the TPACK and Instrumental Orchestration approaches. In particular, the Instrumental Orchestration approach, which concerns the pedagogically purposeful organization of technological tools, was considered one of the conceptual foundations of this classification (Trouche, 2004). Accordingly, this classification guided the coding and thematic structure of the study.

The visibility of digital technologies in instructional processes increased further with the digital transformation accelerated by the pandemic; this process brought not only the digitalization of instructional

materials but also the redesign of teaching to the forefront. Consequently, teachers' beliefs, digital competencies, and pedagogical approaches became important components of technology integration (Akşan Kılıçaslan et al., 2022). The potential of applications such as digital storytelling to support both cognitive and affective dimensions of learning also demonstrates that digital technologies should be considered not merely as technical tools but also in terms of their pedagogical functions (Özpınar, 2017).

In this regard, an examination of national studies shows that the use of digital tools in mathematics teaching has primarily concentrated on web/internet-based technologies, mathematics software, digital material development, gamification, and technology integration. Akşan Kılıçaslan et al. (2022) reported that teachers used a range of tools, including Zoom, e-books, GeoGebra, Kahoot, search engines, and instructional videos, whereas Taş et al. (2021) reported that middle school mathematics teachers used interactive whiteboards to support visualization and increase students' interest and attention during lessons. Yüksel et al. (2016) demonstrated that digital tools contributed to visualization, modelling, and motivation, although limitations related to access, technical support, and pedagogical competence could restrict their integration. The findings of Alan et al. (2021) likewise indicate that, despite the use of tools such as interactive whiteboards, projectors, GeoGebra, and EBA, technology use may remain largely at passive levels, such as projection and video presentation. Özbey and Özmentar (2024), in turn, reported that teachers considered criteria such as suitability for students' levels, time efficiency, conceptual accuracy, ease of use, and interaction when selecting digital tools, whereas complexity and technical problems could limit their preferences.

Findings from national studies on digital material development and gamification similarly indicate that pedagogical opportunities and technical limitations need to be considered together. Özpınar (2017), Aldemir Engin (2023), and Yıldız Durak and Karaoğlu Yılmaz (2019) found that digital storytelling and game-design applications supported participation, motivation, problem solving, creativity, and technological competence, while technical difficulties could constrain instructional processes. In studies addressing technology integration within the TPACK framework, professional development, teacher beliefs, digital skills, self-confidence, training, technical infrastructure, and administrative support emerged as prominent factors (Ağaç & Korkmaz, 2022; Demir & Bozkurt, 2011; İnce-Muslu & Erduran, 2021; Orman & Sevgi, 2024; Özdemir & Erduran, 2019; Öztıp & Buluç, 2022). Taken together, these studies suggest that digital tools offer important opportunities for conceptual learning, visualization, problem solving, and student motivation in the national literature; however, their effective use is associated not only with the availability of technological tools but also with teachers' pedagogical competencies and the conditions supporting integration.

Similar themes are evident in the international literature. Fjærestad and Xenofontos (2025) reported that digital tools supported individualized learning, motivation, and visualization, while also potentially creating limitations such as distraction, superficial learning, and excessive dependence on technology. Joshi et al. (2023) and Vaillant et al. (2021) demonstrated that digital platforms supported teaching and assessment processes, although problems related to content production, connectivity, and technical support could restrict integration. These findings largely correspond to those reported in national studies regarding the need for accessibility, technical infrastructure, and pedagogical support.

International studies examining the role of mathematics software in conceptual learning and problem solving likewise show that technology integration cannot be explained solely in terms of technical skills. Cîrceanu and Moldoveanu (2024) reported that tools such as MATLAB, Simulink, SolidWorks, and Python supported simulation, modelling, analytical thinking, and problem solving, while deficiencies in infrastructure and software-use skills could constrain integration. Dockendorff and Gomez Zaccarelli (2024) emphasized the importance of supporting technology integration through TPACK, whereas Yao and Zhao (2022) showed that teachers' use of technology could vary according to factors such as age and professional experience. Studies on gamification and coding similarly reported positive outcomes in relation to technological skills and learning processes, alongside technical difficulties and time constraints (Chananil et al., 2025; Lee et al., 2024). In addition, recent international studies have addressed emerging issues such as artificial intelligence-supported systems, ethics, and data privacy (Pörn et al., 2024; Song et al., 2025). Arhin et al. (2024) further demonstrated that although digital tools were perceived as useful, inadequate technical infrastructure and insufficient in-service training could limit their integration.

When national and international studies are considered together, a common tendency emerges indicating that digital tools support conceptual learning, problem solving, visualization, motivation, interaction, and individualized learning in mathematics teaching. However, these contributions do not appear to depend solely on the type of technology used; rather, they are closely associated with teachers' TPACK competencies, pedagogical planning skills, professional development opportunities, technical infrastructure, and institutional support. International studies tend to address more recent areas of digital transformation, including artificial intelligence, digital learning ecosystems, ethics, and data security, whereas national studies place greater emphasis on teacher competencies, GeoGebra use, and technology integration. Thus, although the two bodies of

literature largely converge in terms of their core issues, they also differ in relation to the emerging technological domains they address.

Nevertheless, an important limitation remains in the existing literature. A substantial proportion of studies on the use of digital tools in mathematics teaching focus on a specific digital tool, a particular sample, or a specific implementation context. Consequently, current and comprehensive synthesis studies that simultaneously examine the types of digital tools, their pedagogical uses, and the factors facilitating or hindering technology integration, while also comparing national and international findings within the same framework, remain limited. Although the existing studies provide a substantial body of knowledge, the findings remain dispersed across different research contexts, creating a need to reconsider evidence related to teacher competencies, pedagogical roles, and technology integration processes within a common framework.

Building on this gap, the present study examines national and international studies within the same analytical framework and evaluates digital tools used in mathematics teaching in terms of tool types, pedagogical purposes, and factors that facilitate or hinder technology integration. The scope of the study was limited to research published between 2011 and 2025. This period was selected to examine, within a defined and comparable timeframe, the recent period during which digital tools and technology integration became increasingly visible and widespread in mathematics education. Accordingly, the study seeks to evaluate the reflections of digital transformation on mathematics teaching over approximately the last fifteen years on the basis of both national and international research.

Accordingly, the aim of this study is to identify trends in the use of digital tools in mathematics teaching based on national and international research published between 2011 and 2025, classify the types of digital tools used, examine their pedagogical roles in instructional processes, and identify the factors that facilitate or hinder effective technology integration. Drawing on the integrated structure of technological, pedagogical, and content knowledge within the TPACK framework, the study considers not only how frequently or which types of digital tools are used, but also how these tools are integrated into instructional processes.

The original contribution of the study lies in evaluating the role of digital tools in mathematics teaching not merely in terms of tool types, but also by considering the findings of national and international studies together with their pedagogical purposes and the conditions affecting technology integration. In this respect, the study aims to provide a more holistic view of digital tool use in mathematics teaching by synthesizing findings dispersed across different research contexts under common themes. The findings are expected to contribute to the structuring of digital pedagogical content in teacher education programs, the development of in-service training practices, and the evaluation of technology integration processes in schools.

In line with this aim, the study addresses the following research questions:

1. What are the educational levels of mathematics teachers and the types of digital tools they use most frequently?
2. For what purposes and in which pedagogical roles are these tools used?
3. What factors facilitate and hinder effective technology integration?

2. Method

2.1. Research Design

This study was conducted as a document analysis study within a qualitative research approach and followed a systematic review approach. A systematic review is a research approach that aims to systematically select and synthesize studies in the literature on a specific topic according to predetermined criteria (Xiao & Watson, 2019). Document analysis is a method used to systematically examine written materials within the scope of a study in order to analyze the existing body of knowledge and interpret it under specific themes (Yıldırım & Şimşek, 2018). During the document analysis process, the articles were analyzed according to a systematic coding scheme in terms of their aims, methods, samples, types of digital tools used, and pedagogical outcomes. Document analysis was selected as appropriate for the purpose of this study because the systematic examination of national and international studies on the use of digital tools requires the existing body of knowledge to be evaluated holistically. This design enables dispersed research findings to be compared under specific themes and makes it possible to identify general trends in the use of digital tools in mathematics teaching.

The studies to be included in the research were determined in accordance with predetermined inclusion and exclusion criteria. Accordingly, duplicate records, publications for which full texts were unavailable, studies conducted outside the context of mathematics teaching or mathematics teacher education, research that did not directly examine the use of digital tools, as well as conference papers, theses, book chapters, and publications that had not undergone peer review were excluded. Following this screening process, 25 scientific articles published between 2011 and 2025 and directly addressing the use of digital tools, technology integration, or

teacher competencies in mathematics teaching constituted the final dataset of the study. Of these studies, 14 were published in national journals and 11 in international journals. The distribution of the studies included in the research is presented in Table 1.

Table 1. *Categories of the Studies*

Category	f	Included Studies
National	14	Akşan Kılıçaslan et al. (2022); Özpınar (2017); Öztop & Buluç (2022); Taş et al. (2021); Aldemir Engin (2023); Yıldız Durak & Karaoğlu Yılmaz (2019); Demir & Bozkurt (2011); Açıç & Korkmaz (2022); Yüksel et al. (2016); Özdemir & Erduran (2019); İnce-Muslu & Erduran (2021); Orman & Sevgi (2024); Alan et al. (2021); Özbey & Özmantar (2024).
International	11	Fjærestad & Xenofontos (2025); Cîrneanu & Moldoveanu (2024); Joshi et al. (2023); Dockendorff & Gomez Zaccarelli (2024); Chananil et al. (2025); Arhin et al. (2024); Lee et al. (2024); Song et al. (2025); Pörn et al. (2024); Vaillant et al. (2021); Yao & Zhao (2022).
Total	25	

Note. f = frequency.

2.2. Data Collection Instruments

The data were collected through a literature search conducted in 2025 across the Google Scholar, ERIC, Scopus, Web of Science, DergiPark Academic, and TR Dizin databases. During this process, the keywords “digital tools,” and “mathematics teachers” were used in Turkish and English. The search process included title, abstract, and keyword screening using the Boolean operators “AND” and “OR.” Only studies published in peer-reviewed journals were filtered in the databases, and publications for which full texts were unavailable were excluded. This multi-stage search approach enabled the systematic identification of studies directly related to the aim of the research.

The search results were evaluated in accordance with the PRISMA 2020 framework, which enables the transparent reporting of the processes of identifying, screening, assessing the eligibility of, and ultimately including studies in systematic reviews (Page et al., 2021). During the screening process, duplicate records, studies for which full texts were unavailable, research conducted outside the context of mathematics teaching or mathematics teacher education, studies that did not directly examine the use of digital tools, as well as conference papers, theses, book chapters, and publications that had not undergone peer review were excluded. A total of 25 articles meeting the predetermined inclusion criteria were included in the study. The inclusion criteria were as follows:

- Conducted within the context of mathematics teaching or teacher education,
- Directly examined the use of digital tools, software, or platforms,
- Published in Turkish or other languages,
- Published in peer-reviewed journals with full-text access.

Each selected article was analyzed in detail in terms of its aim, sample, tools used, method, and findings, thereby constituting the dataset of the study.

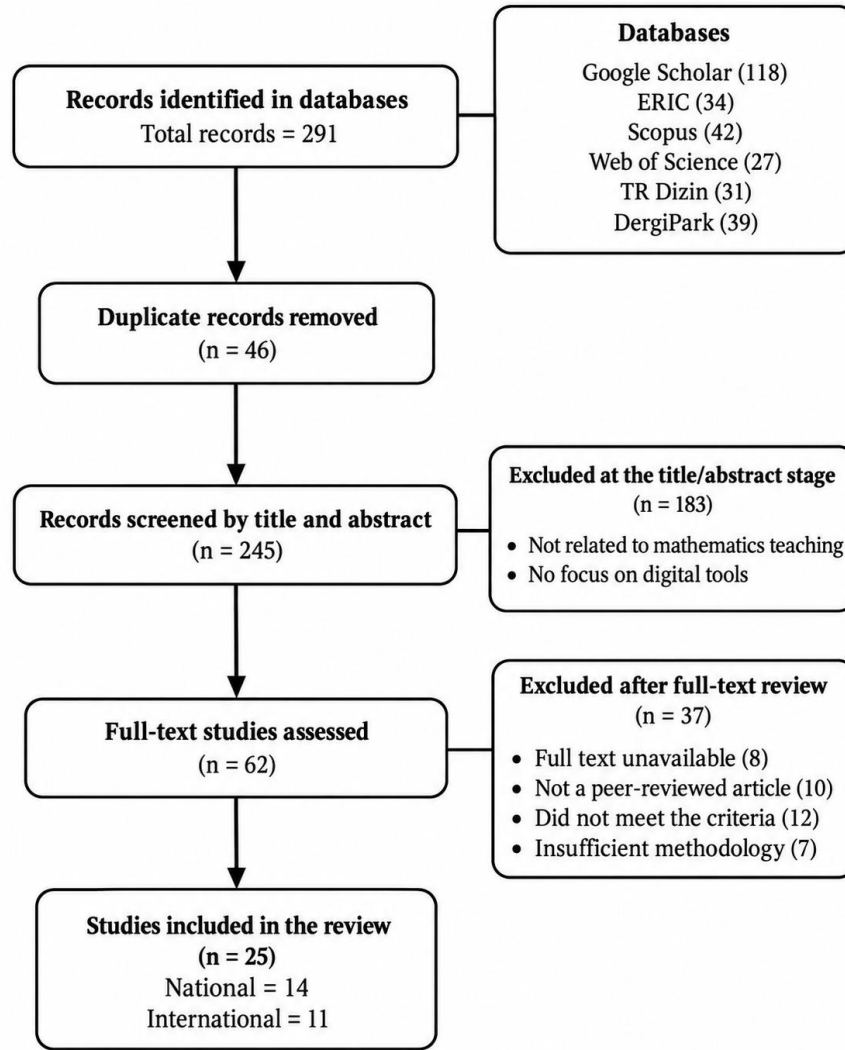


Figure 1. PRISMA 2020 Flow Diagram of the Study Selection Process

2.3. Data Analysis

The data obtained in the study were analyzed using a descriptive content analysis approach. Descriptive content analysis is an approach that aims to systematically present the existing situation by organizing data contained in documents under specific codes, categories, and themes (Bowen, 2009). All studies were systematically examined, and the digital tools, purposes of use, and pedagogical roles identified in the texts were transformed into explicit codes. During the coding process, expressions with similar meanings were first grouped according to their common characteristics, and categories were formed. These categories were then organized inductively under higher-order themes by considering the technical characteristics of digital tools, their patterns of use, and their functions in the instructional process. As a result of this process, three main themes were identified: hardware-based technologies, software-based technologies, and web/internet-based technologies. The coding process was conducted independently by two researchers, after which the resulting codes and categories were compared and consensus was reached. The percentage of agreement between coders was calculated using the formula proposed by Miles and Huberman (1994), $\text{Reliability} = \frac{\text{Agreement}}{\text{Agreement} + \text{Disagreement}} \times 100$, and was found to be 91%. Codes on which there was disagreement were clarified through consensus by re-examining the relevant studies and engaging in comparative discussion. This process was conducted in accordance with the principles of transparency and reliability recommended in descriptive content analysis.

2.4. Research Ethics

This study is a systematic review and document analysis based on the examination of published scientific documents. Since no data were collected directly from human participants, no process requiring ethics committee approval was conducted.

3. Findings

In this section, the findings obtained from the 25 articles examined are presented under three main themes in accordance with descriptive content analysis: (1) sample characteristics of the studies, (2) types of digital tools used and their pedagogical roles, and (3) factors facilitating and hindering digital tool integration. Each theme is visualized through the relevant tables, and the findings presented in the tables are supported by explanatory statements.

In this section of the study, the data obtained from the articles examined are presented in tables. Table 2 presents the distribution of the studies by educational level and their corresponding sources. Since some studies addressed more than one digital tool or pedagogical area of use, the same study was coded under more than one category. Therefore, the category frequencies do not represent the number of studies, but rather the frequency with which the relevant themes appear across the studies.

Table 2. *Distribution of Studies by Educational Level and Sources*

Target Group	f	Included Studies
Primary school mathematics teachers	8	Akşan Kılıçaslan et al. (2022), Taş et al. (2021), Demir & Bozkurt (2011), Ağıç & Korkmaz (2022), Fjærestad & Xenofontos (2025), Song et al. (2025), Özbey & Özmentar (2024), Vaillant et al. (2021)
High school mathematics teachers	7	Arhin et al. (2024), Özdemir & Erduran (2019), İnce-Muslu & Erduran (2021), Orman & Sevgi (2024), Alan et al. (2021), Pörn et al. (2024), Yao & Zhao (2022)
Pre-service mathematics teachers	6	Özpınar (2017), Aldemir Engin (2023), Yıldız Durak & Karaoğlu Yılmaz (2019), Lee et al. (2024), Dockendorff & Gomez Zaccarelli (2024), Chananil et al. (2025)
Other / Mixed reference groups	4	Secondary (middle school + high school): Joshi et al. (2023); Student: Öztıp & Buluç (2022); Higher education: Cırneanu & Moldoveanu (2024); Review: Yüksel et al. (2016)
Total	25	

Note. f = frequency.

According to Table 2, the highest proportion of studies, at 32%, involved primary school mathematics teachers. This was followed by high school mathematics teachers at 28% and pre-service mathematics teachers at 24%. The remaining 16%, categorized as other or mixed reference groups, included teacher, student, and academic samples from different educational levels. Table 2 indicates that the studies were conducted predominantly with primary and high school mathematics teachers. This finding suggests that applications related to the use of digital tools are particularly concentrated at the basic education levels and that the research has largely been teacher-oriented. To present the studies in a more systematic and readable manner in the subsequent tables, a coding system was used. Accordingly, national studies were coded as U1–U14, while international studies were coded as UA1–UA11, with the codes assigned according to the order of the studies presented in Table 1.

Following the distribution by educational level, the categories in which the digital tools used in the studies were concentrated were examined. The codes obtained were classified according to similarities and content characteristics and integrated into three main themes. These themes encompass the types of digital tools, their purposes of use, and the factors affecting the integration process. In this way, the findings could be presented in a more organized and comparable manner. The distributions according to digital tool categories are presented in Table 3.

Table 3. *Distributions by Digital Tool Categories*

Digital Tools	f	%	Included Tools	Included Studies
Hardware-based technologies	19	76	Interactive whiteboard, smartboard, projector, computer, laptop, tablet, graphics tablet, smartphone, Ozobot	U1, U4, U5, U7, U8, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA6, UA7, UA9, UA10, UA11
Software-based technologies	21	84	GeoGebra, Cabri (3D), MATLAB/Simulink, SolidWorks, Excel, GSP, Maple, Mathematica, ScratchJr, MovieMaker, GoAnimate, Draw Your Game	U1, U2, U4, U5, U6, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
Web/Internet-based technologies	24	96	Zoom, EBA, Google Classroom, Moodle, Microsoft Teams/OneDrive, Kikora, PAM, Google Forms, Kahoot, Quizizz, Jamboard, YouTube/educational videos	U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11

Note. f = frequency; % = percentage. Study codes (U1, U2, ...) are used to present the table in a more readable format.

According to Table 3, the most frequently used category of digital tools in the studies is web/internet-based technologies, with a rate of 96%. Within this category, online instructional platforms such as Zoom, EBA, Google Classroom, Moodle, Forms, Kahoot, and Quizizz are particularly prominent. Software-based technologies account for 84% and include programs such as GeoGebra, Cabri, MATLAB, and ScratchJr, whereas hardware-based technologies, representing 76%, consist of interactive whiteboards, tablets, computers, and smart devices. The distribution of digital tool categories indicates that web-based technologies have become dominant in mathematics education, while hardware-based tools constitute the fundamental infrastructure of the instructional process. The higher prevalence of web/internet-based technologies may be associated with their ease of access, their being mostly free or low-cost, their compatibility with different devices, and their easy integration into both remote and face-to-face teaching processes. In addition, the widespread adoption of online learning platforms after COVID-19 and the increasing use of learning management systems in educational processes may also be considered important factors explaining the more frequent inclusion of these tools in the studies. Following this distribution of digital tool types, the pedagogical purposes for which these tools are used in the instructional process are examined in Table 4.

Table 4. *Pedagogical Uses of Digital Tools and Reasons for Their Preference*

Area of Application	f	%	Prominent Example Tools	Reason for Preference	Explanation	Included Studies
Concept teaching / visualization	22	88	GeoGebra, Cabri, MATLAB, ScratchJr	Visualization of concepts	Presenting abstract concepts through concrete and multiple representations	U1, U4, U5, U6, U7, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
Problem solving / modelling	16	64	Excel, MATLAB, Python, GeoGebra	Ease of time management	Rapid assessment, material sharing, and planning	U1, U4, U9, U10, U11, U12, UA1, UA2, UA3, UA4, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
Interaction, motivation / gamification	15	60	Kahoot, Draw Your Game, Ozobot, MovieMaker	Student motivation	Gamification and interactive content	U1, U2, U5, U6, U11, U12, U13, U14, UA1, UA3, UA5, UA6, UA7, UA8, UA10
Formative assessment / feedback	18	72	Google Forms, Quizizz, Kikora, PAM	Assessment and feedback	Quizzes/forms, instant feedback, and monitoring	U1, U4, U7, U8, U9, U10, U11, U12, U13, UA1, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11
Individualized learning / differentiation	13	52	Kikora, PAM, EBA, AI-based modules	Accessibility and flexibility	Access to open and free web-based resources	U1, U4, U11, U12, UA1, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11

Note. f = frequency; % = percentage. Study codes (U1, U2, ...) are used to present the table in a more readable format.

According to Table 4, the most frequently reported area of digital tool use is concept teaching and visualization, accounting for 88%. This is followed by formative assessment and feedback at 72%, problem solving and modelling at 64%, interaction and motivation/gamification at 60%, and individualized learning/differentiation at 52%. The most commonly used tools include GeoGebra, Cabri, MATLAB, ScratchJr, Excel, Kahoot, Google Forms, and EBA. These findings indicate that digital tools are used not only for information delivery, but also for a range of pedagogical functions such as multiple representations, modelling, immediate feedback, and gamification. Nevertheless, the limited use of practices involving active production and student-led instruction is noteworthy. Following the identification of the purposes for which digital tools are used, the themes related to the factors facilitating and hindering their use are analyzed in Table 5.

Table 5. *Themes related to factors supporting and hindering digital tool integration*

Factor Type	Theme	f	%	Description	Included Studies
Supporting	Professional development training	17	68	Practice-based/in-service training, subject-specific TPACK	U4, U7, U9, U10, U11, U12, U13, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
	Administrative/institutional	15	60	School policy, time and	U7, U9, U10, U11, U13, UA1, UA2,

Factor Type	Theme	f	%	Description	Included Studies
	support			resource allocation	UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11
	Positive attitude and self-efficacy	18	72	Openness to technology, willingness to experiment	U5, U6, U7, U8, U10, U11, U12, U13, UA1, UA3, UA4, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11, UA2
	Material diversity/accessibility	16	64	Open-source repositories and sharing	U1, U4, U8, U9, U11, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11
	Technical infrastructure/access problems	18	72	Hardware, connectivity, maintenance/technical support	U4, U7, U9, U10, U11, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
	Time constraints	14	56	Planning and lesson-time pressures	U4, U7, U10, U11, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA6, UA7, UA9, UA10
Hindering	Lack of pedagogical planning	13	52	Tools being limited to 'passive' use	U7, U10, U11, U13, U14, UA2, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11
	Ethical/privacy concerns (AI)	8	32	Data security, transparency	UA5, UA6, UA8, UA9, UA11, UA2, UA3, UA4

Note. f = frequency; % = percentage. Study codes (U1, U2, ...) are used to present the table in a more readable format.

According to Table 5, the main factors supporting digital tool integration include positive attitudes and self-efficacy at 72%, professional development training at 68%, material diversity and accessibility at 64%, and administrative support at 60%. The factors hindering integration were identified as technical infrastructure and access problems at 72%, time constraints at 56%, lack of pedagogical planning at 52%, and ethical/privacy concerns at 32%. As shown in Table 5, the factors supporting and hindering digital tool integration vary at both the individual level (self-efficacy, attitudes) and the environmental level (infrastructure, administrative support). This indicates that the use of digital tools is not merely a technical issue, but rather a multidimensional pedagogical and institutional process.

4. Discussion and Conclusion

The findings of the study indicate that, although the use of digital tools in mathematics teaching has become increasingly widespread, effective technology integration depends more on how these tools are integrated for pedagogical purposes than on the type of tool used. The national and international studies examined converge on the view that digital tools have the potential to support conceptual learning, problem solving, visualization, and student interaction; however, this potential is not always fully reflected in instructional processes. Particularly when evaluated within the TPACK framework, it is understood that the integrated use of technology with pedagogical and content knowledge is the key determinant of effective integration, and that technical infrastructure alone is not sufficient. This situation demonstrates that digital transformation in mathematics teaching should be addressed not only as a technological process, but also as a pedagogical and institutional transformation process.

Within this general framework, the main findings of the study are discussed below comparatively with the studies in the literature. The findings show that the use of digital tools in mathematics teaching has rapidly become widespread; however, the potential of these tools has remained largely limited by the pedagogical context. Especially following COVID-19, with online learning environments becoming compulsory, digital tools have been adopted at different levels by teachers, pre-service teachers, and students (Alan et al., 2021; Yüksel et al., 2016). This situation indicates that digitalization has created not only a technological transition, but also a fundamental transformation in the understanding of teaching.

As shown in Table 2, a large proportion of the studies were conducted with primary school and high school mathematics teachers, and focused on the integration of digital tools into classroom practices within these groups. The greater number of studies focusing on primary school mathematics teachers may be associated with the high need to concretize abstract concepts at this educational level. It has been stated that digital tools support learning by enhancing visualization and interaction, and that materials and digital support improve conceptual understanding (Bozkurt & Akalın, 2015).

The studies revealed that digital tools were classified into three main categories: hardware-based technologies, software-based technologies, and web-based technologies (Table 3). While hardware-based tools such as interactive whiteboards, tablets, and computers provide teachers with opportunities to visualize the flow

of the lesson and increase student participation, software applications such as GeoGebra, MATLAB, ScratchJr, and Z-Kitap have facilitated the concretization of abstract concepts. Web-based tools (Zoom, EBA, Google Classroom, Kahoot, etc.) have made instructional processes sustainable, particularly during the distance education period. However, according to the content analysis, these tools are mostly used in teacher-centered, presentation-supported forms, while students' active producer role remains limited. The prominent position of web-based tools in this study is consistent with the trends observed in post-pandemic educational research (Joshi et al., 2023; Yao & Zhao, 2022). However, the limited use of software-based tools suggests that teachers' competencies in mathematical software still remain open to development. This situation supports the need for the "integration of technological knowledge and pedagogical knowledge" emphasized in the TPACK literature.

Nevertheless, the lower frequency of software-based tool use compared with some international studies is considered to stem from differences in the educational levels at which the studies were conducted, countries' technological infrastructures, teachers' professional experience, and in-service training opportunities. Similarly, the greater presence of artificial intelligence-supported systems and adaptive learning platforms in international studies may be explained by the earlier and more comprehensive implementation of digital transformation policies and investments in educational technologies in these countries.

From the perspective of mathematics teachers, the findings show that digital tools are used effectively particularly in the areas of concept teaching, problem solving, and modelling (Table 4). While software such as GeoGebra and MATLAB supports conceptual learning, tools such as Kahoot and Google Forms facilitate formative assessment. Nevertheless, it is observed that teachers often use digital tools as a technical support element and that the technology–pedagogy–content interaction envisaged by the TPACK model is not always achieved (Demir & Bozkurt, 2011; Özdemir & Erduran, 2019). This situation indicates that digital tools should be considered not merely as a means of transmission, but as a pedagogical component that transforms learning.

When evaluated in terms of the TPACK model, it is understood that teachers' possession of technological knowledge alone is not sufficient; integrating these technologies into the teaching process by combining them with pedagogical strategies and mathematics content knowledge is a fundamental condition for effective technology use. This finding supports the proposition of the TPACK model that the integrated use of technology, pedagogy, and content knowledge is a key determinant of effective technology integration in mathematics teaching. The intensive use of digital tools for concept teaching, visualization, and assessment purposes is similar to international studies examining GeoGebra, ScratchJr, and assessment applications (Fjærestad & Xenofontos, 2025; Lee et al., 2024). However, the limited extent of student-centered production, collaboration, and modelling processes is consistent with the "passive use pattern" previously identified in the literature (Alan et al., 2021). This situation demonstrates that the pedagogical potential of digital tools cannot be fully realized because technology, pedagogy, and content knowledge are not holistically integrated into instructional design. These findings offer important implications not only for in-service teachers, but also for the education of pre-service teachers as future teachers.

Studies conducted with pre-service mathematics teachers have found that digital storytelling (Özpınar, 2017), gamification (Aldemir Engin, 2023; Yıldız Durak & Karaoğlu Yılmaz, 2019), and coding tools (Lee et al., 2024) increase pre-service teachers' creativity, collaboration, and self-confidence toward technology. However, most of these experiences have remained limited to short-term and project-based practices. This result points to the need to increase discipline-specific digital pedagogical courses in teacher education programs and to expand practice-oriented TPACK-based activities. In addition, internship-based digital practice models that enable pre-service teachers to use hardware- and software-based tools holistically in their lesson designs appear to be gaining importance.

The emphasis placed on technical and institutional barriers in many national studies (İnce-Muslu & Erduran, 2021) indicates that digital transformation is closely related not only to teacher competencies but also to the school ecosystem. In international studies, administrative support and professional development are emphasized as factors that positively affect integration (Arhin et al., 2024; Dockendorff & Gomez Zaccarelli, 2024). In this context, it can be stated that the integration process has a multilayered structure. These differences between national and international studies indicate that technology integration is influenced not only by individual teacher competencies, but also by educational policies, school culture, digital infrastructure opportunities, and countries' levels of investment in technology.

These findings are consistent with findings in the international literature indicating that digital tools have the potential to transform teaching. However, as observed in many studies (Fjærestad & Xenofontos, 2025; Lee et al., 2024), technical competencies alone are not sufficient for effective integration; strengthening teachers' knowledge and skills in pedagogical design is critically important.

Therefore, the permanent and effective use of digital tools in education requires not only investments in technology but also the strengthening of pedagogical capacity. In conclusion, when the factors supporting and

hindering digital tool integration (Table 5) are evaluated, positive attitudes, self-efficacy, professional development, and institutional support facilitate integration, whereas technical infrastructure problems, insufficient time, and lack of pedagogical planning make the process more difficult. These findings reveal the importance of three fundamental components for the effective use of digital tools in education: (1) developing teachers' digital pedagogical competencies, (2) strengthening institutional and infrastructural support, and (3) promoting pedagogical designs in which technology is meaningfully aligned with learning objectives. In conclusion, the key to high-quality mathematics teaching in the digital age is to educate teachers not as "tool users," but as "learning designers."

5. Recommendations

In line with the findings obtained in this study, digital tools were found to assume a wide range of pedagogical roles in mathematics teaching; however, the integration process was influenced by technical, pedagogical, and institutional factors. Therefore, the recommendations were structured separately for researchers, practitioners, and policymakers so as to directly reflect the findings of the study.

Recommendations for researchers:

- It is recommended that comprehensive meta-analysis studies be conducted in which national and international research on the use of digital tools in mathematics teaching is examined comparatively. In this way, the similarities and differences between practices in Türkiye and global trends can be identified.
- Examining the use of digital tools not only in mathematics teaching but also in different disciplines such as science, social sciences, and language education may contribute to the development of interdisciplinary digital pedagogical models.
- It is recommended that the number of experimental and quasi-experimental studies measuring the effects of digital tools on mathematical thinking, conceptual understanding, and problem-solving processes be increased. In addition, conducting mixed-method studies comparing the pedagogical effects of software-based tools and web-based tools will contribute to addressing gaps in the literature. Longitudinal studies focusing on teacher and student profiles at different educational levels may reveal how changes in the use of digital tools develop over time.
- It is recommended that the number of experimental or action research studies examining in depth the contributions of hardware-based, software-based, and web-based technologies (e.g., GeoGebra, Kahoot, MATLAB, EBA) to the instructional process be increased.
- Mixed-method data collection processes should be expanded in order to gain an in-depth understanding of mathematics teachers', preservice teachers', and students' perceptions, attitudes, and competencies regarding digital tools.

Recommendations for practitioners:

- It is recommended that practice-based professional development programs be designed for teachers to support the use of digital tools not only during presentation and assessment stages but also in higher-order cognitive processes such as problem posing, modelling, data analysis, and collaborative learning. In particular, providing teachers with classroom implementation examples for integrating software such as GeoGebra, MATLAB, ScratchJr, and similar tools into lesson designs will contribute to overcoming patterns of passive use. School-based professional learning communities should be established to encourage teachers to share their digital pedagogical experiences.
- It is recommended that TPACK-based practical courses for preservice mathematics teachers be supported with innovative teaching methods such as digital storytelling and gamification.
- Examining factors such as infrastructure, access, and time constraints that limit the effective use of digital tools comparatively across different regions will contribute to the development of policy and investment plans.
- Expanding continuous professional development, online sharing communities, and practice-based workshops for mathematics teachers will support the sustainable development of digital pedagogical competencies.

Recommendations for policymakers:

- Investment plans should be developed to reduce differences in digital infrastructure among schools, and in-service training programs should be restructured to develop subject-specific digital pedagogical competencies. Updating mathematics curricula with learning outcomes and sample activities that support the use of digital tools will contribute to enabling teachers to implement technology integration

systematically. In addition, it is important to develop national guidelines for the safe, ethical, and pedagogically appropriate use of artificial intelligence and adaptive learning systems.

The main limitation of this study is that it is based solely on document analysis and is limited by the number of studies included in the review. Future research is recommended to include qualitative studies that examine teacher and student views in depth, as well as experimental designs measuring the effects of digital tools. In addition, comparing integration models across different countries would be useful for revealing cultural and structural differences related to the use of digital tools in greater detail.

Acknowledgements: An earlier version of this study was presented as an oral paper at the 7th International Turkish Computer and Mathematics Symposium (TURCOMAT-7), Antalya, Türkiye (Abstract Book, pp. 209–210).

Ethics Statement: No process requiring ethics committee approval was conducted in this study.

Funding: No funding was reported for this study.

Declaration of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Author Contributions: Author 1: Conceptualization, Methodology, Writing – Original Draft, Data Curation, Formal Analysis. Author 2: Supervision, Writing – Review & Editing.

Statement on the Use of Artificial Intelligence: Artificial intelligence tools were not used in the preparation of this study.

Matematik Öğretmenlerinin Öğretim Süreçlerinde Dijital Araç Kullanımına Yönelik Ulusal ve Uluslararası Araştırmaların İncelenmesi: Bir Alanyazın Taraması

1. Giriş

Etkili matematik öğretimi, öğrencilerin soyut kavramları yalnızca ezberlemelerini değil, bu kavramları anlamlandırarak zihinsel olarak yapılandırmalarını gerektirmektedir. Bu süreçte öğretim materyallerinin kullanımı, soyut matematiksel kavramların somutlaştırılması ve öğrencilerin bilişsel yapılandırma süreçlerine aktif biçimde katılmalarının sağlanması açısından önemli bir bileşendir (Bozkurt & Akalın, 2015). Öğretim materyalleri, öğrencilerin pasif bilgi alıcıları olmaktan çıkarak anlamlı öğrenme sürecine etkin biçimde katılmalarını kolaylaştırmakta ve zihinsel etkinlikleri destekleyerek öğrenmenin kalıcılığına katkı sağlamaktadır. Böylece matematik öğretimi yalnızca bilgi aktarımına dayalı bir süreç olmaktan çıkarak, yapılandırmacı bir anlayış doğrultusunda öğrenmeye rehberlik eden bir süreç dönüşmektedir.

Dijital çağla birlikte öğrenme-öğretme ortamlarında kullanılan araçların niteliği ve işlevi önemli ölçüde değişmiştir. Dinamik geometri yazılımları, simülasyonlar, artırılmış gerçeklik uygulamaları ve web tabanlı platformlar; matematik öğretiminde kavram yanılgılarının fark edilmesini, hipotez geliştirilmesini ve çoklu temsiller aracılığıyla anlam oluşturulmasını destekleyen araçlar hâline gelmiştir (Yüksel vd., 2016). Bu teknolojiler aynı zamanda öğrencilerin aktif katılımını, matematik yapmaya yönelik ilgi ve güvenlerini, işbirlikli öğrenmeyi ve öğrenmenin sınıf dışına taşan sürekliliğini desteklemektedir (Öztop & Buluç, 2022). Bununla birlikte matematiğin soyut doğası ve önceki olumsuz öğrenme deneyimlerine dayalı önyargılar öğrencilerde isteksizlik ve kaygıya yol açabilmektedir (Hacıoğlu Seven & Erümit, 2025). Dolayısıyla dijital araçların öğrenme ortamlarında bulunması tek başına yeterli olmamakta; öğretmenlerin bu araçları içerik, öğrenci özellikleri ve pedagojik amaçlarla uyumlu biçimde kullanabilmeleri önem kazanmaktadır. Bu bağlamda temel sorun, yalnızca dijital araçların kullanılıp kullanılmaması değil, söz konusu araçların hangi amaçlarla, nasıl ve hangi pedagojik roller doğrultusunda öğretim sürecine entegre edildiğidir.

Teknolojinin matematik öğretimiyle anlamlı biçimde bütünleştirilmesi, öğretmenlerin teknoloji bilgisinin pedagojik ve alan bilgisiyle birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Shulman'ın (1986) Pedagojik Alan Bilgisi (PAB) yaklaşımı, öğretmenin alan bilgisini öğrencinin düzeyi ve öğretim bağlamına göre yeniden yapılandırmasını; çoklu temsiller, analogiler ve öğretim stratejileri aracılığıyla anlamı zenginleştirmesini vurgulamaktadır. Dijital çağda bu yaklaşım, teknoloji bilgisinin pedagojik ve içerik bilgisiyle bütünleştirildiği Teknolojik Pedagojik Alan Bilgisi (TPAB) modeline genişlemiştir (Demir & Bozkurt, 2011; Özdemir & Erduran, 2019). TPAB, teknolojiyi yalnızca kullanmaya değil, teknolojiyi içerik ve pedagojik amaçlarla anlamlı biçimde bütünleştirmeye odaklanmaktadır. Bu doğrultuda dinamik geometri yazılımlarının, hesaplama ve modelleme araçlarının, video ve simülasyon uygulamalarının ve çevrim içi platformların öğretim içeriği ve pedagojik amaçlarla uyumlu biçimde kullanılması önem taşımaktadır. Enstrümantal Orkestrasyon yaklaşımı da öğretmenin teknolojiyi pedagojik senaryolar doğrultusunda yapılandırmasını ve sınıf içi düzenlemeler aracılığıyla öğrenci etkileşimini desteklemesini öne çıkarmaktadır (Alan vd., 2021).

Bu araştırmada TPAB ve Enstrümantal Orkestrasyon yaklaşımları yalnızca kuramsal bir temel olarak değil, aynı zamanda incelenen çalışmaların çözümlenmesinde kavramsal bir rehber olarak ele alınmıştır. Dijital araçların türleri, öğretim sürecindeki pedagojik kullanım amaçları ile teknoloji entegrasyonunu destekleyen ve engelleyen etmenler bu yaklaşımların temel bileşenleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Böylece dijital teknoloji kullanımı yalnızca hangi araçların tercih edildiği açısından değil, söz konusu araçların öğretim sürecine nasıl entegre edildiği açısından da incelenmiştir. Bu yaklaşım, araştırma sorularının da teknoloji, pedagoji ve alan bilgisinin bütünsel yapısını dikkate alacak biçimde oluşturulmasına temel sağlamaktadır.

Matematik öğretiminde kullanılan dijital araçlar farklı teknik özelliklere ve pedagojik işlevlere sahip olmakla birlikte, bu araştırmada donanımsal teknolojiler, yazılım tabanlı teknolojiler ve web/internet tabanlı teknolojiler olmak üzere üç temel kategori altında ele alınmıştır. Eğitimde kullanılan dijital araçlar; etkileşimli tahta, tablet ve bilgisayar gibi donanımsal araçlardan GeoGebra gibi yazılımlara ve Kahoot, EBA, Google Classroom ile Zoom gibi web tabanlı platformlara kadar geniş bir çeşitlilik göstermektedir (Nayiroğlu & Tutak, 2024). Etkileşimli tahta, tablet, grafik tablet ve bilgisayar gibi donanımsal teknolojiler, dijital içeriklerin oluşturulmasını, etkileşimli uygulamaların yürütülmesini ve öğrenci katılımının artırılmasını desteklemektedir (Demircioğlu Diren & Horzum, 2023). Öğretmenlerin dijital araçları pedagojik amaçlarla etkili biçimde seçme, uygulama ve değerlendirme yeterlikleri, dijital teknolojilerin öğretim sürecine anlamlı biçimde entegre edilmesinde önemli bir unsur olarak ele alınmaktadır (Redecker, 2017). Benzer biçimde, öğretmenlerin dijital yeterliklerinin gelişmesi, teknolojilerin öğrenme süreçlerine entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve öğrencilerin dijital çağın gerektirdiği becerileri kazanmalarına katkı sağlamaktadır (Toker vd., 2021). GeoGebra, Cabri, MATLAB ve benzeri yazılım tabanlı teknolojiler ise kavramsal anlamayı, matematiksel akıl yürütmeyi, problem çözme, modellemeyi ve çoklu temsil kullanımını destekleyen araçlar olarak ele alınmaktadır (Karaarslan vd., 2013). Zoom, EBA, Google Classroom, Moodle, Kahoot ve Quizizz gibi web tabanlı araçlar ise etkileşim,

biçimlendirici değerlendirme, çevrim içi iş birliği ve geri bildirim süreçlerinde kullanılmaktadır (Biçer & Tekinarslan, 2023). Eğitimde dijitalleşme aynı zamanda öğrenme materyallerine zaman ve mekândan bağımsız erişimi destekleyerek öğrenme süreçlerinin daha esnek ve sürdürülebilir hâle gelmesine katkı sağlamaktadır (Sürer, 2020). Bu çalışmada kullanılan üçlü sınıflandırma, dijital araçların teknik özellikleri ve öğretim süreçlerindeki kullanım biçimlerinin yanı sıra TPAB ve Enstrümantal Orkestrasyon yaklaşımlarından hareketle oluşturulmuş; özellikle teknolojik araçların pedagojik amaçlar doğrultusunda düzenlenmesine ilişkin Enstrümantal Orkestrasyon yaklaşımı bu sınıflandırmanın kavramsal dayanaklarından biri olarak değerlendirilmiştir (Trouche, 2004). Böylece söz konusu sınıflandırma, araştırmanın kodlama ve tema yapısına rehberlik etmiştir.

Dijital teknolojilerin öğretim süreçlerindeki görünürlüğü, pandemiyle hızlanan dijital dönüşümle birlikte daha da artmış; bu süreç yalnızca materyallerin dijitalleşmesini değil, öğretimin yeniden tasarlanmasını da gündeme getirmiştir. Bu durum, öğretmenlerin inançlarını, dijital yeterliklerini ve pedagojik yaklaşımlarını teknoloji entegrasyonunun önemli bileşenleri hâline getirmiştir (Akşan Kılıçaslan vd., 2022). Dijital öyküleme gibi uygulamaların bilişsel ve duyuşsal öğrenmeyi birlikte destekleyebilmesi de dijital teknolojilerin yalnızca teknik araçlar olarak değil, pedagojik işlevleri bakımından değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Özpınar, 2017).

Bu doğrultuda ulusal çalışmalar incelendiğinde matematik öğretiminde dijital araç kullanımının web/internet tabanlı teknolojiler, matematik yazılımları, dijital materyal geliştirme, oyunlaştırma ve teknoloji entegrasyonu temalarında yoğunlaştığı görülmektedir. Akşan Kılıçaslan vd. (2022), öğretmenlerin Zoom, Z-Kitap, GeoGebra, Kahoot, arama motorları ve eğitsel videolar gibi farklı araçlardan yararlandıklarını; Taş vd. (2021) ise ortaokul matematik öğretmenlerinin etkileşimli tahtaları derslerde görselleştirmeyi desteklemek ve öğrencilerin ilgi ve dikkatini artırmak amacıyla kullandıklarını bildirmiştir. Yüksel vd. (2016), dijital araçların görselleştirme, modelleme ve motivasyona katkı sağladığını, ancak erişim, teknik destek ve pedagojik yeterlik eksikliklerinin entegrasyonu sınırlandırabildiğini ortaya koymuştur. Alan vd. (2021) tarafından elde edilen bulgular da akıllı tahta, projeksiyon, GeoGebra ve EBA gibi araçların kullanılmasına karşın kullanımın çoğunlukla yansıtma ve video gösterimi gibi pasif düzeylerde kalabildiğini göstermektedir. Özbey ve Özmantar (2024) ise öğretmenlerin dijital araç seçimlerinde düzeye uygunluk, zaman etkinliği, kavramsal doğruluk, kullanım kolaylığı ve etkileşim gibi ölçütleri dikkate aldıklarını; karmaşıklık ve teknik sorunların tercihleri sınırlandırabildiğini belirtmiştir.

Ulusal çalışmalarda dijital materyal geliştirme ve oyunlaştırmaya ilişkin bulgular da benzer biçimde pedagojik olanaklarla teknik sınırlılıkların birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Özpınar (2017), Aldemir Engin (2023) ile Yıldız Durak ve Karaoğlu Yılmaz (2019), dijital öyküleme ve oyun tasarlama uygulamalarının katılım, motivasyon, problem çözme, yaratıcılık ve teknoloji yeterliğini desteklediğini; ancak teknik güçlüklerin öğretim sürecini sınırlandırabildiğini ortaya koymuştur. Teknoloji entegrasyonunu TPAB çerçevesinde ele alan çalışmalarda ise mesleki gelişim, öğretmen inançları, dijital beceriler, öz güven, eğitim, teknik altyapı ve yönetim desteği öne çıkan etmenlerdir (Ağaç & Korkmaz, 2022; Demir & Bozkurt, 2011; İnce-Muslu & Erduran, 2021; Orman & Sevgi, 2024; Özdemir & Erduran, 2019; Öztıp & Buluç, 2022). Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, ulusal alanyazında dijital araçların kavramsal öğrenme, görselleştirme, problem çözme ve öğrenci motivasyonu açısından önemli olanaklar sunduğu; ancak etkili kullanımın yalnızca teknolojik araçların varlığıyla değil, öğretmenlerin pedagojik yeterlikleri ve entegrasyonu destekleyen koşullarla ilişkili olduğu görülmektedir.

Uluslararası alanyazında da benzer temalar öne çıkmaktadır. Fjærestad ve Xenofontos (2025), dijital araçların bireyselleştirilmiş öğrenme, motivasyon ve görselleştirmeyi desteklediğini; buna karşılık dikkat dağınıklığı, yüzeysel öğrenme ve teknolojiye aşırı bağımlılık gibi sınırlılıklar oluşturabildiğini belirtmiştir. Joshi vd. (2023) ve Vaillant vd. (2021), dijital platformların öğretim ve değerlendirme süreçlerini desteklediğini; ancak içerik üretimi, bağlantı ve teknik destek sorunlarının entegrasyonu sınırlandırabildiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, ulusal çalışmalarda erişilebilirlik, teknik altyapı ve pedagojik destek gereksinimine ilişkin ulaşılan sonuçlarla büyük ölçüde örtüşmektedir.

Matematik yazılımlarının kavramsal öğrenme ve problem çözmedeki rolünü ele alan uluslararası araştırmalar da teknoloji entegrasyonunun yalnızca teknik beceriyle açıklanamayacağını göstermektedir. Cîrneanu ve Moldoveanu (2024), MATLAB, Simulink, SolidWorks ve Python gibi araçların simülasyon, modelleme, analitik düşünme ve problem çözmeyle desteklediğini; altyapı ve yazılım kullanım becerilerinin ise entegrasyonu sınırlandırabildiğini belirtmiştir. Dockendorff ve Gomez Zaccarelli (2024), teknoloji entegrasyonunun TPAB ile desteklenmesinin önemini vurgularken; Yao ve Zhao (2022), öğretmenlerin teknoloji kullanımının yaş ve deneyim gibi değişkenlere göre farklılaşabildiğini göstermiştir. Oyunlaştırma ve kodlamaya ilişkin çalışmalarda da teknoloji kullanım becerileri ve öğrenme süreçlerine yönelik olumlu sonuçlarla birlikte teknik güçlükler ve zaman kısıtları rapor edilmiştir (Chananil vd., 2025; Lee vd., 2024). Bunun yanında uluslararası araştırmalarda yapay zekâ destekli sistemler, etik ve veri gizliliği gibi güncel konuların da ele alındığı görülmektedir (Pörn vd., 2024; Song vd., 2025). Arhin vd. (2024) ise dijital araçların yararlı görülmesine rağmen teknik altyapı ve hizmet içi eğitim eksikliklerinin entegrasyonu sınırlandırabildiğini ortaya koymuştur.

Ulusal ve uluslararası çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, dijital araçların matematik öğretiminde kavramsal öğrenme, problem çözme, görselleştirme, motivasyon, etkileşim ve bireyselleştirilmiş öğrenmeyi desteklediği yönünde ortak bir eğilim bulunmaktadır. Bununla birlikte söz konusu katkılarının yalnızca kullanılan teknolojinin türüne bağlı olmadığı; öğretmenlerin TPAB yeterlikleri, pedagojik planlama becerileri, mesleki gelişim olanakları, teknik altyapı ve kurumsal destekle yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Uluslararası çalışmaların yapay zekâ, dijital öğrenme ekosistemleri, etik ve veri güvenliği gibi daha güncel dijital dönüşüm alanlarına yöneldiği; ulusal çalışmaların ise öğretmen yeterlikleri, GeoGebra kullanımı ve teknoloji entegrasyonu üzerinde daha fazla yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Böylece iki alanyazının temel sorunlar bakımından büyük ölçüde ortaklaştığı, ancak ele alınan güncel teknoloji alanları açısından farklılaşabildiği görülmektedir.

Bununla birlikte mevcut alanyazında önemli bir sınırlılık bulunmaktadır. Matematik öğretiminde dijital araç kullanımını ele alan çalışmaların önemli bir bölümü belirli bir dijital araca, belirli bir örneklem veya belirli bir uygulama bağlamına odaklanmaktadır. Bu nedenle dijital araç türlerini, pedagojik kullanım alanlarını ve teknoloji entegrasyonunu destekleyen ya da engelleyen etmenleri birlikte ele alan; ayrıca ulusal ve uluslararası bulguları aynı çerçevede karşılaştıran güncel ve bütüncül sentez çalışmalarının sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmaların önemli ancak dağınık bir bilgi birikimi sunması, öğretmen yeterlikleri, pedagojik roller ve teknoloji entegrasyonu süreçlerine ilişkin bulguların ortak bir çerçevede yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu araştırma söz konusu boşluktan hareketle ulusal ve uluslararası çalışmaları aynı analitik çerçevede ele almakta; matematik öğretiminde kullanılan dijital araçları araç türleri, pedagojik kullanım amaçları ve teknoloji entegrasyonunu destekleyen ya da engelleyen etmenler bakımından birlikte değerlendirmektedir. Araştırmanın kapsamı 2011–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalarla sınırlanmıştır. Bu zaman aralığı, matematik eğitiminde dijital araçların ve teknoloji entegrasyonunun daha görünür ve yaygın hâle geldiği güncel dönemin belirli ve karşılaştırılabilir bir zaman aralığı içerisinde incelenmesi amacıyla belirlenmiştir. Böylece yaklaşık son on beş yıllık dönemde dijital dönüşümün matematik öğretimine yansımalarının ulusal ve uluslararası araştırmalar temelinde birlikte değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu doğrultuda araştırmanın amacı, 2011–2025 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası araştırmalar temelinde matematik öğretiminde dijital araç kullanımına ilişkin eğilimleri belirlemek, kullanılan dijital araç türlerini sınıflandırmak, bu araçların öğretim sürecindeki pedagojik rollerini incelemek ve etkili teknoloji entegrasyonunu destekleyen ya da engelleyen etmenleri ortaya koymaktır. Araştırmada TPAB modelinin teknoloji, pedagoji ve alan bilgisinin bütünleşik yapısı esas alınarak dijital araçların yalnızca hangi sıklıkla veya hangi türlerde kullanıldığı değil, öğretim süreçlerine nasıl entegre edildiği de dikkate alınmaktadır.

Araştırmanın özgün katkısı, dijital araçların matematik öğretimindeki yerini yalnızca araç türleri bakımından betimlemek yerine, ulusal ve uluslararası araştırmalarda ortaya çıkan bulguları pedagojik kullanım amaçları ve teknoloji entegrasyonunu etkileyen koşullarla birlikte değerlendirmesidir. Bu yönüyle çalışma, alanyazında farklı araştırma bağlamlarına dağılmış bulguları ortak temalar altında bütünleştirerek matematik öğretiminde dijital araç kullanımına ilişkin daha bütüncül bir görünüm sunmayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulguların öğretmen yetiştirme programlarının dijital pedagojik içeriklerinin yapılandırılması, hizmet içi eğitim uygulamalarının geliştirilmesi ve okullardaki teknoloji entegrasyonu süreçlerinin değerlendirilmesi açısından katkı sağlaması beklenmektedir.

Bu amaç doğrultusunda araştırmada aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır:

1. Matematik öğretmenlerinin eğitim kademeleri ve en sık kullandıkları dijital araç türleri nelerdir?
2. Bu araçlar hangi amaçlarla ve hangi pedagojik rollerle kullanılmaktadır?
3. Etkili teknoloji entegrasyonunu destekleyen ve engelleyen faktörler nelerdir?

2. Yöntem

2.1. Araştırma Deseni

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımı kapsamında sistematik derleme yaklaşımıyla yürütülen bir doküman incelemesi çalışmasıdır. Sistematik derleme, belirli bir konuya ilişkin alanyazındaki çalışmaların önceden belirlenen ölçütlere göre sistematik biçimde seçilmesi ve sentezlenmesini amaçlayan bir araştırma yaklaşımıdır (Xiao & Watson, 2019). Doküman incelemesi, araştırma kapsamındaki yazılı materyallerin sistematik biçimde incelenerek mevcut bilgi birikimini analiz etmeye ve belirli temalar altında anlamlandırmaya yönelik bir yöntemdir (Yıldırım & Şimşek, 2018). Doküman incelemesi sürecinde makaleler; amaç, yöntem, örneklem, kullanılan dijital araç türleri ve ulaşılan pedagojik sonuçlar bakımından sistematik kodlama şemasına göre analiz edilmiştir. Doküman incelemesi, bu araştırmanın amacına uygun olarak tercih edilmiştir; çünkü dijital araç kullanımına yönelik ulusal ve uluslararası çalışmaların sistematik biçimde çözümlenmesi, mevcut birikimin bütüncül olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu desen, dağınık halde bulunan araştırma sonuçlarını

belirli temalar altında karşılaştırılabilir hâle getirmekte ve matematik öğretimindeki dijital araç kullanımına ilişkin genel eğilimleri ortaya koymaya olanak sağlamaktadır.

Araştırma kapsamına alınacak çalışmalar, önceden belirlenen dâhil etme ve dışlama ölçütleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu kapsamda yinelenen kayıtlar, tam metnine erişilemeyen yayınlar, matematik öğretimi veya matematik öğretmeni eğitimi bağlamı dışında kalan çalışmalar, dijital araç kullanımını doğrudan incelemeyen araştırmalar ile bildiri, tez, kitap bölümü ve hakem değerlendirmesinden geçmemiş yayınlar kapsam dışı bırakılmıştır. Yapılan eleme sonucunda, 2011–2025 yılları arasında yayımlanan ve matematik öğretiminde dijital araç kullanımı, teknoloji entegrasyonu veya öğretmen yeterliklerini doğrudan ele alan 25 bilimsel makale araştırmanın nihai veri setini oluşturmuştur. Bu çalışmaların 14’ü ulusal, 11’i ise uluslararası dergilerde yayımlanmıştır. Araştırmaya dâhil edilen çalışmaların dağılımı Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmaların Kategorisi

Kategori	f	İlgili Araştırmalar
Ulusal	14	Akşan Kılıçaslan vd., (2022); Özpınar (2017); Öztop & Buluç, (2022); Taş vd. (2021); Aldmeir Engin, (2023); Yıldız Durak & Karaoğlu Yılmaz, (2019); Demir & Bozkurt, (2011); Ağaç & Korkmaz, (2022); Yüksel vd., (2016); Özdemir & Erduran, (2019); İnce-Muslu & Erduran, (2021); Orman & Sevgi, (2024); Alan vd., (2021); Özbey & Özmantar, (2024)
Uluslararası	11	Fjærestad & Xenofontos, (2025); Cîrceanu & Moldoveanu, (2024); Joshi vd., (2023); Dockendorff & Gomez Zaccarelli, (2024); Chananil vd., (2025); Arhin vd., (2024); Lee vd., (2024); Song vd., (2025); Pörn vd., (2024); Vaillant vd., (2021); Yao & Zhao, (2022)
Toplam	25	

Not. f = frekans.

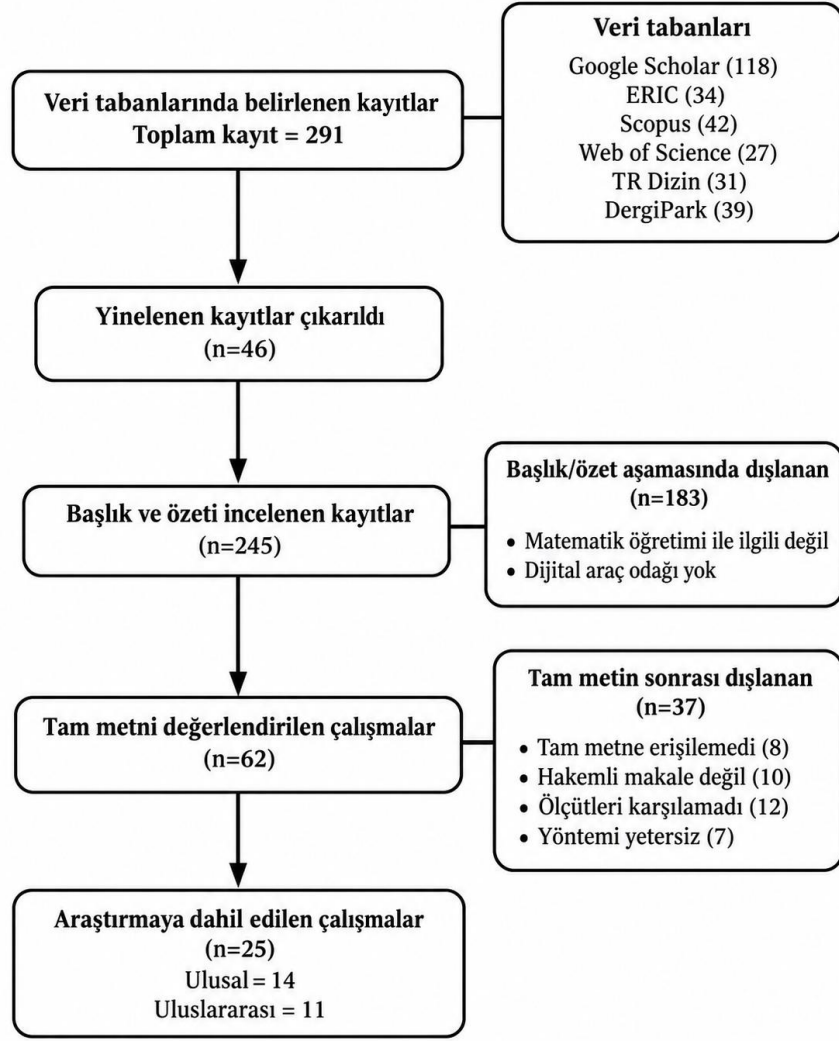
2.2. Veri Toplama Araçları

Veriler, 2025 yılında Google Scholar, ERIC, Scopus, Web of Science, DergiPark Akademik ve TR Dizin veri tabanlarında yürütülen tarama süreciyle toplanmıştır. Bu süreçte “dijital araçlar”, “matematik öğretmenleri”, “digital tools” ve “mathematics teachers” anahtar kelimeleri Türkçe ve İngilizce olarak kullanılmıştır. Arama sürecinde “ve (AND)” ve “veya (OR)” Boole operatörleri kullanılarak başlık, özet ve anahtar kelime taraması gerçekleştirilmiştir. Veri tabanlarında yalnızca hakemli dergilerde yayımlanan çalışmalar filtrelenmiş, tam metnine erişilemeyen yayınlar kapsam dışı bırakılmıştır. Bu çok aşamalı tarama yaklaşımı, araştırmanın amacıyla doğrudan ilişkili çalışmaların sistematik biçimde belirlenmesini sağlamıştır.

Tarama sonuçları, sistematik derlemelerde çalışmaların belirlenmesi, taranması, uygunluk açısından değerlendirilmesi ve nihai olarak araştırmaya dâhil edilmesi süreçlerinin şeffaf biçimde raporlanmasını sağlayan PRISMA 2020 çerçevesi doğrultusunda değerlendirilmiştir (Page vd., 2021). Tarama sürecinde yinelenen kayıtlar, tam metnine ulaşılamayan çalışmalar, matematik öğretimi veya matematik öğretmeni eğitimi bağlamı dışında yürütülen araştırmalar, dijital araç kullanımını doğrudan incelemeyen çalışmalar ile bildiri, tez, kitap bölümü ve hakem değerlendirmesinden geçmemiş yayınlar dışlanmıştır. Belirlenen dâhil etme ölçütlerini karşılayan 25 makale araştırma kapsamına alınmıştır. Dahil etme ölçütleri şunlardır:

- Matematik öğretimi veya öğretmen eğitimi bağlamında yürütülmüş olması,
- Dijital araç, yazılım veya platform kullanımını doğrudan incelemesi,
- Türkçe veya yabancı dillerde yayımlanmış olması,
- Tam metin erişimine açık, hakemli dergilerde yer alması.

Seçilen her makale amaç, örneklem, kullanılan araçlar, yöntem ve sonuç açısından ayrıntılı biçimde analiz edilerek araştırmanın veri setini oluşturmuştur.



Şekil 1. Çalışmaların Seçim Sürecine İlişkin PRISMA 2020 Akış Şeması

2.3. Verilerin Analizi

Araştırmada elde edilen veriler, betimsel içerik analizi yaklaşımıyla çözümlenmiştir. Betimsel içerik analizi, dokümanlarda yer alan verilerin belirli kodlar, kategoriler ve temalar altında düzenlenerek mevcut durumu sistematik biçimde ortaya koymayı amaçlayan bir yaklaşımdır (Bowen, 2009). Tüm çalışmalar sistematik biçimde incelenmiş; metinlerde yer alan dijital araçlar, kullanım amaçları ve pedagojik roller belirlenerek açık kodlara dönüştürülmüştür. Kodlama sürecinde öncelikle benzer anlam taşıyan ifadeler ortak özelliklerine göre bir araya getirilmiş ve kategoriler oluşturulmuştur. Ardından bu kategoriler, dijital araçların teknik özellikleri, kullanım biçimleri ve öğretim sürecindeki işlevleri dikkate alınarak tümevarım yöntemiyle üst düzey temalar altında yapılandırılmıştır. Bu süreç sonucunda donanımsal teknolojiler, yazılım tabanlı teknolojiler ve web/internet tabanlı teknolojiler olmak üzere üç ana tema belirlenmiştir. Kodlama işlemi iki araştırmacı tarafından birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiş, daha sonra elde edilen kod ve kategoriler karşılaştırılarak görüş birliği sağlanmıştır. Kodlayıcılar arasındaki uyum yüzdesi, Miles ve Huberman'ın (1994) önerdiği Güvenirlik = $\frac{\text{Görüş Birliği}}{\text{Görüş Birliği} + \text{Görüş Ayrılığı}} \times 100$ formülü kullanılarak hesaplanmış ve %91 olarak bulunmuştur. Görüş ayrılığı bulunan kodlar ise ilgili çalışmalar yeniden incelenerek karşılaştırmalı tartışma yoluyla uzlaşa ile netleştirilmiştir. Bu süreç, betimsel içerik analizinde önerilen şeffaflık ve güvenilirlik ilkelerine uygun biçimde yürütülmüştür.

2.4. Araştırma Etiği

Bu çalışma, yayımlanmış bilimsel dokümanların incelenmesine dayalı bir sistematik derleme ve doküman incelemesi çalışmasıdır. Doğrudan insan katılımcılardan veri toplanmadığından etik kurul onayı gerektiren bir süreç yürütülmemiştir.

3. Bulgular

Bu bölümde, incelenen 25 makaleden elde edilen bulgular betimsel içerik analizi doğrultusunda üç ana tema altında sunulmuştur: (1) çalışmaların örneklem özellikleri, (2) kullanılan dijital araç türleri ve pedagojik roller, (3) dijital araç entegrasyonunu destekleyen ve engelleyen etmenler. Her tema, ilgili tablolar aracılığıyla görselleştirilmiş ve tablolarda sunulan bulgular açıklayıcı ifadelerle desteklenmiştir.

Araştırmanın bu başlığında incelenen makalelerden elde edilen veriler tablolar ile gösterilmiştir. Tablo 2’de çalışmaların eğitim kademesi türüne göre dağılımı ve kaynakları sunulmuştur. Bazı çalışmalar birden fazla dijital araç veya pedagojik kullanım alanını birlikte ele aldığı için aynı çalışma birden fazla kategori altında kodlanmıştır. Bu nedenle kategori frekansları, araştırma sayısını değil, ilgili temaların çalışmalarda yer alma sıklığını göstermektedir.

Tablo 2. Çalışmaların Eğitim Kademesi Türüne Göre Dağılımı ve Kaynakları

Hedef Kitle	f	İlgili Çalışmalar
İlkokul matematik öğretmenleri	8	Akşan Kılıçaslan vd. (2022), Taş vd. (2021), Demir & Bozkurt (2011), Ağaç & Korkmaz (2022), Fjærestad & Xenofontos (2025), Song vd. (2025), Özbey & Özmantar (2024), Vaillant vd. (2021)
Lise matematik öğretmenleri	7	Arhin vd. (2024), Özdemir & Erduran (2019), İnce-Muslu & Erduran (2021), Orman & Sevgi (2024), Alan vd. (2021), Pörn vd. (2024), Yao & Zhao (2022)
Matematik öğretmeni adayları (pre-service)	6	Özpınar (2017), Aldemir Engin (2023), Yıldız Durak & Karaoğlu Yılmaz (2019), Lee vd. (2024), Dockendorff & Gomez Zaccarelli (2024), Chanani vd. (2025)
Diğer / Karma referans grupları	4	Secondary (ortaokul+lise): Joshi vd. (2023); Öğrenci: Öztıp & Buluç (2022); Yükseköğretim: Cırneanu & Moldoveanu (2024); Derleme: Yüksel vd. (2016)
Toplam	25	

Not. f = frekans.

Tablo 2’ye göre, en yüksek oranın %32 ile ilkökul matematik öğretmenlerine ait olduğu görülmektedir. Bunu %28 oranla lise matematik öğretmenleri ve %24 oranla matematik öğretmeni adayları (pre-service) takip etmektedir. %16 oranındaki diğer veya karma referans grupları ise farklı düzeylerdeki öğretmen, öğrenci ve akademik örneklemeleri kapsamaktadır. Tablo 2, çalışmaların çoğunlukla ilkökul ve lise matematik öğretmenleri ile gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu durum, dijital araç kullanımına yönelik uygulamaların özellikle temel eğitim kademelerinde yoğunlaştığını ve araştırmaların büyük ölçüde öğretmen odaklı yürütüldüğünü ortaya koymaktadır. Sonraki tablolarda çalışmaların daha sistematik ve okunabilir biçimde sunulabilmesi amacıyla kodlama kullanılmıştır. Bu doğrultuda ulusal çalışmalar U1–U14, uluslararası çalışmalar ise UA1–UA11 kodlarıyla gösterilmiş olup, kodlamalar Tablo 1’deki çalışma sırasına göre oluşturulmuştur.

Eğitim kademelerine ilişkin dağılımın ardından, araştırmalarda kullanılan dijital araçların hangi kategoriler altında yoğunlaştığını incelenmiştir. Elde edilen kodlar, benzerlik ve içerik özelliklerine göre sınıflandırılmış ve üç ana temada bütünleştirilmiştir. Bu temalar, dijital araçların türlerini, kullanım amaçlarını ve entegrasyon sürecini etkileyen etmenleri kapsamaktadır. Böylece bulguların daha düzenli ve karşılaştırılabilir şekilde sunulması mümkün olmuştur. Tablo 3’te dijital araç kategorilerine göre dağılımlar verilmiştir.

Tablo 3. Dijital Araç Kategorilerine Göre Dağılımlar

Dijital Araçlar	f	%	İlgili araçlar	İlgili Çalışmalar
Donanımsal teknolojiler	19	76	Etkileşimli tahta, akıllı tahta, projeksiyon, bilgisayar, dizüstü bilgisayar, tablet, grafik tablet, akıllı telefon, Ozobot	U1, U4, U5, U7, U8, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA6, UA7, UA9, UA10, UA11
Yazılım tabanlı teknolojiler	21	84	GeoGebra, Cabri (3D), MATLAB/Simulink, SolidWorks, Excel, GSP, Maple, Mathematica, ScratchJr, MovieMaker, GoAnimate, Draw Your Game	U1, U2, U4, U5, U6, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
Web/İnternet tabanlı teknolojiler	24	96	Zoom, EBA, Google Classroom, Moodle, Microsoft Teams/OneDrive, Kikora, PAM, Google Forms, Kahoot, Quizizz, Jamboard, YouTube/egitsel videolar	U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11

Not. f = frekans; % = yüzde. Çalışma kodları (U1, U2, ...) tablonun okunabilir biçimde sunulabilmesi amacıyla kullanılır.

Tablo 3’e göre araştırmalarda en sık kullanılan dijital araç kategorisi %96 oranla web/internet tabanlı teknolojilerdir. Bu grupta Zoom, EBA, Google Classroom, Moodle, Forms, Kahoot ve Quizizz gibi çevrim içi öğretim platformları öne çıkmaktadır. Yazılım tabanlı teknolojiler (%84) arasında GeoGebra, Cabri, MATLAB

ve ScratchJr gibi programlar yer almakta; donanımsal teknolojiler (%76) ise etkileşimli tahta, tablet, bilgisayar ve akıllı cihazlardan oluşmaktadır. Dijital araç kategorilerinin dağılımı, matematik eğitiminde web tabanlı teknolojilerin baskın hâle geldiğini; donanımsal araçların ise öğretim sürecinin altyapısını oluşturan temel bileşenler olduğunu ortaya koymaktadır. Web/internet tabanlı teknolojilerin daha yüksek oranda tercih edilmesinin; erişim kolaylığı, çoğunlukla ücretsiz veya düşük maliyetli olmaları, farklı cihazlarda kullanılabilirlikleri ve uzaktan ya da yüz yüze öğretim süreçlerine kolaylıkla entegre edilebilmeleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca COVID-19 sonrasında çevrim içi öğrenme platformlarının yaygınlaşması ve öğrenme yönetim sistemlerinin eğitim süreçlerinde daha fazla kullanılmaya başlanması da bu araçların araştırmalarda daha sık yer almasını açıklayan önemli etmenler arasında değerlendirilebilir. Dijital araçların türlerine ilişkin bu dağılımın ardından, söz konusu araçların öğretim sürecinde hangi pedagojik amaçlarla kullanıldığı Tablo 4'te incelenmiştir.

Tablo 4. Dijital Araçların Pedagojik Kullanım Alanları ve Tercih Edilme Gerekçeleri

Uygulama Alanı	f	%	Öne Çıkan Örnek Araçlar	Tercih Edilme Gerekçesi	Açıklama	İlgili Çalışmalar
Kavram öğretimi/görselleştirme	22	88	GeoGebra, Cabri, MATLAB, ScratchJr	Kavramların görselleştirilmesi	Soyut kavramları somut/çoklu temsil ile sunma	U1, U4, U5, U6, U7, U9, U10, U11, U12, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
Problem çözme/modelleme	16	64	Excel, MATLAB, Python, GeoGebra	Zaman yönetimi kolaylığı	Hızlı ölçme, materyal dolaşımı, planlama	U1, U4, U9, U10, U11, U12, UA1, UA2, UA3, UA4, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
Etkileşim, motivasyon/oyunlaştırma	15	60	Kahoot, Draw Your Game, Ozobot, MovieMaker	Öğrenci motivasyonu	Oyunlaştırma, etkileşimli içerikler	U1, U2, U5, U6, U11, U12, U13, U14, UA1, UA3, UA5, UA6, UA7, UA8, UA10
Biçimlendirici değerlendirme/geri bildirim	18	72	Google Forms, Quizizz, Kikora, PAM	Ölçme ve geri bildirim	Quiz/Forms, anlık bildirim ve izleme	U1, U4, U7, U8, U9, U10, U11, U12, U13, UA1, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11
Bireyselleştirilmiş öğrenme/farklılaştırma	13	52	Kikora, PAM, EBA, AI tabanlı modüller	Erişilebilirlik ve esneklik	Web tabanlı açık/ücretsiz kaynaklara erişim	U1, U4, U11, U12, UA1, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11

Not. f = frekans; % = yüzde. Çalışma kodları (U1, U2, ...) tablonun okunabilir biçimde sunulabilmesi amacıyla kullanılır.

Tablo 4'e göre dijital araçların en çok kullanıldığı uygulama alanı %88 oranla kavram öğretimi ve görselleştirme. Bunu %72 ile biçimlendirici değerlendirme ve geri bildirim, %64 ile problem çözme ve modelleme, %60 ile etkileşim ve motivasyon/oyunlaştırma, ve %52 ile bireyselleştirilmiş öğrenme/farklılaştırma alanları izlemektedir. En sık kullanılan araçlar arasında GeoGebra, Cabri, MATLAB, ScratchJr, Excel, Kahoot, Google Forms ve EBA yer almaktadır. Bu bulgular, dijital araçların yalnızca bilgi sunumu için değil; çoklu temsiller, modelleme, anlık geri bildirim ve oyunlaştırma gibi çeşitli pedagojik işlevlerle kullanıldığını göstermektedir. Buna rağmen aktif üretim ve öğrenci-led öğretim uygulamalarının sınırlı olması dikkat çekicidir. Dijital araçların hangi amaçlarla kullanıldığının belirlenmesinin ardından, bu kullanımı destekleyen ve engelleyen etmenlere yönelik temalar Tablo 5'te analiz edilmiştir.

Tablo 5. Dijital Araç Entegrasyonunu Destekleyen ve Engelleyen Etmenlere Yönelik Temalar

Etmen Türü	Tema	f	%	Açıklama	İlgili Çalışmalar
Destekleyen	Mesleki gelişim eğitimi	17	68	Uygulamalı/hizmet içi eğitim, branşa özgü TPAB	U4, U7, U9, U10, U11, U12, U13, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
	Yönetim/kurumsal destek	15	60	Okul politikası, zaman ve kaynak tahsisi	U7, U9, U10, U11, U13, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11
	Olumlu tutum ve öz-yeterlik	18	72	Teknolojiye açıklık, deneme isteği	U5, U6, U7, U8, U10, U11, U12, U13, UA1, UA3, UA4, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11, UA2
	Materyal çeşitliliği/erişilebilirlik	16	64	Açık kaynak havuzları ve paylaşım	U1, U4, U8, U9, U11, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11

Etmen Türü	Tema	f	%	Açıklama	İlgili Çalışmalar
Engelleyen	Teknik altyapı/erişim sorunları	18	72	Donanım, bağlantı, bakım/teknik destek	U4, U7, U9, U10, U11, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA5, UA6, UA7, UA8, UA9, UA10, UA11
	Zaman kısıtlılığı	14	55	Planlama ve ders süresi baskıları	U4, U7, U10, U11, U13, U14, UA1, UA2, UA3, UA4, UA6, UA7, UA9, UA10
	Pedagojik planlama eksikliği	13	52	Araçların 'pasif' kullanıma sıkışması	U7, U10, U11, U13, U14, UA2, UA4, UA5, UA6, UA8, UA9, UA10, UA11
	Etik/gizlilik endişeleri (AI)	8	32	Veri güvenliği, şeffaflık	UA5, UA6, UA8, UA9, UA11, UA2, UA3, UA4

Not. f = frekans; % = yüzde. Çalışma kodları (U1, U2, ...) tablonun okunabilir biçimde sunulabilmesi amacıyla kullanılır.

Tablo 5'e göre dijital araç entegrasyonunu destekleyen başlıca etmenler arasında %72 oranla olumlu tutum ve öz-yeterlik, %68 oranla mesleki gelişim eğitimi, %64 oranla materyal çeşitliliği ve erişilebilirlik ile %60 oranla yönetsel destek öne çıkmaktadır. Entegrasyonu engelleyen etmenler ise %72 oranla teknik altyapı ve erişim sorunları, %56 oranla zaman kısıtlılığı, %52 oranla pedagojik planlama eksikliği ve %32 oranla etik/gizlilik endişeleri olarak belirlenmiştir. Tablo 5'te görüldüğü üzere, dijital araç entegrasyonunu destekleyen ve engelleyen etmenler hem bireysel (öz-yeterlik, tutum) hem de çevresel (altyapı, yönetim desteği) düzeyde çeşitlilik göstermektedir. Bu durum, dijital araç kullanımının yalnızca teknik değil, çok katmanlı bir pedagojik ve kurumsal süreç olduğunu göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Araştırmanın bulguları, matematik öğretiminde dijital araç kullanımının giderek yaygınlaşmasına karşın, etkili teknoloji entegrasyonunun kullanılan aracın türünden çok bu araçların pedagojik amaçlarla nasıl bütünleştirildiğine bağlı olduğunu göstermektedir. İncelenen ulusal ve uluslararası çalışmalar, dijital araçların kavramsal öğrenme, problem çözme, görselleştirme ve öğrenci etkileşimini destekleme potansiyeline sahip olduğu konusunda ortaklaşırken, bu potansiyelin öğretim süreçlerine her zaman tam olarak yansıtılmadığı görülmektedir. Özellikle TPAB çerçevesinde değerlendirildiğinde, teknolojinin pedagojik ve alan bilgisiyle bütünleşik biçimde kullanılmasının etkili entegrasyonun temel belirleyicisi olduğu; teknik altyapının tek başına yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Bu durum, matematik öğretiminde dijital dönüşümün yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda pedagojik ve kurumsal bir dönüşüm süreci olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu genel çerçeve doğrultusunda, araştırmanın temel bulguları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmalı olarak aşağıda tartışılmıştır. Bulgular, matematik öğretiminde dijital araç kullanımının hızla yaygınlaştığını ancak bu araçların potansiyelinin büyük ölçüde pedagojik bağlamla sınırlı kaldığını göstermektedir. Özellikle COVID-19 sonrasında çevrim içi öğrenme ortamlarının zorunlu hale gelmesiyle birlikte, dijital araçlar öğretmenler, öğretmen adayları ve öğrenciler tarafından farklı düzeylerde benimsenmiştir (Alan vd., 2021; Yüksel vd., 2016). Bu durum, dijitalleşmenin yalnızca teknolojik bir geçiş olmadığını, aynı zamanda öğretim anlayışında köklü bir dönüşüm yarattığını göstermektedir.

Tablo 2'de görüldüğü üzere, çalışmaların büyük bölümü ilkökul ve lise matematik öğretmenleriyle yürütülmüş; bu gruplarda dijital araçların sınıf içi uygulamalara entegrasyonu üzerine odaklanılmıştır. İlkokul matematik öğretmenlerine yönelik çalışmaların daha fazla olması, bu kademede soyut kavramların somutlaştırılmasına duyulan yüksek ihtiyaçla ilişkilendirilebilir. Dijital araçların görselleştirme ve etkileşimi artırarak öğrenmeyi desteklediği; materyal ve dijital desteklerin kavramsal anlamayı geliştirdiği belirtilmektedir (Bozkurt & Akalın, 2015).

Araştırmalarda dijital araçların üç ana kategoride sınıflandırıldığı görülmüştür: donanımsal teknolojiler, yazılım tabanlı teknolojiler ve web tabanlı teknolojiler (Tablo 3). Etkileşimli tahta, tablet ve bilgisayar gibi donanımsal araçlar öğretmenlere dersin akışını görselleştirme ve öğrenci katılımını artırma imkânı sunarken; GeoGebra, MATLAB, ScratchJr ve Z-Kitap gibi yazılımlar soyut kavramların somutlaştırılmasını kolaylaştırmıştır. Web tabanlı araçlar (Zoom, EBA, Google Classroom, Kahoot vb.) ise özellikle uzaktan eğitim sürecinde öğretim süreçlerini sürdürülebilir kılmıştır. Ancak içerik analizine göre bu araçlar çoğunlukla öğretmen merkezli, sunum destekli biçimlerde kullanılmakta; öğrencinin aktif üretici rolü sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmada web tabanlı araçların belirgin biçimde öne çıkması, pandemi sonrası eğitim araştırmalarında ortaya çıkan eğilimlerle tutarlıdır (Joshi vd., 2023; Yao & Zhao, 2022). Ancak yazılım tabanlı araçlara yönelik kullanımın sınırlı kalması, öğretmenlerin matematiksel yazılım yeterliklerinin hâlen gelişime açık olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, TPAB literatüründe belirtilen "teknolojik bilgi ile pedagojik bilginin bütünleştirilmesi" gerekliliğini desteklemektedir.

Bununla birlikte, yazılım tabanlı araçların kullanım sıklığının bazı uluslararası çalışmalara kıyasla daha düşük bulunması; araştırmaların yürütüldüğü eğitim kademeleri, ülkelerin teknolojik altyapıları, öğretmenlerin mesleki deneyimleri ve hizmet içi eğitim olanaklarındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, uluslararası çalışmalarda yapay zekâ destekli sistemler ve uyarlanabilir öğrenme platformlarının daha fazla yer alması, bu ülkelerde dijital dönüşüm politikalarının ve eğitim teknolojilerine yönelik yatırımların daha erken ve kapsamlı biçimde uygulanmasıyla açıklanabilir.

Matematik öğretmenleri açısından bulgular; dijital araçların özellikle kavram öğretimi, problem çözme ve modelleme alanlarında etkili biçimde kullanıldığını göstermektedir (Tablo 4). GeoGebra ve MATLAB gibi yazılımlar kavramsal öğrenmeyi desteklerken, Kahoot ve Google Forms gibi araçlar biçimlendirici değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte, öğretmenlerin dijital araçları çoğu zaman teknik bir destek unsuru olarak kullandıkları, TPAB modelinin öngördüğü teknoloji-pedagoji-içerik etkileşiminin her zaman sağlamadığı görülmektedir (Demir & Bozkurt, 2011; Özdemir & Erduran, 2019). Bu durum, dijital araçların yalnızca bir aktarım aracı değil, öğrenmeyi dönüştüren pedagojik bir bileşen olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

TPAB modeli açısından değerlendirildiğinde, öğretmenlerin yalnızca teknoloji bilgisine sahip olmalarının yeterli olmadığı; bu teknolojileri pedagojik stratejiler ve matematik alan bilgisiyle bütünleştirerek öğretim sürecine entegre etmelerinin etkili teknoloji kullanımının temel koşulu olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgu, TPAB modelinin öngördüğü teknoloji, pedagoji ve alan bilgisinin bütünlük kullanımının matematik öğretiminde etkili teknoloji entegrasyonunun temel belirleyicisi olduğunu desteklemektedir. Dijital araçların kavram öğretimi, görselleştirme ve değerlendirme amaçlı yoğun kullanılması, GeoGebra, ScratchJr ve değerlendirme uygulamalarını inceleyen uluslararası çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Fjærestad & Xenofontos, 2025; Lee vd., 2024). Ancak öğrenci merkezli üretim, iş birliği ve modelleme süreçlerinin sınırlı kalması, literatürde daha önce belirtilen “pasif kullanım örüntüsü” ile uyumludur (Alan vd., 2021). Bu durum, dijital araçların sahip olduğu pedagojik potansiyelin, öğretim tasarımında teknoloji, pedagoji ve alan bilgisinin bütüncül biçimde bütünleştirilememesi nedeniyle tam anlamıyla ortaya çıkarılamadığını göstermektedir. Bu bulgular yalnızca görevde bulunan öğretmenler açısından değil, geleceğin öğretmenleri olan öğretmen adaylarının yetiştirilmesi bakımından da önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Matematik öğretmeni adayları (pre-service) ile yapılan çalışmalarda, dijital öyküleme (Özpınar, 2017), oyunlaştırma (Aldemir Engin, 2023; Yıldız Durak & Karaoğlu Yılmaz, 2019) ve kodlama araçlarının (Lee vd., 2024) öğretmen adaylarının yaratıcılık, iş birliği ve teknolojiye yönelik öz güvenlerini artırdığı belirlenmiştir. Ancak bu deneyimlerin çoğu kısa süreli ve proje temelli uygulamalarla sınırlı kalmıştır. Bu sonuç, öğretmen yetiştirme programlarında disipline özgü dijital pedagojik derslerin artırılması ve uygulamalı TPAB temelli etkinliklerin yaygınlaştırılması gerekliliğine işaret etmektedir. Ayrıca, öğretmen adaylarının donanımsal ve yazılım tabanlı araçları ders tasarımlarında bütüncül biçimde kullanmalarını sağlayacak staj temelli dijital uygulama modellerinin önem kazandığı görülmektedir.

Teknik ve kurumsal engellerin özellikle ulusal çalışmaların çoğunda vurgulanması (İnce-Muslu & Erduran, 2021), dijital dönüşümün yalnızca öğretmen yeterlikleriyle değil okul ekosistemi ile de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Uluslararası çalışmalarda ise yönetsel destek ve mesleki gelişimin entegrasyonu olumlu etkilediği vurgulanmaktadır (Arhin vd., 2024; Dockendorff & Gomez Zaccarelli, 2024). Bu bağlamda entegrasyon sürecinin çok katmanlı bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Ulusal ve uluslararası çalışmalar arasındaki bu farklılıklar, teknoloji entegrasyonunun yalnızca bireysel öğretmen yeterliklerinden değil; eğitim politikaları, okul kültürü, dijital altyapı olanakları ve ülkelerin teknolojiye yönelik yatırım düzeylerinden de etkilendiğini göstermektedir.

Bu bulgular, uluslararası literatürde dijital araçların öğretimi dönüştürücü potansiyel taşıdığına ilişkin bulgularla paralellik göstermektedir. Ancak birçok çalışmada görüldüğü gibi (Fjærestad & Xenofontos, 2025; Lee vd., 2024), teknik yeterlikler tek başına etkili entegrasyon için yeterli değildir; öğretmenlerin pedagojik tasarım bilgi ve becerilerinin güçlendirilmesi kritik önem taşımaktadır.

Dolayısıyla dijital araçların eğitimde kalıcı ve etkili biçimde kullanılabilmesi, teknoloji yatırımlarının yanı sıra pedagojik kapasitenin güçlendirilmesini de zorunlu kılmaktadır. Sonuç olarak, dijital araç entegrasyonunu destekleyen ve engelleyen etmenler (Tablo 5) değerlendirildiğinde; olumlu tutum, öz-yeterlik, mesleki gelişim ve kurumsal destek faktörleri entegrasyonu kolaylaştırırken; teknik altyapı sorunları, zaman yetersizliği ve pedagojik planlama eksikliği süreci zorlaştırmaktadır. Bu bulgular, dijital araçların eğitimde etkili biçimde kullanılabilmesi için üç temel bileşenin önemini ortaya koymaktadır: (1) öğretmenlerin dijital pedagojik yeterliklerinin geliştirilmesi, (2) kurumsal ve altyapısal desteğin güçlendirilmesi, (3) teknolojinin öğrenme hedefleriyle anlamlı biçimde ilişkilendirildiği pedagojik tasarımların teşvik edilmesi. Sonuç olarak, dijital çağda nitelikli matematik öğretiminin anahtarı, öğretmenlerin “araç kullanıcısı” değil, “öğrenme tasarımcısı” olarak yetiştirilmeleridir.

5. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda dijital araçların matematik öğretiminde çok çeşitli pedagojik roller üstlendiği, ancak entegrasyon sürecinin teknik, pedagojik ve kurumsal etmenlerden etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle öneriler, araştırmanın bulgularının doğrudan yansıması olacak şekilde araştırmacılar, uygulayıcılar ve politika yapıcılar için ayrı ayrı yapılandırılmıştır.

Araştırmacılara yönelik öneriler;

- Matematik öğretiminde dijital araç kullanımıyla ilgili ulusal ve uluslararası araştırmaların karşılaştırmalı olarak ele alındığı kapsamlı meta-analiz çalışmalarının yapılması önerilmektedir. Bu sayede Türkiye'deki uygulamaların küresel eğilimlerle benzerlik ve farklılıkları belirlenebilir.
- Dijital araç kullanımının yalnızca matematik öğretimiyle sınırlı kalmayıp fen, sosyal bilimler ve dil eğitimi gibi farklı disiplinlerde de incelenmesi; disiplinler arası dijital pedagojik modellerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.
- Dijital araçların matematiksel düşünme, kavramsal anlamlandırma ve problem çözme süreçlerine etkisini ölçen deneysel ve yarı deneysel çalışmaların artırılması önerilmektedir. Ayrıca yazılım tabanlı araçlar ile web tabanlı araçların pedagojik etkilerini karşılaştıran karma yöntemli araştırmalar yürütülmesi, alan yazındaki boşlukların giderilmesine katkı sağlayacaktır. Farklı kademelerdeki öğretmen ve öğrenci profillerine odaklanan boylamsal çalışmalar ise dijital araç kullanımındaki değişimin zamana bağlı olarak nasıl geliştiğini ortaya koyabilir.
- Donanımsal, yazılım tabanlı ve web tabanlı teknolojilerin (örneğin GeoGebra, Kahoot, MATLAB, EBA) öğretim sürecine katkılarını derinlemesine inceleyen deneysel ya da eylem araştırmalarının artırılması önerilmektedir.
- Matematik öğretmenleri, öğretmen adayları ve öğrencilerin dijital araçlara yönelik algı, tutum ve yeterliklerini derinlemesine anlamak için karma yöntemli veri toplama süreçlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Uygulayıcılara yönelik öneriler;

- Öğretmenlere yönelik olarak, dijital araçların yalnızca sunum ve değerlendirme aşamalarında değil; problem kurma, modelleme, veri analizi ve işbirlikli öğrenme gibi üst düzey bilişsel süreçlerde de kullanılmasına yönelik uygulama temelli mesleki gelişim programlarının tasarlanması önerilmektedir. Özellikle GeoGebra, MATLAB, ScratchJr ve benzeri yazılımların ders tasarımlarına entegrasyonunda öğretmenlere sınıf içi uygulama örnekleri sunulması, pasif kullanım örüntülerinin aşılmasına katkı sağlayacaktır. Okul içi profesyonel öğrenme toplulukları oluşturularak öğretmenlerin dijital pedagojik deneyimlerini paylaşmaları teşvik edilmelidir.
- Matematik öğretmeni adaylarına yönelik TPAB temelli uygulamalı derslerin, dijital öyküleme ve oyunlaştırma gibi yenilikçi öğretim yöntemleriyle desteklenmesi önerilmektedir.
- Dijital araçların etkili kullanımını sınırlayan altyapı, erişim ve zaman kısıtlılığı gibi faktörlerin farklı bölgelerde karşılaştırmalı biçimde incelenmesi; politika ve yatırım planlarının geliştirilmesine katkı sunacaktır.
- Matematik öğretmenlerine yönelik sürekli mesleki gelişim, çevrim içi paylaşım toplulukları ve uygulama temelli atölye çalışmalarının yaygınlaştırılması; dijital pedagojik yeterliklerin kalıcı olarak geliştirilmesini destekleyecektir.

Politika yapıcılara yönelik öneriler;

- Okullar arasındaki dijital altyapı farklılıklarını azaltacak yatırım planlarının yapılması ve hizmet içi eğitimlerin branşa özgü dijital pedagojik yeterlikleri geliştirecek biçimde yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Matematik öğretim programlarının dijital araç kullanımını destekleyen kazanımlar ve örnek etkinliklerle güncellenmesi, öğretmenlerin teknoloji entegrasyonunu sistematik şekilde gerçekleştirmelerine katkı sağlayacaktır. Ayrıca yapay zekâ ve uyarlanabilir öğrenme sistemlerinin güvenli, etik ve pedagojik açıdan uygun kullanımına ilişkin ulusal yönergelerin oluşturulması önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın başlıca sınırlılığı, yalnızca doküman incelemesine dayalı olması ve incelemeye alınan çalışmaların sayısı ile sınırlı kalmasıdır. Gelecek araştırmalarda, öğretmen ve öğrenci görüşlerinin derinlemesine incelendiği nitel çalışmaların yanı sıra dijital araçların etkilerini ölçen deneysel desenlere yer verilmesi önerilmektedir. Ayrıca farklı ülkelerdeki entegrasyon modelleri karşılaştırılarak dijital araç kullanımına ilişkin kültürel ve yapısal farkların daha ayrıntılı biçimde ortaya konulması yararlı olacaktır.

Teşekkür: Bu çalışmanın ilk hâli, 7. Uluslararası Türk Bilgisayar ve Matematik Sempozyumu (TURCOMAT-7) kapsamında sözlü bildiri olarak sunulmuştur (Antalya, Türkiye; Özet Kitabı, ss. 209–210).

Etik Beyan: Bu araştırmada etik kurul onayı gerektiren bir süreç yürütülmemiştir.

Finansman: Bu çalışma için herhangi bir fon bildirilmemiştir.

Çıkar Beyanı: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Yazar Katkı Beyanı: Yazar 1: Kavramsallaştırma, Yöntem, Yazım – Taslak, Veri Toplama, Analiz. Yazar 2: Süpervizyon, Yazım – İnceleme ve Düzenleme.

Yapay Zekâ Kullanım Beyanı: Bu çalışmanın hazırlanmasında yapay zekâ araçları kullanılmamıştır.

Kaynaklar / References

- Ağaç, H. B., & Korkmaz, Ö. (2022). İlköğretim matematik öğretmenlerinin teknolojik formasyon düzeyleri ile dijital materyal geliştirme öz yeterlilikleri. *Türkiye Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 7(2), 308-328. <https://izlik.org/JA89CU79TU>
- Akşan Kılıçaslan, E., Tuğaç, M. N., & Eryılmaz Toksoy, S. (2022). Çevrim içi öğrenme ortamlarında kullanılan platformlar ve dijital araçlar: İlköğretim Matematik Öğretmenleri Gözüyle. *Journal of Uludağ University Faculty of Education*, 35(2), 407-425. <https://doi.org/10.19171/uefad.1080474>
- Alan, S., Akkoç, H., Yeşildere, S., & Kozaklı Ülger, T. (2021). Matematik öğretmenlerinin teknoloji entegrasyon yaklaşımlarının enstrumantal orkestrasyon çerçevesinde incelenmesi. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 12(2), 406-431. <https://doi.org/10.51460/baebd.825500>
- Aldemir Engin, R. (2023). Matematik öğretmeni adaylarının dijital oyun tasarlama deneyimleri, görüş ve değerlendirmeleri: Draw Your Game örneği. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 13(1), 89-114. <https://doi.org/10.48146/odusobiad.1103234>
- Arhin, J., Boateng, F. O., Akosah, E. F., & Gyimah, K. (2024). Perceptions and readiness of high school mathematics teachers for integration of ICT tools in the teaching and learning of mathematics. *Pedagogical Research*, 9(1), em0179. <https://doi.org/10.29333/pr/14032>
- Biçer, L. & Tekinarslan, E. (2023). COVID-19 pandemisi sırasında kullanılan çevrimiçi öğretim teknolojileri ve materyalleri üzerine düşünceler. *Öğretmen Eğitimi ve Yaşam Boyu Öğrenme Dergisi*, 5 (2), 890-908.
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27-40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Bozkurt, A. & Akalın, S. (2015). Matematik öğretiminde materyal geliştirmenin ve kullanımının yeri, önemi ve bu konuda öğretmenin rolü. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* (27).
- Chananil, S., Yuankrathok, P., & Somabut, A. (2025). Needs assessment for designing a digital learning ecosystem to enhance mathematical resilience in pre-service mathematics teachers. *Higher Education Studies*, 15(4), 22-33. <https://doi.org/10.5539/hes.v15n4p22>
- Cirneanu, A.-L. & Moldoveanu, C.-E. (2024). Use of digital technology in integrated mathematics education. *Applied System Innovation*, 7(4), 66. <https://doi.org/10.3390/asi7040066>
- Demir, S. & Bozkurt, A. (2011). İlköğretim matematik öğretmenlerinin teknoloji entegrasyonundaki öğretmen yeterliklerine ilişkin görüşleri. *İlköğretim Online*, 10(3), 850-860.
- Demircioğlu Diren, D., & Horzum, M. B. (2023). Eğitimde dijital teknoloji kullanımı. In A. Okur & G. H. Demirdöven (Eds.), *Yabancı dil olarak dijital Türkçe öğretimi* (ss. 1-35). Sakarya Üniversitesi Yayınları
- Dockendorff, M., & Gomez Zaccarelli, F. (2024). Successfully preparing future mathematics teachers for digital technology integration: A literature review. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology. Advance online publication*. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2309273>
- Fjærestad, M., & Xenofontos, C. (2025). Digital tools in mathematics classrooms: Norwegian primary teachers' experiences. *In Education*, 30(1), 3-23. <https://doi.org/10.37119/ojs2025.v30i1.807>
- Hacıoğlu Seven, E. & Erümit, AK (2025). Matematik eğitiminde üretken yapay zeka araçlarının incelenmesi: araç özellikleri, kullanım amaçları ve etkileri. *Uşak Üniversitesi Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 136-162. <https://doi.org/10.29065/usakead.1688918>
- İnce-Muslu, B., & Erduran, A. (2021). Bir Çerçeve Önerisi: Matematik eğitiminde teknoloji entegrasyonunu etkileyen faktörlerin kavramsallaştırılması. *Uluslararası Elektronik Matematik Eğitimi Dergisi*, 16 (1), em0617. <https://doi.org/10.29333/iejme/9292>
- Joshi, D. R., Adhikari, K. P., Khanal, J., Belbase, S., & Khanal, B. (2023). Developing and integrating digital resources in online mathematics instruction and assessment during Covid-19. *Cogent Education*, 10(1), 2230394. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2230394>
- Karaarslan, E., Boz, B., & Yıldırım, K. (2013, Aralık 9-11). *Matematik ve geometri eğitiminde teknoloji tabanlı yaklaşımlar* [Sözlü bildiri]. XVIII. Türkiye'de İnternet Konferansı, İstanbul, Türkiye.
- Lee, H., Kim, S. H., & Yu, H. M. (2024). Enhancing digital competencies in teacher preparation: Benefits and challenges of integrating coding tools in elementary math instruction. *International Journal on E-Learning*, 23(4), 375-396.
- Miles, M. B. ve Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook* (2nd ed.). Sage Publications.
- Nayiroğlu, B. & Tutak, T. (2024). Matematik öğretiminde yapay zekanın rolü: eğitimde kullanılan araçların incelenmesi. *Türk Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 65-78. <https://doi.org/10.33907/turkjes.1415591>
- Orman, F., & Sevgi, S. (2024). Temel eğitimden ortaöğretime matematik öğretiminde öğretmenlerin teknolojik pedagojik alan bilgisi algılarının incelenmesi. *Anadolu University Journal of Education Faculty*, 8(1), 276-294. <https://doi.org/10.34056/aujef.1253276>
- Özbey, N. & Özantar, M.F. (2024). Ortaokul matematik öğretmenlerinin etkinlik tercihlerinde belirleyici olan dijital malzeme özellikleri: bir durum çalışması. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 13(4), 114-138. <https://doi.org/10.15869/itobiad.1527489>

- Özdemir, N., & Erduran, Y. A. (2019). Matematik öğretmenlerinin teknolojik pedagojik alan bilgisine ilişkin yeterliliklerinin değerlendirilmesi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(1), 29–47.
- Özpınar, İ. (2017). Matematik öğretmeni adaylarının dijital öyküleme süreci ve dijital öykülerin öğretim ortamlarında kullanımına yönelik görüşleri. *Bartın Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6(3), 1189–1210. <https://doi.org/10.14686/buefad.340057>
- Öztop, F., & Buluç, B. (2022). Matematik öğrenme sürecinde dijital teknoloji kullanımı ölçeğinin geliştirilmesi: geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 42(2), 997-1023. <https://doi.org/10.17152/gefad.1111742>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pörn, R., Braskén, M., Wingren, M., & Andersson, S. (2024). Attitudes towards and expectations on the role of artificial intelligence in the classroom among digitally skilled Finnish K-12 mathematics teachers. *LUMAT General Issue*, 12(3), 53–77. <https://doi.org/10.31129/LUMAT.12.3.2102>
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Song, X., Mak, J., & Chen, H. (2025). Teachers and learners' perceptions about implementation of AI tools in elementary mathematics classes. *SAGE Open* 15(2). <https://doi.org/10.1177/21582440251334545>
- Sürer, A.G. (2020). Eğitimde Dijitalleşme Çağı. *Kapadokya Eğitim Dergisi*, 1(1), 28-34.
- Taş, B., Sevgi, S., & Bayazıt, İ. (2021). Ortaokul matematik öğretmenlerinin derslerinde etkileşimli tahta kullanımına yönelik görüşleri. *Trakya Eğitim Dergisi*, 11(1), 285–300. <https://doi.org/10.24315/tred.707029>
- Toker, T., Akgün, E., Cömert, Z., & Edip, S. (2021). Eğitimciler için dijital yeterlilik ölçeği: Uyarlama, geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Milli Eğitim Dergisi*, 50(230), 301–328. <https://doi.org/10.37669/milliegitim.801607>
- Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9(3), 281–307
- Vaillant, D., Rodríguez Zidán, E., & Bentancor-Biagas, G. (2021). Plan CEIBAL and the incorporation of digital tools and platforms in the teaching of mathematics according to the teachers' perceptions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(12), em2037. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11307>
- Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93–112. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>
- Yao, X. & Zhao, J. (2022). Chinese mathematics teachers' use of digital technologies for instruction: A survey study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(8), em2135. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12209>
- Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2018). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (11. baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Yıldız Durak, H. & Karaoğlu Yılmaz, F. G. (2019). Öğretmen adaylarının matematik öğretimine yönelik eğitsel dijital oyun tasarımlarının ve tasarım sürecine ilişkin görüşlerinin incelenmesi. *Ege Eğitim Dergisi*, 20(1), 262-278. <https://doi.org/10.12984/egcedf.439146>
- Yüksel, S. N., Urhan, S., Özer, S., & Arkün Kocadere, S. (2016, 16–18 Mayıs). *Matematiği öğrenme ve öğretme sürecinde teknoloji entegrasyonu: Araçlar*. 10. Uluslararası Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Sempozyumu (ICITS), Rize, Türkiye.