

The Effect of Technology-Enhanced Instruction on Academic Achievement in Algebra Learning: A Meta-Analysis Study

Rabiha Kılıç^a, Ümit Kul^b and Sedef Çelik Demirci^c

^aArtvin Çoruh University, Faculty of Education, Artvin, Türkiye

^bArtvin Çoruh University, Faculty of Education, Artvin, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3651-4519)

^cArtvin Çoruh University, Faculty of Education, Artvin, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9242-8009)

Article History: Received: 27 May 2025; Accepted: 9 November 2025; Published online: 30 December 2025

Abstract: The purpose of this study is to examine the effect of technology-enhanced instruction on students' achievement in the algebra learning compared to traditional instruction. A total of 18 studies published between 2005-2025 and meeting the specified inclusion criteria were analysed within the scope of the study. The PRISMA flow chart was used to ensure transparency and trace ability of the literature review process. Due to the heterogeneity observed among studies, the random effects model was preferred in the analyses. According to the findings obtained, the overall effect size of technology-enhanced instruction on academic achievement was Hedges' $g = 0.875$, and this effect was determined to be highly significant. In addition, educational level, technology type, implementation duration, scale developer, and sub-learning domain variables were examined as moderators. Although differences were observed between subgroups in terms of effect size, it was determined that these differences did not statistically significantly affect the overall effect. The results reveal that technology-enhanced instruction in algebra learning is more effective than traditional methods in increasing student achievement.

Keywords: Technology-enhanced instruction, meta-analysis, algebra learning, Math achievement

Öz: Bu çalışmanın amacı, cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin, geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla öğrencilerin başarısı üzerindeki etkisi incelemektir. Çalışma kapsamında 2005–2025 yılları arasında yayımlanmış ve belirlenen dahil edilme ölçütlerini karşılayan toplam 18 araştırma analiz edilmiştir. Literatür tarama sürecinin şeffaflığını ve izlenebilirliğini sağlamak amacıyla PRISMA akış şeması kullanılmıştır. Çalışmalar arasında gözlenen heterojenlik nedeniyle analizlerde rastgele etkiler modeli tercih edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, teknoloji destekli öğretimin akademik başarı üzerindeki genel etki büyüklüğü Hedges' $g = 0,875$ olup, bu etkinin yüksek düzeyde anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca eğitim kademesi, teknoloji türü, uygulama süresi, ölçme aracını geliştiren kişi ve alt öğrenme alanı değişkenleri moderatör olarak incelenmiştir. Alt gruplar arasında etki büyüklüğü açısından farklılıklar gözlenirse de bu farkların genel etkiyi istatistiksel olarak anlamlı biçimde etkilemediği saptanmıştır. Sonuçlar, cebir öğretiminde teknoloji destekli yaklaşımların öğrenci başarısını artırmada geleneksel yöntemlere göre daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır.


Anahtar Kelimeler: Teknoloji destekli eğitim, meta analiz, cebir öğrenme, matematik başarısı

[Türkçe sürüm için tıklayınız](#)

1. Introduction

Throughout history, many developments have occurred that profoundly affected human life and transformed societies. In the 21st century, the rapid development and widespread adoption of information and communication technologies have made it necessary for individuals to acquire new skills to adapt to the requirements of the era. Among the basic skills required by this age, digital literacy, critical and analytical thinking, and problem-solving come to the fore (Borrowski, 2019). Arithmetic knowledge and algebraic thinking skills are actively used in solving problems encountered in daily life and various disciplines. Algebraic thinking enables the establishment of mathematical relationships and the development of solution methods through the generalization of numbers and operations (Akkan et al., 2019). Indeed, high-level cognitive skills such as logical reasoning can be developed through algebra learning (İdil & Narlı, 2021). Erbaş and colleagues (2009) emphasize that algebra provides individuals with abstract thinking skills and serves as a conceptual and theoretical bridge between different disciplines. In this direction, algebra is considered one of the fundamental stages of transition from arithmetic to abstract thinking (Susac et al., 2014). International examinations such as TIMSS and PISA and the National Council of Teachers of Mathematics (NCTM) attribute special importance to the algebra learning domain. This situation has caused algebraic thinking topics to be included in educational programs from early ages not only in Türkiye but also in many countries (Matthews & Fuchs, 2018; MEB, 2024).

In the national mathematics curriculum implemented in different years, the algebra is presented to students in a structured manner from the 6th grade at every educational level. According to the Ministry of National Education (2018) curriculum; algebraic expressions in 6th grade, equality and equation in 7th grade, and topics such as identities, linear equations, and inequalities in 8th grade are covered. The basic concepts of this domain,

Corresponding Author: Sedef Çelik Demirci  **email:** sedefcelik@artvin.edu.tr

Citation Information: Kılıç, R., Kul, Ü. & Çelik-Demirci, S. (2025). The effect of technology-enhanced instruction on academic achievement in algebra learning: A meta-analysis study. *Turkish Journal of Mathematics Education*, 6(3), 15-38.

such as variable, equality, inequality, equation, identity, pattern, generalization, and function, are among the fundamental building blocks of mathematics. Algebraic thinking has also been systematically structured from primary school to secondary education within the scope of the Türkiye Century Education Model. In this framework; “From Operations to Algebraic Thinking” in grades 1, 2, 3, and 4, “Algebraic Thinking with Operations” in grade 5, “Algebraic Thinking and Transformations with Operations” in grades 6, 7, and 8; and themes such as “Numbers,” “Logical Reasoning,” “Algorithm and Informatics,” “Counting,” “Quantities and Changes,” and “Mathematics of Change” in secondary education grades 9-12 are included (MEB,2024). In the mentioned model, the integration of technological tools into the learning process is encouraged, and it is emphasized that algebra teaching should be structured in accordance with the requirements of the digital age.

Algebra is a branch of mathematics that expresses relationships in the form of equations through numbers and symbols (Akkaya & Durmuş, 2006; Usiskin, 1997). While Sfard (1995) defines algebra as a computational science, Yenilmez and Avcu (2009) evaluated algebra as a field dealing with quantities, relations, and structures. Dede and Argün (2003) stated that algebra is a problem-solving and thinking tool for both mathematics and other disciplines and also serves as the language of mathematics. Lacampagne (1995) stated that a good understanding of algebra plays a critical role in the transition to advanced mathematics topics. These definitions reveal how important algebra teaching and learning are. However, algebra is a difficult field to understand due to its abstract concepts and requires abstract thinking skills. In this respect, it contains difficulties for both students and teachers in terms of teaching and learning (Dede & Argün, 2003). Especially the concept of “unknown” (variable) can cause the development of prejudice and negative attitudes towards mathematics in some students (İlhan et al., 2022). TIMSS 2019 results also support this situation; it was reported that the areas where students made the most mistakes in Türkiye were algebra and geometry. In this context, the use of constructivist learning approach-based, student-centered, and functional methods in the teaching process gains importance. On the other hand, technology-enhanced instruction is based on constructivist learning theory, which envisages students’ active construction of knowledge. On the other hand, the role of technology-enhanced instruction is compatible with the basic principles of the constructivist approach (İşman et al., 2002). In this approach, students are at the center and take an active position in the learning process (Kamii & Ewing, 1996). When students develop new learning products and interact with their peers, the tools provided by technology enrich the learning-teaching environment as an important component of this process and increase the effectiveness of learning. In addition, Mayer’s (2001) multimedia learning theory explains that technology supports the learning process by integrating visual and verbal information. Dynamic algebra software, simulations, and virtual manipulatives facilitate students’ understanding of abstract mathematical relationships through concrete representations. In line with these developments, the concept of technology-enhanced instruction has developed with the integration of information and communication technologies into the educational process. Therefore, mathematical software, virtual manipulatives, online collaborative tools, and other technologies can be considered as tools that support and enrich students’ learning processes on a common theoretical framework.

Technology-enhanced instruction aims to enrich the teaching process and increase students’ active participation through tools such as computers, smart boards, projection devices, mobile applications, and software (Anohina, 2005; Dikmen & Tuncer, 2018). Ersoy (2005) states that this method is more individualized and interactive compared to traditional teaching and also provides a more economical solution for large student groups. Hohenwarter and colleagues (2008) emphasize that technology-enhanced instruction is also effective in creating out-of-class learning environments. NCTM (2000) emphasizes that technology should be one of the basic components of classroom teaching, while recommending that this integration be evaluated on both content and pedagogical approaches. MEB (2013) states that technological tools support problem-solving processes in mathematics teaching; through numerical, algebraic, and graphic representations, they contribute to students developing different perspectives and better understanding concepts. The Türkiye Century Education Model also adopts an understanding that prioritizes the holistic development of the individual; aims to raise individuals who are sensitive to the requirements of the digital age and can direct technology and restructures the mathematics curriculum in this direction (MEB, 2024).

In mathematics learning that contain abstract concepts, the integration of technology into the teaching process both facilitates conceptual understanding and increases student achievement. Findings supporting this situation are also included in meta-analysis studies conducted at different levels. For example, in the meta-analysis study conducted by Demir et al. (2024), 22 studies published between 2017-2022 and 27 effect sizes were examined; it was determined that technology-enhanced instruction had a moderate positive effect on students’ mathematics performance. Similarly, in another meta-analysis study conducted by Güler et al. (2022), because of examining 22 studies published between 2010-2020, it was found that mobile learning applications had a moderate positive effect on students’ mathematics achievement. In the study conducted by He et al. (2025), in the analysis of 68 studies on dynamic geometry software that became widespread in the post-COVID-19 period, it was determined that this software had a high-level positive effect on the mathematics learning of students at the K-12 level.

There are many studies in the literature examining the effect of technology-enhanced instruction in the algebra learning domain (Kaya & Keşan, 2022b; Özbeý & Koparan, 2020; Poçan, 2019). In addition, synthesis studies have been conducted to determine trends in this field (Kaya & Keşan, 2022a; Özey, 2019; Şimşek & Turanlı, 2023; Türkođlu & Cihangir, 2017). For example, Şimşek and Turanlı (2023) stated that technological tools make positive contributions to linear algebra education. Özey (2019) stated that most of the studies in the algebra field focus on student achievement; Kaya and Keşan (2022) revealed that quantitative methods are mostly preferred in this field, and quantitative techniques are used in data analysis. These findings show that existing research in the field needs to be systematically brought together to make a more holistic evaluation. According to the examinations conducted in the literature, no meta-analysis study systematically examining the effect of technology-enhanced instruction in the algebra learning domain was found. This study aims to fill this gap and targets to evaluate the effect of technology-enhanced instruction on student achievement compared to traditional teaching methods. On the other hand, it has been investigated in the literature on mathematics education whether the effectiveness of technology-enhanced instruction varies depending on contextual factors such as the type of technology used, study type, and implementation quality (Young, 2017). On the other hand, in meta-analysis studies, it has been examined whether mathematical subject areas (sub-learning domains) change the effect (He, Yuan & Kiliçman, 2025). In this context, determining under which conditions the effectiveness of technology-enhanced instruction differs in a learning domain that contains conceptual difficulties such as algebra is an important topic of curiosity for both researchers and practitioners. Therefore, examining how the effect of technology-enhanced instruction on algebra achievement changes at different educational levels, with different technology types, according to implementation durations, and in sub-learning domains of algebra is important both theoretically and practically. In this framework, the selection of moderator variables aims to enable systematic testing of differences reported in the literature and determination of more effective strategies in algebra teaching. In connection with this purpose, answers to the following questions will be sought:

1. What is the effect of technology-enhanced instruction in the algebra learning domain on students' mathematics achievement compared to traditional teaching?
2. How does the effect of technology-enhanced instruction in the algebra learning domain on students' mathematics achievement compared to traditional teaching methods change according to moderator variables (educational level, technology type, implementation duration, scale developer, sub-learning domain)?

2. Method

This research was conducted to determine the effect of technology-enhanced instruction in the algebra learning on student achievement compared to traditional teaching methods, and the meta-analysis method was used. Meta-analysis is defined as "a method of reaching a general conclusion by statistically analyzing the findings obtained by systematically combining the quantitative results of many studies that are independent of each other and investigate a specific subject" (Lipsey & Wilson, 2001; Smith & Glass, 1977).

2.1. Data Collection Process

It was not considered sufficient for the articles included in the study to only meet the specified criteria, but their methodological qualities were also examined. In this context, research designs, sample sizes, validity and reliability analyses of measurement tools were taken into consideration. Thus, the robustness of the obtained findings was tried to be increased. However, examining only studies accessed through national databases in the research limits the diversity of data. Since this situation may create limitations in making comparisons with international literature, it has been evaluated as a limitation that should be considered when interpreting the obtained results. In this context, data were obtained from TR Index, National Thesis Center, and DergiPark databases. Search strategies were created with keywords determined for the algebra field within the scope of the Ministry of National Education's primary and secondary mathematics curriculum. Table 1 presents the databases used, search combinations, and the number of results obtained.

Table 1. Databases and Number of Studies

Database	Boolean Operators and Combinations	Number of Results	Date
TRdizin	(abstract : ("matematik" AND ("cebir" OR "örüntü" OR "denklem" OR "değişken" OR "eşitlik" OR "eşitsizlik" OR "özdeşlik" OR "fonksiyon")))	357	04.12.2024
National Thesis Center	Title:(cebir OR denklem OR değişken OR eşitlik OR eşitsizlik OR fonksiyon OR örüntü OR özdeşlik) AND (matematik)	460	04.12.2024
Dergipark	abstract: "cebir" OR abstract: "denklem" AND abstract: "matematik eğitimi"	646	30.11.2024

As seen in Table 1, 357 studies were reached from the TR dizin database, 460 from the national thesis center database, and 646 from the Dergipark database. As a result of the search, the studies included in the research were determined according to the criteria specified in Table 2.

Table 2. Inclusion Criteria for Studies

Criteria	Explanation
Study location	Conducted in Türkiye
Study type	Studies should be theses or articles because some of the necessary values used in calculating effect size are missing in the examined proceedings and research reports
Study method	Quantitative study
Study design	Experimental design with technology-enhanced instruction in the experimental group and traditional instruction in the control group.
Study dependent variable	Examination of mathematics achievement
Study content	Technology-enhanced instruction in algebra learning.
Study sample group	Sample consisting of primary and secondary school students, as technology-enhanced instruction is thought to be used for concretization in the algebra learning.
Study descriptive statistical information	Necessary values for calculating effect size being reported.

A total of 1463 studies reached because of the search were examined according to the criteria specified in Table 2, and 18 studies were included in the research. Since one of them contained two experimental groups, a total of 19 effect sizes were obtained. In this study, moderator variables were determined as the year of the study, implementation duration, school level, person implementing the study, person developing the scale, and in which sub-topics of the algebra learning domain the implementation was conducted. The studies included in the research were recorded in a coding form prepared in Microsoft Excel 2010. The coding form used in this study consists of three main sections: study identity (author's surname, study year, study type), moderator variables section (educational level, technology type, implementation duration, person developing the measurement tool, and algebra learning domain sub-topics), and findings (mean, standard deviation, sample size, statistical information) sections. Primary studies included in the research are marked with * in the references section. For this entire process to proceed transparently, data are shown with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) flow chart in Figure 1.

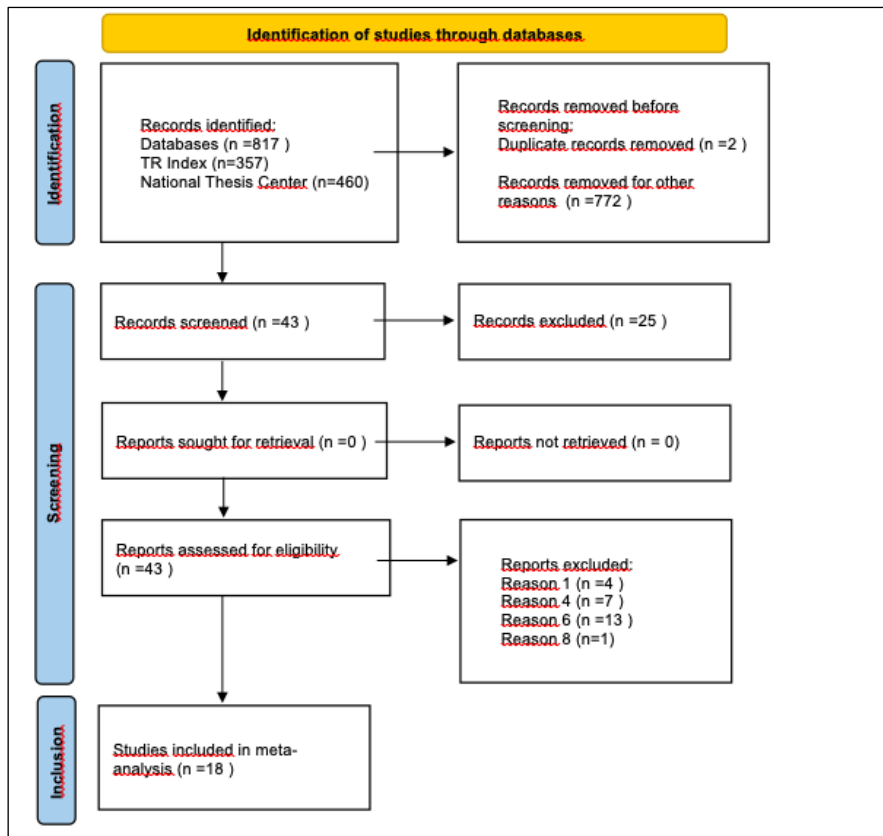


Figure 1. PRISMA Flow Chart Showing the Study Acquisition Process

2.2. Data Analysis

The 18 studies included in the research were coded by the researcher into the coding chart. After approximately 2 weeks, the researcher re-coded 6 studies. It was observed that both coding charts were 90% compatible. Researchers came together to reach consensus where there were disagreements. For example, studies where the technology type was not clearly defined were classified under the ‘Other’ category. Analyses were performed using the JASP 0.19.2.0 program. Hedges’ *g* was used as the effect size in the study. Hedges’ *g* values were calculated from the mean and standard deviation values presented by the studies. In cases where descriptive values were not provided, transformations were made using the *t* and *F* statistics, *p* values, and sample sizes reported in the articles. The common effect size was calculated using the weighted average method under the random effects model. In addition to effect size, heterogeneity statistics and publication bias are reported.

2.2.1. Publication Bias

The Funnel Plot was examined to determine whether there was publication bias. The funnel plot of the studies included in the research is presented in Figure 2.

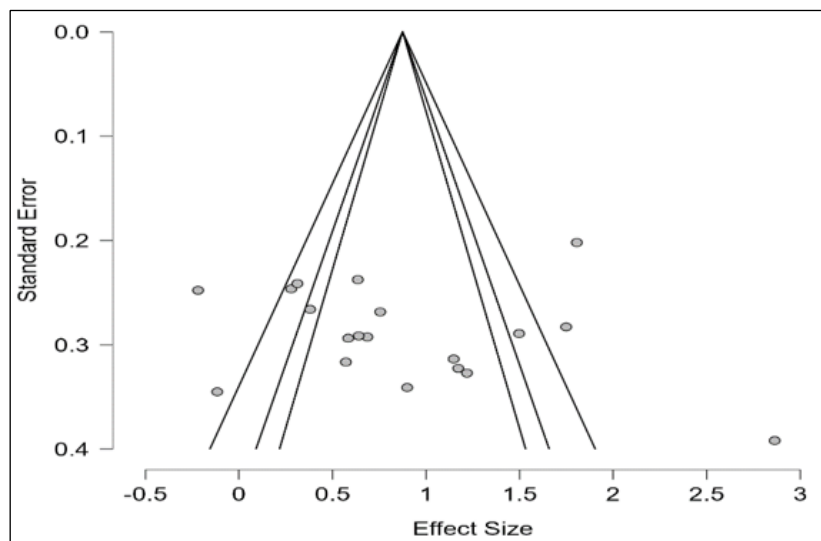


Figure 2. Funnel Plot for Achievement

The funnel plot in Figure 2 shows the distribution of the effect sizes of the studies around the general effect size. As seen in the funnel plot, the effect size values of the studies showed an almost symmetrical distribution around the general effect size value. In this case, we can say that there is no publication bias. The Egger Regression Test was examined in Table 3 against the possibility of possible bias.

Table 3. Egger Regression Test

Number of Effect Sizes	Asymmetry Test		Limit Estimate		
	<i>z</i>	<i>P</i>	Estimate	Lower 95% CI	Upper 95% CI
19	1.354	0.176	-0.550	-2.636	1.536

As a result of the Egger Linear Regression Test, it is seen that it is not statistically significant ($p = .176 > .05$). This indicates that there is no publication bias. In addition The Trim and Fill method developed by Duval and Tweedie (2000) was used to evaluate the potential effect of publication bias on the meta-analysis results. The analysis revealed that all three estimators (LO, RO, and Q0) identified zero missing studies. This indicates that there were no missing studies creating asymmetry in the funnel plot. The adjusted effect size after Trim and Fill analysis (0.933) remained identical to the original effect size. The fail-safe *N* value was calculated as 130, indicating that the meta-analysis findings are robust against the addition of 130 negative studies.

2.2.2. Heterogeneity Analysis

Heterogeneity was first confirmed with the Cochran *Q* test. Then the magnitude of heterogeneity (τ , τ^2 , *I*²) and consequences (PI) were determined. In this context, which effect model would be preferred was determined according to the heterogeneity situation. Finally, the effect of individual studies was evaluated with Influential Case Analysis. The Cochran *Q* Test is given in Table 4 to examine whether the studies are heterogeneous.

Table 4. Heterogeneity Analysis with Cochran Q Test

Q_e	df	p
110.386	18	<.001

In Table 4, it is seen that $p < .001$. This indicates that there is a statistically significant heterogeneity value different from zero. The confidence intervals of the studies included in the research are shown in Table 5.

Table 5. Meta-Analytic Heterogeneity and Variance Estimates

Effect Size	95% CI		95% PI		
	Lower	Upper	Lower	Upper	
τ	0.647	0.454	1.035	-0,538	2,288
τ^2	0.418	0.206	1.071		
I^2	84.138	72.293	93.141		

Note. 18 clusters with min/median/max 1/1/2 estimates.

When Table 5 is examined, it is seen that the tau value is 0.647. This value is quite large. This situation causes the confidence interval to be wide. The confidence interval varies between -0.538 and 2. 288. That is, there is a 95% probability that new studies to be added will be in this confidence interval. The tau-square value is 0.418, which is a large value. The I^2 value is 84.138, indicating that most of the total variance originates from inter-study variance. As a result, the effect sizes of the studies show a heterogeneous distribution. Since the studies show a heterogeneous distribution, analyses will be conducted according to the random effects model. On the other hand, how each study affects heterogeneity is presented in Table 6.

Table 6. Influential Case (Leave-One-Out) Analysis Results

Study	Standardized Residual	DFFITS	Cook's Distance	Covariance ratio	Leave One Out			Hat	Weight	Influential
					τ	τ^2	Q_e			
Çetin & Mirasyedioğlu (2019)	0.169	0.064	0.004	1.445	0.675	0.455	96.917	0.161	5.072	
Özbey & Koparan (2020)	-0.533	-0.186	0.036	1.294	0.668	0.447	95.538	0.110	5.250	
Bilen(2016)	1.075	0.489	0.236	1.167	0.641	0.411	85.834	0.169	5.315	
Budiyar(2018)	-0.543	-0.187	0.037	1.287	0.668	0.446	95.807	0.108	5.110	
Canevi(2019)	3.139	1.325	1.186	0.300	0.505	0.255	69.020	0.147	4.637	Yes
Ceylan(2003)	-2.220	-0.989	0.772	0.619	0.567	0.321	74.718	0.175	5.519	
Işık(2023)	0.272	0.097	0.010	1.346	0.674	0.455	97.953	0.108	5.128	
Kelismail(2019)	-0.237	-0.141	0.021	1.634	0.676	0.457	97.464	0.263	5.527	
Mercan(2019)	0.717	0.400	0.165	1.440	0.663	0.439	95.944	0.236	4.958	
Okuducu(2020)	-0.827	-0.459	0.215	1.390	0.658	0.433	94.979	0.235	4.932	
Poçan(2019)	0.337	0.202	0.044	1.620	0.674	0.455	97.090	0.266	5.576	
Şimşek(2013)	-1.176	-0.542	0.286	1.130	0.644	0.415	91.852	0.176	5.555	
Temür(2022)	0.791	0.280	0.081	1.210	0.660	0.436	95.197	0.111	5.277	
Yazlık (2015)	1.359	0.506	0.241	0.972	0.626	0.392	79.366	0.121	5.764	
Zengin(2019)	-0.384	-0.134	0.019	1.330	0.672	0.452	96.567	0.111	5.257	
Zengin(2019)	-0.451	-0.158	0.026	1.315	0.671	0.450	96.108	0.111	5.264	
Koç(2022)	0.370	0.130	0.018	1.327	0.672	0.452	97.745	0.106	5.044	
Akçakın(2015)	-0.450	-0.214	0.048	1.412	0.673	0.453	97.975	0.171	5.400	
Öner(2009)	-0.852	-0.305	0.095	1.190	0.656	0.431	91.305	0.114	5.414	

In Table 6, the effects of the analyzed studies on effect size and heterogeneity were evaluated. As a result of the examination, only the Canevi (2009) study was identified as a potential outlier. However, since it did not have a significant effect on heterogeneity, it was not removed from the analysis and was included in the study.

3. Results

In this study, which addresses the effect of technology-enhanced instruction on student achievement compared to traditional teaching methods, the findings consist of two stages: general (descriptive) characteristics of studies/general effect size and moderator variable analysis.

3.1. General (Descriptive) Characteristics of Studies and General Effect Size

Table 7. General Characteristics of Studies Included in the Research

Study No	Publication Name	Study Type	Sample Group	Sample Size
1	Çetin & Mirasyedioğlu (2019)	Article	High School	44
2	Özbey ve Koparan (2020)	Makale	Middle School	47
3	Bilen(2016)	Doctoral Thesis	High School	68
4	Budiyar(2018)	Master's Thesis	Middle School	40
5	Canevi(2019)	Master's Thesis	High School	52
6	Ceylan(2003)	Doctoral Thesis	High School	64
7	Işık(2023)	Master's Thesis	Middle School	46
8	Kelismail(2019)	Master's Thesis	Middle School	65
9	Mercan(2019)	Doctoral Thesis	Middle School	38
10	Okuducu(2020)	Master's Thesis	Middle School	32
11	Poçan(2019)	Doctoral Thesis	Middle School	73
12	Şimşek(2013)	Master's Thesis	High School	68
13	Temür(2022)	Master's Thesis	Middle School	60
14	Yazlık (2015)	Doctoral Thesis	High School	137
15	Zengin(2019)	Master's Thesis	Middle School	72
16	Koç(2022)	Master's Thesis	Middle School	43
17	Akçakın(2015)	Doctoral Thesis	High School	58
18	Öner(2009)	Master's Thesis	Middle School	56

When Table 7 is examined, it is seen that 2 of the studies are articles, 6 are doctoral theses, and 10 are master's theses. The educational level of the sample group consists of high school and middle school. The total sample size consists of 1063 participants. The effect sizes obtained from 18 studies were also examined with the forest plot. Figure 3 shows these obtained effect sizes and confidence intervals of these effect sizes.

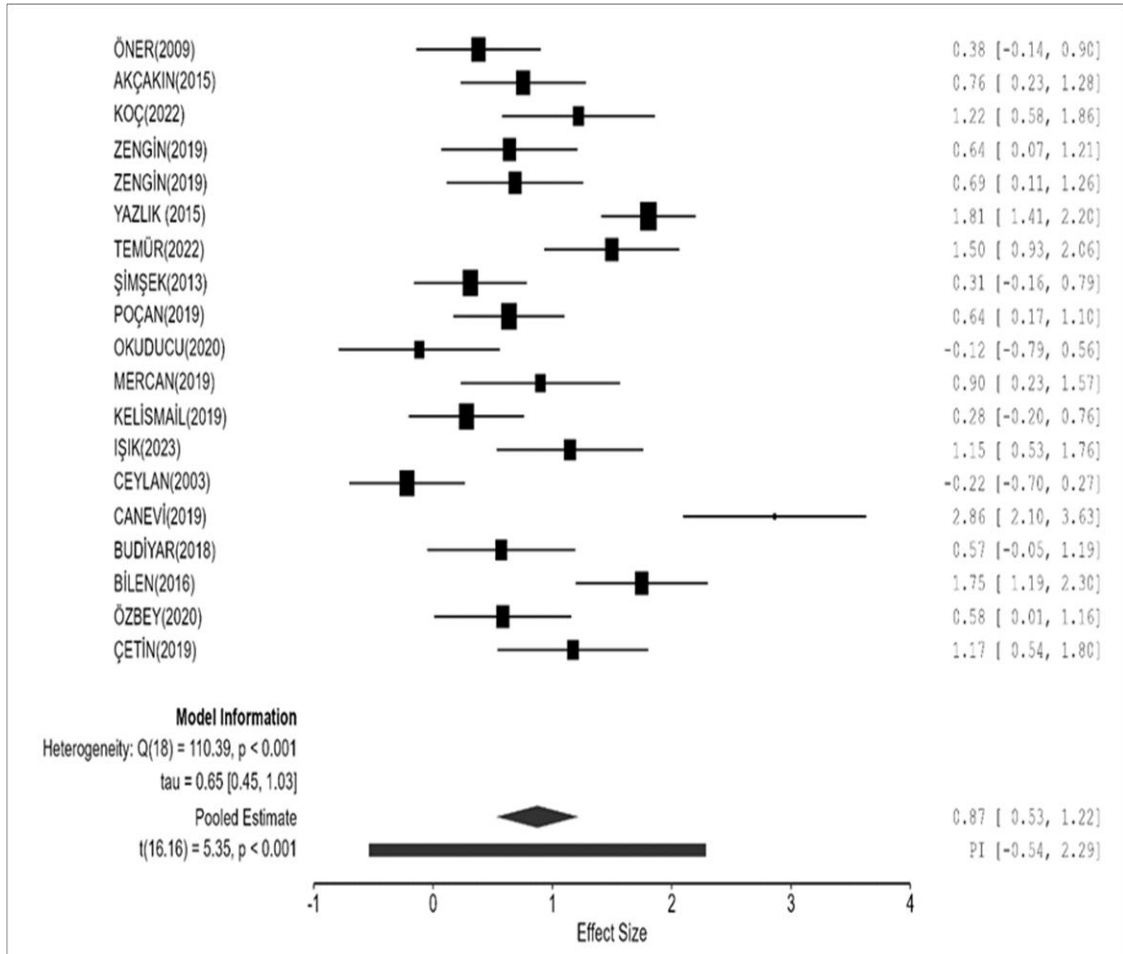


Figure 3. Forest Plot for Achievement

The areas of the rectangles representing effect sizes are drawn proportional to the weights assigned to the studies. Studies with larger rectangles were given more weight, and studies with smaller rectangles were given less weight. In addition, it is seen that the general effect size (Hedges' $g = 0.87$), the confidence interval of this effect size [0.53, 1.22], and the prediction interval [-0.54, 2.29]. It is seen in the forest plot that the studies are heterogeneous. Analyses were calculated according to the random effects model.

19 effect size values were obtained from 18 studies included in the research. Since there were 2 experimental groups in one study (Zengin, 2019), 2 effect size values were calculated from this study. Analyses in the study were performed using the JASP 0.19.2.0 program. Hedges' g was used for the common effect size. The general effect size of the studies is given in Table 8.

Table 8. Results of Simple Meta-Regression Analyses for Mathematics Achievement

Effect Size	Standard Error	t	df	p	95% CI		95% PI	
					Lower	Upper	Lower	Upper
0.875	0.164	5.349	16.162	<.001	0.528	1.221	-0.538	2.288

As seen in Table 8, the general effect size was calculated as 0.875, and this value corresponds to a large effect size. Since $p < .001$, the general effect size is statistically significant. It is seen that the 95% confidence interval of the general effect size varies between 0.528 and 1.221. The wide confidence interval is due to the small number of studies. As a result, considering the general effect size, it is seen that technology-enhanced instruction in the algebra learning domain has a large positive effect on students' mathematics achievement compared to traditional teaching methods.

3.2. Moderator Variable Analysis

For moderator variable analysis, simple meta-regression analyses were first conducted using each moderator variable. JASP 0.19.2.0 software was used for all moderator variable analyses. Before starting the analyses, the linearity assumption was checked for continuous variables such as study year and implementation duration. Continuous variables were recoded as categorical variables when the linearity assumption could not be met. Implementation duration was analyzed after being divided into three categories: short, medium, and long. Studies up to 20 hours were recoded as short, studies from 20 to 30 hours as medium, and studies of 30 hours or more as long. The study year moderator variable could not be converted to a categorical variable due to its irregular distribution. Figure 4 shows the linearity graph for implementation duration, and Figure 5 shows the linearity graph for study year.

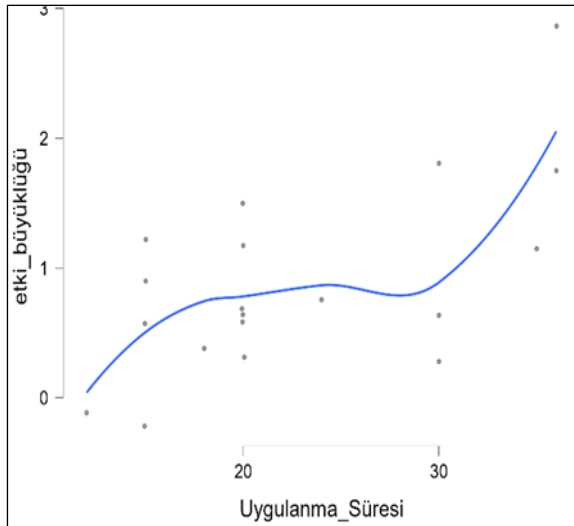


Figure 4. Linearity for Implementation Duration

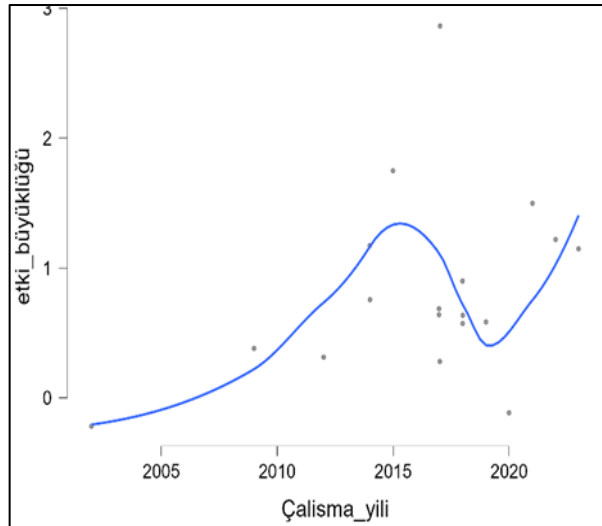


Figure 5. Linearity for Study Year

As seen in Figures 4 and 5, it is observed that continuous variables do not meet the linearity assumption. Therefore, after implementation duration was converted to a categorical variable, moderator variable analysis was conducted, and since study year could not be converted to a categorical variable, its analysis could not be performed. The findings related to the analysis moderator variables are presented in Table 9.

Table 9. Descriptive and Statistical Information related to Moderator Variables

Moderator Variable	Subgroups	Effect Size	Number of Effect Sizes	p	F	Tau-Square	R-Square (R ²)
Educational Level	High School	1.167	7	0.263	1.374	0.398	4.937
	Middle School	0.700	12				
Technology Level	Mathematical Software	1.005	7	0.851	0.263	0.497	0.000
	Virtual Manipulative	0.920	3				
	Online Collaborative Tools	0.901	5				
	Other	0.579	4				
Scale Developer	Researcher	0.840	15	0.667	0.228	0.443	0.000
	Ready-made	1.009	4				
Implementer	Researcher	0.585	10	0.077	3.691	0.349	21.332
	Teacher	1.260	8				
Implementation Duration	Short	0.443	6	0.163	2.193	0.322	23.054
	Medium	0.800	7				
	Long	1.368	6				
Sub-learning domain	Algebraic Expressions	0.427	4	0.220	1.855	0.423	0.000
	Equations	0.955	9				
	Functions	1.052	6				

When Table 9 is examined for moderator variable analyses, according to the educational level moderator variable, the effect size for high school (1.167) shows a large effect size. The effect size for middle school is 0.700, which corresponds to a medium-sized effect size. It can be said that technology-enhanced instruction is an effective method compared to traditional methods at both educational levels. Although the educational level moderator variable is not statistically significant, it explains approximately 5% of the variance ($p=0.263>0.05$). Since the tau-square value is large, there is a heterogeneous distribution. On the other hand, according to the technology type moderator variable, it is seen that the effect sizes are large for mathematical software (1.005), virtual manipulatives (0.920), and online collaborative tools (0.901). The technology type moderator variable is not statistically significant and cannot explain the variance ($p =0.851>0.05$; $R^2=0.000$). However, according to the scale developer moderator variable, the mean effect size of studies where researcher-developed scales were applied is 0.840; the mean effect size of studies where ready-made scales were applied is 1.009, both corresponding to large effect sizes. The scale developer moderator variable is not statistically significant ($p=0.667>0.05$). It also does not explain any variance ($p =0.667>0.05$; $R^2=0.00$). Additionally, according to the implementer moderator variable, the mean effect size value of studies conducted by researchers (0.585), the mean effect size value of studies conducted by teachers (1.260), and it can be said that there is a large difference between researcher and teacher subgroups. Although the implementer moderator variable is not statistically significant, it explains 21% of the variance ($p =0.077>0.05$). The small sample size may cause it not to be statistically significant. According to the tau-square value, there is a heterogeneous distribution. It can be said that the implementer may be an important moderator variable. According to the implementation duration moderator variable, the mean effect size of short-term implementations (0.443), the mean effect size of medium-term implementations (0.800), and the mean effect size of long-term implementations (1.368) are observed. It can be said that as implementation duration increases, the method becomes more effective. Although not statistically significant, it explains 23% of the variance ($p=0.163>0.05$). This situation may be due to the small sample size. It can be said that implementation duration is an important moderator variable in terms of achievement. When the tau-square value is examined, the implementation duration moderator variable shows a heterogeneous distribution. However, according to the algebra sub-learning domain moderator variable, the mean effect size in algebraic expressions is (0.427), the mean effect size value in equations is (0.955), and the mean effect size in functions is (1.052). It can be said that the method affects algebra sub-learning domains to different degrees. The sub-learning domain moderator variable is not statistically significant and cannot explain the variance ($p=0.220>0.05$; $R^2=0.000$).

4. Discussion, Conclusion, and Implications

In this meta-analysis study, the effect of technology-enhanced instruction in the algebra learning domain on students' mathematics achievement compared to traditional teaching methods was examined. The research

results revealed that technology-enhanced instruction has a large positive effect on students' mathematics achievement (Hedges' $g = 0.875$). This finding shows that technology-enhanced instruction is a more effective teaching approach than traditional methods in the algebra learning domain. According to Cohen's (1988) effect size classification, the obtained value is in the "large effect" category. The research findings show consistency with other studies in the literature. For example, in the meta-analysis study conducted by Deniz (2019), the general effect size of technology-enhanced instruction on mathematics achievement was found to be 0.758. Similarly, in the meta-analysis study conducted by Kaya and Öçal (2018) examining the effect of GeoGebra applications on mathematics achievement, the general effect size was determined to be 0.899. Additionally, in the meta-analysis study conducted by He and colleagues (2025) focusing on dynamic geometric software, it was determined that such software had a large effect size ($g = 0.820$) on the mathematics learning of students at the K-12 level. Güler and colleagues (2022) reported that mobile learning applications had a moderate positive effect on students' mathematics achievement with an effect size of $g = 0.476$.

The moderator variable analyses of the studies examined within the scope of the research revealed that effect sizes vary according to different moderator variables. For example, according to the educational level moderator variable, while a large effect size (1.167) was observed in high school level implementations, a medium effect size (0.700) was detected in middle school level implementations. This finding shows that technology-enhanced instruction is effective compared to traditional methods at both educational levels but has a higher effect value at the high school level. This result parallels Deniz's (2019) finding of the highest effect level at the university level (0.858). This situation suggests that the effectiveness of technology-enhanced instruction increases as the educational level rises.

When the implementation duration of technology-enhanced instruction was examined as a moderator variable, the mean effect size of short-term implementations was 0.443 (medium level), the mean effect size of medium-term implementations was 0.800 (large level), and the mean effect size of long-term implementations was 1.368 (very large level). This finding of the research shows consistency with studies in the literature. For example, in a meta-analysis study conducted by Wang and colleagues (2022), the effect of digital game-based STEM education on learning achievement was examined, and implementation duration was found to be an important moderator variable on learning outcomes. The study stated that long-term implementations increased student achievement more. In this context, it points to implementation duration being a critical moderator variable on student achievement. As implementation duration increases, the effectiveness of technology-enhanced instruction also increases. Possible reasons for this situation include that in long-term implementations, students have more opportunities to get used to technological tools, technology integration is implemented more deeply, and students become more confident in using technology.

This research also determined that in technology-enhanced instruction in the algebra learning domain, the role of the implementer (teacher or researcher) affects student achievement. Higher effect sizes were obtained in studies conducted by teachers. This finding emphasizes that the role of teachers is critical in the effectiveness of technology-enhanced instruction. Indeed, a meta-analysis study conducted by Zeng and colleagues (2022) revealed that teachers' knowledge and skills are important determinants in the success of technology-enhanced instruction. On the other hand, teachers' better knowledge of classroom dynamics, ability to establish stronger relationships with students, and higher pedagogical content knowledge may provide advantages in implementing technology-enhanced instruction.

When the technology type moderator variable used in technology-enhanced instruction in the algebra learning domain was examined, although the number of studies related to virtual manipulatives was small, the large effect size was noteworthy. In a meta-analysis study conducted by Moyer-Packenham and Westenskow (2013) examining the effects of virtual manipulatives on student achievement, it was revealed that virtual manipulatives had a medium-level effect on student achievement. The large effect size for virtual manipulatives in this study addressing technology-enhanced instruction in the algebra learning domain can be explained by the characteristics of virtual manipulatives. For example, virtual manipulatives can be customized for students with different learning speeds and styles in the mathematics learning process (Shin et al., 2017). This situation may allow learners to make mistakes in operations on algebraic expressions and to discover and correct these mistakes. Students can directly manipulate an algebraic structure in a digital environment and reconstruct it. Thus, the resulting interactive learning process is thought to contribute to deepening conceptual understanding and internalizing learning.

When examined in terms of algebra sub-learning domains, the mean effect size in algebraic expressions was 0.427 (medium level), the mean effect size in equations was 0.955 (large level), and the mean effect size in functions was 1.052 (large level). These findings show that the effectiveness of technology-enhanced instruction differs according to algebra sub-learning domains. Among the probable reasons why technology-enhanced instruction has a greater effect on functions is that these concepts are naturally suitable for dynamic and multiple representations (Akkoç, 2006). Through technological tools, it becomes possible for students to examine

functions simultaneously through graphs, tables, and algebraic expressions, and thus abstract structures can become more concrete.

This study systematically synthesized findings in the literature regarding the effectiveness of technology-enhanced instruction in algebra teaching. According to the research results, it is seen that technology-enhanced instruction affects algebra achievement. When technological tools are evaluated from a constructivist learning theory perspective, they allow students to explore mathematical concepts, make connections, and construct meanings. Dynamic mathematics software allows students to manipulate mathematical objects, make predictions, and test results. Especially mobile learning applications provide flexible and accessible tools that can support students' mathematics learning (Güler et al., 2022). Dynamic mathematics software that became widespread in the post-COVID-19 period strengthens the mathematics learning of students at the K-12 level, especially playing a significant role in visualizing abstract mathematical concepts (He et al., 2025). Additionally, this research presents important results for implementation. In terms of implementation, the results of this research show that mathematics teachers should increase their use of technology in their classrooms. On the other hand, this research goes beyond determining the general effect of technology-enhanced instruction on students' achievement in algebra teaching and reveals how moderator variables such as educational level, technology type, implementation duration, source of measurement tool, and sub-learning domain differentiate this effect. The findings obtained through moderator variables reveal that effect levels can change at different educational levels and technology types and are thought to be guiding for practitioners in selecting contextually more appropriate methods and tools. In terms of educational policy, the results of this research emphasize that technological infrastructure in schools needs to be strengthened in algebra teaching, teachers need to be trained in technology use, and appropriate curriculum materials for technology-enhanced mathematics instruction need to be developed.

Finally, only studies conducted in Türkiye were included in this meta-analysis study. Other studies conducted in other countries can also be addressed. Therefore, the sample size can be increased, the heterogeneity level can be reduced, and more accurate results can be obtained in terms of generalization. Additionally, studies to be conducted can include undergraduate-level studies to observe the effects of technology-enhanced instruction on achievement at the undergraduate level. In addition, longer-term implementations can be planned for technology-enhanced instruction methods to give more positive results.

Acknowledgements: This study was produced from part of the data in Rabia Kılıç's thesis.

Ethics Declaration: This study does not require ethic approval, because it only analyzes the data from published literature.

Funding: No funding was reported for this study.

Declaration of interest: The author declares no conflict of interest.

Cebir Öğrenme Alanında Teknoloji Destekli Öğretimin Akademik Başarıya Etkisi: Bir Meta-Analiz Çalışması

1. Giriş

Tarih boyunca insan yaşamını derinden etkileyen ve toplumları dönüşüme uğratan birçok gelişme yaşanmıştır. 21. yüzyılda ise bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesi ve yaygınlaşması, bireylerin çağın gerekliliklerine uyum sağlayabilmeleri için yeni beceriler edinmelerini zorunlu hale getirmiştir. Bu çağın gerektirdiği temel beceriler arasında dijital okuryazarlık, eleştirel ve analitik düşünme ile problem çözme ön plana çıkmaktadır (Borrowski, 2019). Günlük yaşamda ve çeşitli disiplinlerde karşılaşılan problemlerin çözümünde aritmetik bilgi ve cebirsel düşünme becerileri aktif biçimde kullanılmaktadır. Cebirsel düşünme, sayıların ve işlemlerin geliştirilmesi yoluyla matematiksel ilişkilerin kurulmasını ve çözüm yollarının geliştirilmesini sağlar (Akkan vd., 2019). Nitekim, mantıksal çıkarım gibi üst düzey bilişsel beceriler cebir öğrenimi yoluyla geliştirilebilmektedir (İdil ve Narlı, 2021). Erbaş ve arkadaşları (2009), cebirin bireylere soyut düşünme becerisi kazandırdığını ve farklı disiplinler arasında kavramsal ve teorik bir köprü işlevi gördüğünü vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, cebir genellikle aritmetikten soyut düşünmeye geçişin temel aşamalarından biri olarak değerlendirilmektedir (Susac vd., 2014). Uluslararası düzeyde gerçekleştirilen TIMSS ve PISA gibi sınavlar ile Ulusal Matematik Öğretmenleri Konseyi (NCTM), cebir öğrenme alanına özel bir önem atfetmektedir. Bu durum, yalnızca Türkiye’de değil, birçok ülkede de cebirsel düşünmeye yönelik konuların eğitim programlarında erken yaşlardan itibaren yer bulmasına neden olmuştur (Matthews ve Fuchs, 2018; MEB, 2024).

Farklı yıllarda uygulamada olan ulusal matematik öğretim programında cebir öğrenme alanı, 6. sınıftan itibaren her eğitim düzeyinde yapılandırılmış şekilde öğrencilere sunulmaktadır. Milli Eğitim Bakanlığı (2018) öğretim programına göre; 6. sınıfta cebirsel ifadeler, 7. sınıfta eşitlik ve denklem, 8. sınıfta ise özdeşlikler, doğrusal denklemler ve eşitsizlikler gibi konular işlenmektedir. Bu alanın temel kavramları olan değişken, eşitlik, eşitsizlik, denklem, özdeşlik, örüntü, genelleme ve fonksiyon, matematiğin temel yapı taşları arasında yer almaktadır. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında da cebirsel düşünme, ilkokuldan ortaöğretime kadar sistematik olarak yapılandırılmıştır. Bu çerçevede; 1, 2, 3 ve 4. sınıflarda “İşlemlerden Cebirsel Düşünmeye”, 5. sınıfta “İşlemlerle Cebirsel Düşünme”, 6, 7 ve 8. sınıflarda “İşlemlerle Cebirsel Düşünme ve Dönüşümler”; ortaöğretim 9-12. sınıflarda ise “Sayılar”, “Mantıksal Çıkarım”, “Algoritma ve Bilişim”, “Sayma”, “Nicelikler ve Değişimler” ile “Değişimin Matematiği” temalarına yer verilmektedir (MEB, 2024). Söz konusu modelde teknolojik araçların öğrenme sürecine entegrasyonu teşvik edilmekte ve cebir öğretiminin dijital çağın gereklerine uygun olarak yapılandırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Cebir, ilişkileri sayı ve semboller yoluyla denklemler hâlinde ifade eden matematik dalıdır (Akkaya ve Durmuş, 2006; Usiskin, 1997). Sfard (1995), cebiri bir hesaplama bilimi olarak tanımlarken, Yenilmez ve Avcu (2009), cebiri nicelik, bağıntı ve yapılarla ilgilenen bir alan olarak değerlendirmiştir. Dede ve Argün (2003), cebirin hem matematik hem de diğer disiplinler açısından bir problem çözme ve düşünme aracı olduğunu, ayrıca matematiğin dili görevini üstlendiğini ifade etmiştir. Lacampagne (1995) ise cebirin iyi anlaşılmasının, ileri düzey matematik konularına geçişte kritik bir rol oynadığını belirtmiştir. Bu tanımlamalar, cebir öğretimi ve öğreniminin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak cebir, soyut kavramlar içermesi nedeniyle anlaşılması zor bir alandır ve soyut düşünme becerisi gerektirir. Bu yönüyle hem öğrenciler hem de öğretmenler açısından öğretimi ve öğrenimi güçlük barındırmaktadır (Dede ve Argün, 2003). Özellikle “bilinmeyen” (değişken) kavramı, bazı öğrencilerde matematiğe karşı önyargı ve olumsuz tutumların gelişmesine neden olabilmektedir (İlhan vd., 2022). TIMSS 2019 sonuçları da bu durumu desteklemektedir; Türkiye’de öğrencilerin en çok hata yaptığı alanların cebir ve geometri olduğu rapor edilmiştir. Bu bağlamda öğretim sürecinde yapılandırmacı öğrenme yaklaşımına dayalı, öğrenci merkezli ve işlevsel yöntemlerin kullanımı önem kazanmaktadır. Diğer yandan teknoloji destekli öğretim, öğrencilerin bilgiyi aktif olarak yapılandırmasını öngören yapılandırmacı öğrenme kuramı ile temellendirilmektedir. Diğer yandan, teknoloji destekli öğretimin rolü, yapılandırmacı yaklaşımın temel ilkeleriyle uyumludur (İşman vd., 2002). Bu yaklaşımda öğrenciler merkezdedir ve öğrenme sürecinde aktif bir konum üstlenirler (Kamii & Ewing, 1996). Öğrenciler, yeni öğrenme ürünleri geliştirirken ve akranları ile etkileşim kurarken, teknolojinin sağladığı araçlar bu sürecin önemli bir bileşeni olarak öğrenme-öğretme ortamını zenginleştirmekte ve öğrenmenin etkinliğini artırmaktadır. Bunun yanı sıra, Mayer’in (2001) çoklu ortam öğrenme kuramı, teknolojinin görsel ve sözel bilgiyi bütünleştirerek öğrenme sürecini desteklediğini açıklamaktadır. Dinamik cebir yazılımları, simülasyonlar ve sanal manipülatifler, öğrencilerin soyut matematiksel ilişkileri somut temsiller aracılığıyla kavramalarını kolaylaştırmaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda, bilgi ve iletişim teknolojilerinin eğitim sürecine entegrasyonu ile teknoloji destekli öğretim anlayışı gelişmiştir. Dolayısıyla matematiksel yazılımlar, sanal manipülatifler, çevrimiçi işbirlikçi araçlar ve diğer teknolojiler, ortak bir kuramsal çerçeve üzerinde öğrencilerin öğrenme süreçlerini destekleyen ve zenginleştiren araçlar olarak değerlendirilebilir.

Teknoloji destekli öğretim, bilgisayar, akıllı tahta, projeksiyon cihazı, mobil uygulamalar ve yazılımlar gibi araçlar yoluyla öğretim sürecini zenginleştirmeyi ve öğrencilerin aktif katılımını artırmayı amaçlamaktadır (Anohina, 2005; Dikmen & Tuncer, 2018). Ersoy (2005), bu yöntemin geleneksel öğretime kıyasla daha bireyselleştirilmiş ve etkileşimli olduğunu, ayrıca geniş öğrenci grupları açısından daha ekonomik bir çözüm sunduğunu belirtmektedir. Hohenwarter ve arkadaşları (2008) ise teknoloji destekli öğretimin sınıf dışı öğrenme ortamları yaratma açısından da etkili olduğunu vurgulamaktadırlar. NCTM (2000), teknolojinin sınıf içi öğretimin temel bileşenlerinden biri olması gerektiğini vurgularken, bu entegrasyonun hem içerik hem de pedagojik yaklaşımlar üzerinde değerlendirilmesini önermektedir. MEB (2013), matematik öğretiminde teknolojik araçların problem çözme süreçlerini desteklediğini; sayısal, cebirsel ve grafik temsiller yoluyla öğrencilerin farklı bakış açıları geliştirmelerine ve kavramları daha iyi anlamalarına katkı sunduğunu belirtmektedir. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli de bireyin bütüncül gelişimini önceleyen; dijital çağın gereklerine duyarlı ve teknolojiye yön verebilecek bireylerin yetiştirilmesini hedefleyen bir anlayışı benimsemekte ve matematik öğretim programını bu doğrultuda yeniden yapılandırmaktadır (MEB, 2024).

Soyut kavramları barındıran matematik dersinde, teknolojinin öğretim sürecine entegrasyonu hem kavramsal anlamayı kolaylaştırmakta hem de öğrenci başarısını artırmaktadır. Bu durumu destekleyen bulgular, farklı düzeylerde yapılan meta-analiz çalışmalarında da yer almaktadır. Örneğin, Demir ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen meta analiz çalışmada, 2017–2022 yılları arasında yayımlanan 22 çalışma ve 27 etki büyüklüğü incelenmiş; teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin matematik performansı üzerinde orta düzeyde olumlu etki yarattığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, Güler ve ark. (2022) tarafından yapılan bir başka meta-analiz çalışmasında, 2010–2020 yılları arasında yayımlanan 22 çalışmanın incelenmesi sonucunda, mobil öğrenme uygulamalarının öğrencilerin matematik başarısı üzerinde orta düzeyde pozitif etkiye sahip olduğu bulunmuştur. He vd. (2025) tarafından yapılan çalışmada ise, COVID-19 sonrası dönemde yaygınlaşan dinamik geometri yazılımları üzerine yapılan 68 araştırmanın analizinde, bu yazılımların K–12 düzeyindeki öğrencilerin matematik öğrenmeleri üzerinde yüksek düzeyde pozitif etki yarattığı tespit edilmiştir.

Alanyazında cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin etkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Kaya & Keşan, 2022b; Özbey ve Koparan, 2020; Poçan, 2019). Bunun yanı sıra, bu alandaki eğilimleri belirlemeye yönelik sentez çalışmaları da yapılmıştır (Kaya ve Keşan, 2022a; Özey, 2019; Şimşek ve Turanlı, 2023; Türkoğlu ve Cihangir, 2017). Örneğin, Şimşek ve Turanlı (2023), teknolojik araçların lineer cebir eğitiminde olumlu katkılar sunduğunu belirtmiştir. Özey (2019), cebir alanındaki çalışmaların çoğunun öğrenci başarısına odaklandığını ifade ederken; Kaya ve Keşan (2022), bu alanda çoğunlukla nicel yöntemlerin tercih edildiğini ve veri analizinde nicel tekniklerin kullanıldığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, alandaki mevcut araştırmaların sistematik biçimde bir araya getirilerek daha bütüncül bir değerlendirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Literatürde yapılan incelemelere göre, cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin etkisini sistematik olarak inceleyen bir meta analiz çalışmasına rastlanmamıştır. Bu çalışma, bu boşluğu doldurmayı amaçlamakta ve teknoloji destekli öğretimin geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla öğrenci başarısı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi hedeflemektedir. Diğer yandan matematik eğitimindeki alan yazında teknoloji destekli öğretimin etkililiğinin, kullanılan teknoloji türü, çalışma türü ve uygulamanın kalitesi gibi bağlamsal faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterip göstermediği araştırılmıştır (Young, 2017). Diğer yandan meta analiz çalışmalarında, matematiksel konu alanlarının da (alt öğrenme alanları) etkiyi değiştirip değiştirmediği incelenmiştir (He, Yuan & Kiliçman, 2025). Bu bağlamda, cebir gibi kavramsal güçlükler barındıran bir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin etkililiğinin hangi koşullarda farklılaştığını belirlemek, hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar açısından önemli bir merak konusudur. Dolayısıyla teknoloji destekli öğretimin cebir başarısı üzerindeki etkisinin, farklı eğitim kademelerinde, farklı teknoloji türleriyle, uygulama sürelerine göre ve cebirin alt öğrenme alanlarında nasıl değiştiğinin incelenmesi hem teorik hem de uygulamalı açıdan önem arz etmektedir. Bu çerçevede moderatör değişkenlerin seçilmesi, alan yazında raporlanan farklılıkların sistematik olarak test edilmesini ve cebir öğretiminde daha etkili stratejilerin belirlenmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaca bağlı olarak aşağıdaki sorulara yanıt aranacaktır:

1) Cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin, geleneksel öğretim yöntemine kıyasla öğrencilerin matematik başarısına etkisi nedir?

2) Cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin geleneksel öğretim yöntemine kıyasla öğrencinin matematik başarısı üzerindeki etkisi, ara (moderatör) değişkenlere (eğitim kademesi, teknoloji türü, uygulama süresi, ölçeği geliştiren kişi, alt öğrenme alanı) göre nasıl değişmektedir?

2. Yöntem

Bu araştırma, cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin, geleneksel öğretim yöntemine kıyasla öğrenci başarısı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılmış ve meta-analiz yöntemi kullanılmıştır. Meta-analiz, “sistematik bir şekilde birbirinden bağımsız, belirli bir konuyu araştıran birçok çalışmanın nicel sonuçlarını birleştirerek elde edilen bulguların istatistiksel analizini yaparak genel bir sonuca ulaşma yöntemi” olarak tanımlanmaktadır (Lipsey & Wilson, 2001; Smith & Glass, 1977).

2.1. Veri Toplama Süreci

Çalışmaya dahil edilen makalelerin yalnızca belirlenen ölçütleri karşılaması yeterli görülmemiş, aynı zamanda metodolojik açıdan nitelikleri de incelenmiştir. Bu kapsamda araştırma desenleri, örneklem büyüklükleri, ölçme araçlarının geçerlik ve güvenilirlik analizleri dikkate alınmıştır. Böylece elde edilen bulguların sağlamlığı artırılmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte, araştırmada yalnızca ulusal veri tabanları üzerinden ulaşılan çalışmaların incelenmesi, verilerin çeşitliliğini sınırlamaktadır. Bu durum, uluslararası literatürle karşılaştırma yapılmasında kısıtlılık oluşturabileceğinden, elde edilen sonuçların yorumlanmasında dikkate alınması gereken bir sınırlılık olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda veriler, TR Dizin, Ulusal Tez Merkezi ve DergiPark veri tabanlarından elde edilmiştir. Arama stratejileri, Milli Eğitim Bakanlığı'nın ilköğretim ve ortaöğretim matematik öğretim programı kapsamında belirlenen cebir alanına yönelik anahtar kelimelerle oluşturulmuştur. Tablo 1'de kullanılan veri tabanları, arama kombinasyonları ve ulaşılan sonuç sayıları sunulmuştur.

Tablo 1. Veri Tabanları ve Çalışma Sayısı

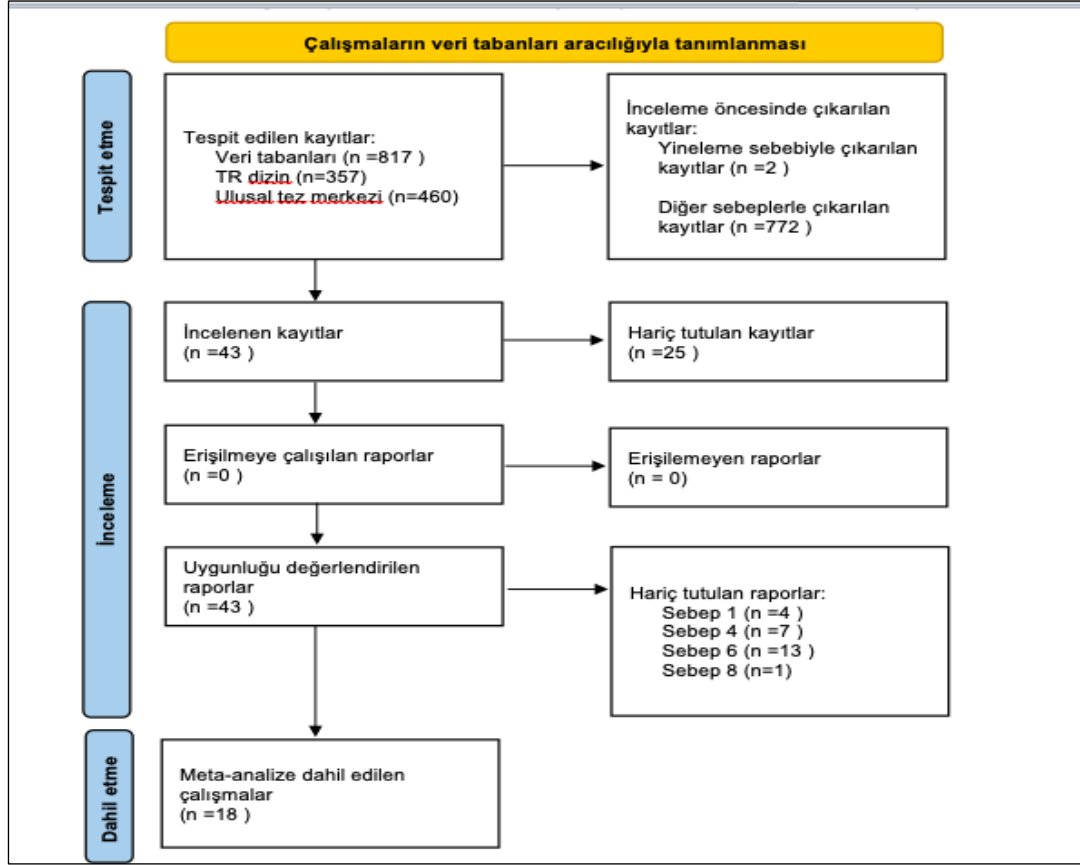
Veri tabanı	Bolean İşlemleri İle Kombinasyonlar	Sonuç sayısı	Tarih
TRdizin	(abstract : ("matematik" AND ("cebir" OR "örüntü" OR "denklemler" OR "değişken" OR "eşitlik" OR "eşitsizlik" OR "özdeşlik" OR "fonksiyon")))	357	04.12.2024
Ulusal tez merkezi	Title:(cebir OR denklemler OR değişken OR eşitlik OR eşitsizlik OR fonksiyon OR örüntü OR özdeşlik) AND (matematik)	460	04.12.2024
Dergipark	abstract: "cebir" OR abstract: "denklemler" AND abstract: "matematik eğitimi"	646	30.11.2024

Tablo 1' de görüldüğü gibi TRdizin veri tabanında 357, ulusal tez merkezi veri tabanından 460 ve dergipark veri tabanından ise 646 çalışmaya ulaşılmıştır. Arama sonucunda araştırmaya dahil edilen çalışmalar Tablo 2' de belirtilen ölçütlere göre belirlenmiştir.

Tablo 2. Çalışmaların Dahil Edilme Ölçütleri

Ölçütler	Açıklama
Çalışmanın yapıldığı yer	Türkiye'de yapılmış olması
Çalışmanın türü	İncelenen bildiri ve araştırma raporlarında etki büyüklüğünü hesaplamada kullanılan gerekli değerlerin bazılarının olmaması nedeniyle çalışmaların tez veya makale olması.
Çalışmanın yöntemi	Nicel çalışma olması
Çalışmanın deseni	Deney grubunda teknoloji destekli öğretim ve kontrol grubunda geleneksel öğretim yapılan deneysel desen olması.
Çalışmanın bağımlı değişkeni	Matematik başarısının incelenmesi
Çalışmanın içeriği	Cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretim
Çalışmanın örneklem grubu	Cebir öğrenme alanında ,teknoloji destekli öğretimin somutlaştırmak için kullanıldığı düşünüldüğünden örneklemin ilköğretim ve ortaöğretim öğrencilerinden oluşması
Çalışmanın betimsel istatistik bilgileri	Etki büyüklüğünün hesaplanabilmesi için gerekli değerlerin raporlanmış olması

Arama sonucunda ulaşılan toplam 1463 çalışma, Tablo 2'de belirtilen ölçütlere göre incelenmiş ve 18 çalışma araştırmaya dahil edilmiştir. İçlerinden birinde iki deney grubu bulunduğundan toplamda 19 etki büyüklüğü elde edilmiştir. Bu çalışmada moderatör değişken olarak ise çalışmanın yılı, uygulama süresi, okul düzeyi, çalışmayı uygulayan kişi, ölçeği geliştiren kişi ve cebir öğrenme alanının hangi alt konularında uygulamanın yapıldığı belirlenmiştir. Araştırmaya dahil edilen çalışmalar Microsoft Excel 2010' da hazırlanan kodlama formuna kaydedilmiştir. Bu çalışmada kullanılan kodlama formu çalışmanın kimliği (yazarın soy ismi, çalışmanın yılı, çalışmanın türü), ara değişkenler bölümü (eğitim kademesi, teknoloji türü, uygulama süresi, ölçme aracını geliştiren kişi ve cebir öğrenme alanı alt konuları) ve bulgular (ortalama, standart sapma, örneklem sayısı, istatistik bilgileri) bölümleri olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Araştırmaya dahil edilen birincil çalışmalar kaynakça bölümünde * ile işaretlenmiştir. Tüm bu sürecin şeffaf bir şekilde ilerlemesi için veriler Şekil 1'de Sistemik Derlemeler ve Meta-Analizler İçin Raporlama Kılavuzu (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses, PRISMA) akış şemasıyla gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmaların Edinim Sürecini Gösteren PRISMA Akış Şeması

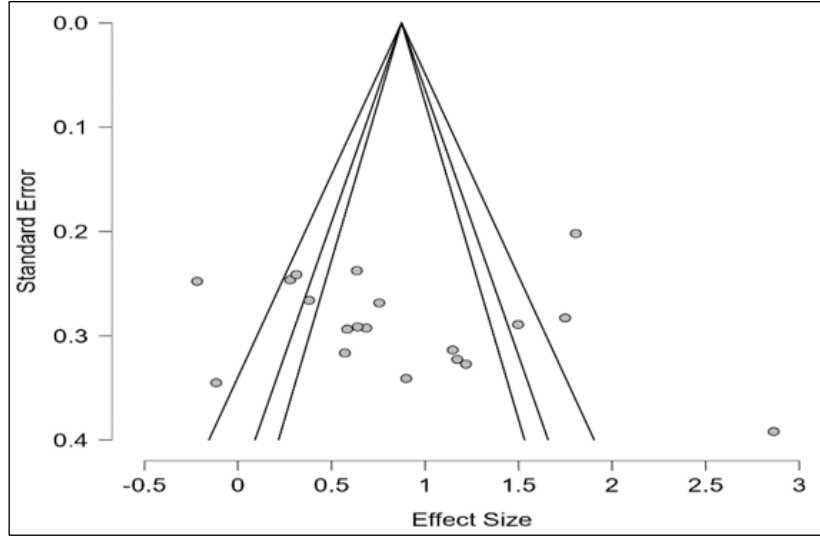
2.2. Veri Analizi

Araştırmaya dahil edilen 18 çalışma araştırmacı tarafından kodlama çizelgesine kodlanmıştır. Yaklaşık 2 hafta sonra araştırmacı 6 çalışmayı tekrar kodlamıştır. Her iki kodlama çizelgesinin % 90 uyumlu olduğu görülmüştür. Uyuşulamayan yerlerde araştırmacılar bir araya gelerek uzlaşma sağlamıştır. Örneğin teknoloji türünün net biçimde tanımlanmadığı çalışmalar, 'Diğer' kategorisi kapsamında sınıflandırılmıştır. "Analizler, JASP 0.19.2.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada etki büyüklüğü olarak Hedges' g kullanılmıştır. Hedges' g değerleri, çalışmaların sunduğu ortalama ve standart sapma değerlerinden hesaplanmıştır. Betimsel değerlerin verilmediği durumlarda, makalelerde raporlanan t ve F istatistikleri, p değerleri ve örneklem büyüklükleri kullanılarak dönüşüm yapılmıştır. Ortak etki büyüklüğü, rastgele etkiler modeli altında ağırlıklı ortalama yöntemiyle hesaplanmıştır. Ayrıca etki büyüklüğünün yanı sıra heterojenlik istatistikleri ve yayın yanlılığı rapor edilmiştir.

2.2.1. Yayın Yanlılığı

Yayın yanlılığı olup olmadığını belirlemek amacıyla Funnel Plot (Huni Grafiği) incelenmiştir. Araştırmaya dâhil edilen çalışmaların huni grafiği Şekil 2' de sunulmuştur.

Şekil 2' deki huni grafiği çalışmaların etki büyüklüklerinin genel etki büyüklüğü etrafındaki dağılımını göstermektedir. Huni grafiğinde de görüldüğü gibi çalışmaların etki büyüklüğü değerleri genel etki büyüklüğü değeri çevresinde hemen hemen simetrik bir dağılım göstermiştir. Bu durumda yayın yanlılığının olmadığını söyleyebiliriz. Olası yanlılık ihtimaline karşılık Egger Regresyon Testi Tablo 3'te incelenmiştir.



Şekil 2. Başarı İçin Huni Grafiği

Tablo 3. Egger Regresyon Testi

Etki Büyüklüğü Sayısı	Asimetri Testi		Etki Büyüklüğü	Güven Aralığı	
	z	p		Alt 95% CI	Üst 95% CI
19	1.354	0.176	-0.550	-2.636	1.536

Egger Doğrusal Regresyon Testi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı ($p = 0.176 > 0.05$) olmadığı görülmektedir. Bu durumda yayın yanlılığının olmadığını göstermektedir. Buna ilaveten Duval ve Tweedie (2000) tarafından geliştirilen Trim and Fill yöntemi kullanılarak yayım yanlılığının meta-analiz sonuçları üzerindeki potansiyel etkisi değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda L0, R0 ve Q0 estimatorlarının tamamında eksik çalışma sayısı 0 olarak belirlenmiştir. Bu durum, huni grafiğinde asimetri yaratan eksik çalışmaların bulunmadığını göstermektedir. Trim and Fill analizi sonrası düzeltilmiş etki büyüklüğü (0,933) orijinal etki büyüklüğü ile aynı kalmıştır. Fail-safe N değeri 130 olarak hesaplanmış olup, bu sonuç meta-analiz bulgularının 130 adet negatif sonuçlu çalışmanın eklenmesine karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir.

2.2.2. Heterojenlik Analizi

Heterojenlik önce Cochran Q testi ile doğrulanmıştır. Daha sonra heterojenliğin büyüklüğü (τ , τ^2 , I^2) ve olası sonuçları (PI) belirlenmiştir. Bu bağlamda heterojenlik durumuna göre hangi etki modelinin tercih edileceği belirlenmiştir. Son olarak da bireysel çalışmaların etkisi Influential Case Analizi ile değerlendirilmiştir. Çalışmaların heterojen olup olmadığını incelemek için Cochran Q Testi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Cochran Q Testi ile Heterojenlik Sonuçları

Q_e	df	p
110.386	18	<.001

Tablo 4'te $p < 0,001$ olduğu görülmektedir. Bu durum istatistiksel olarak anlamlı sıfırdan farklı bir heterojenlik değerinin olduğunu göstermektedir. Araştırmaya dahil edilen çalışmaların tahmin aralıkları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Meta-Analitik Heterojenlik ve Varyans Tahminleri

Etki Büyüklüğü	95% CI		95% PI		
	Alt	Üst	Alt	Üst	
τ	0.647	0.454	1.035	-0,538	2,288
τ^2	0.418	0.206	1.071		
I^2	84.138	72.293	93.141		

Note. 18 clusters with min/median/max 1/1/2 estimates.

Tablo 5 incelendiğinde tau değerinin 0,647 olduğu görülmektedir. Bu değer oldukça büyük bir değerdir. Bu durum tahmin aralığının geniş olmasına sebebiyet verir. Tahmin aralığı -0,538 ile 2,288 arasında değişmektedir. Yani eklenecek yeni çalışmaların %95 ihtimalle bu tahmin aralığında yer alacaktır. Tau-kare değeri 0,418 olup büyük bir değerdir. I² değeri 84,138 olup toplam varyansın büyük kısmının çalışmalar arası varyanstan kaynaklandığını göstermektedir. Sonuç olarak çalışmaların etki büyüklükleri heterojen bir dağılım göstermektedir. Çalışmalar heterojen bir dağılım gösterdiğinden dolayı analizler rastgele etkiler modeline göre yapılacaktır. Diğer yandan her bir çalışmanın heterojenliği nasıl etkilediği Tablo 6’ da sunulmuştur.

Tablo 6. Influential Case (Leave-One-Out) Analizi Sonuçları

Çalışma	Standartlaştırılmış Artık	Uyum Farkı	Cook Uzaklığı	Kovaryans oranı	Leave One Out			Kaldıraç Değeri	Ağırlık	Etkili Çalışma
					τ	τ^2	Q_c			
Çetin Ve Mirasyedioğlu (2019)	0.169	0.064	0.004	1.445	0.675	0.455	96.917	0.161	5.072	
Özbeş Ve Koparan (2020)	-0.533	-0.186	0.036	1.294	0.668	0.447	95.538	0.110	5.250	
Bilen(2016)	1.075	0.489	0.236	1.167	0.641	0.411	85.834	0.169	5.315	
Budiyar(2018)	-0.543	-0.187	0.037	1.287	0.668	0.446	95.807	0.108	5.110	
Canevi(2019)	3.139	1.325	1.186	0.300	0.505	0.255	69.020	0.147	4.637	Yes
Ceylan(2003)	-2.220	-0.989	0.772	0.619	0.567	0.321	74.718	0.175	5.519	
Işık(2023)	0.272	0.097	0.010	1.346	0.674	0.455	97.953	0.108	5.128	
Kelismail(2019)	-0.237	-0.141	0.021	1.634	0.676	0.457	97.464	0.263	5.527	
Mercan(2019)	0.717	0.400	0.165	1.440	0.663	0.439	95.944	0.236	4.958	
Okuducu(2020)	-0.827	-0.459	0.215	1.390	0.658	0.433	94.979	0.235	4.932	
Poçan(2019)	0.337	0.202	0.044	1.620	0.674	0.455	97.090	0.266	5.576	
Şimşek(2013)	-1.176	-0.542	0.286	1.130	0.644	0.415	91.852	0.176	5.555	
Temür(2022)	0.791	0.280	0.081	1.210	0.660	0.436	95.197	0.111	5.277	
Yazlık (2015)	1.359	0.506	0.241	0.972	0.626	0.392	79.366	0.121	5.764	
Zengin(2019)	-0.384	-0.134	0.019	1.330	0.672	0.452	96.567	0.111	5.257	
Zengin(2019)	-0.451	-0.158	0.026	1.315	0.671	0.450	96.108	0.111	5.264	
Koç(2022)	0.370	0.130	0.018	1.327	0.672	0.452	97.745	0.106	5.044	
Akçakın(2015)	-0.450	-0.214	0.048	1.412	0.673	0.453	97.975	0.171	5.400	
Öner(2009)	-0.852	-0.305	0.095	1.190	0.656	0.431	91.305	0.114	5.414	

Tablo 6’da analiz edilen çalışmaların etki büyüklüğü ve heterojenliğe etkileri değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda yalnızca Canevi (2009) çalışması potansiyel uç değer olarak belirlenmiştir. Ancak heterojenlik üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı için analizden çıkarılmamış, çalışmaya dahil edilmiştir.

3. Bulgular

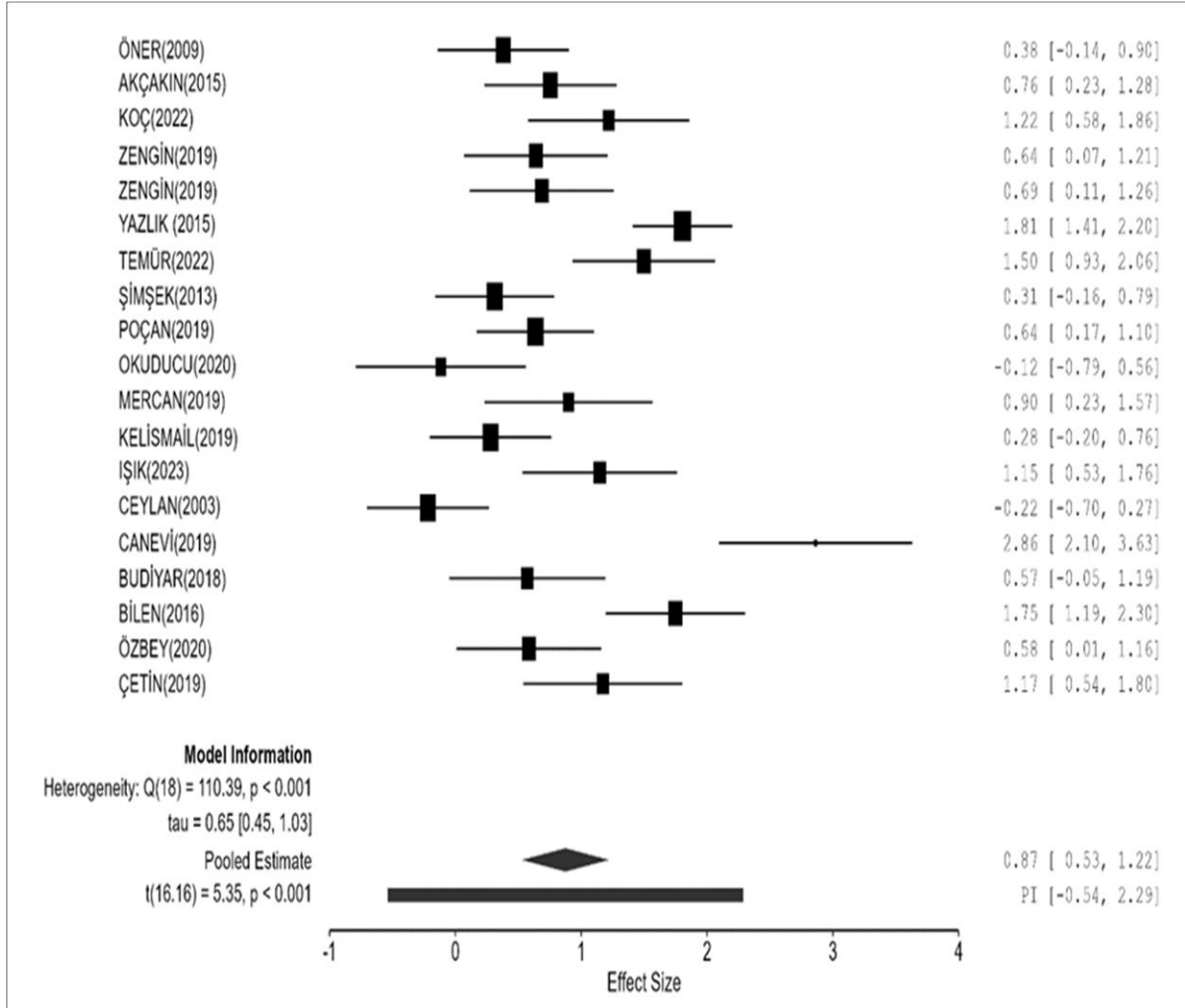
Teknoloji destekli öğretimin geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla öğrenci başarısı üzerindeki etkisinin ele alındığı bu çalışmada, bulgular çalışmaların genel (betimsel) özellikleri/genel etki büyüklüğü ve ara değişken (moderatör) analizi üzere iki aşamadan oluşmaktadır.

3.1. Çalışmaların Genel (Betimsel) Özellikleri ve Genel Etki Büyüklüğü

Tablo 7. Araştırmaya Dahil Edilen Çalışmaların Genel Özellikleri

Çalışma No	Yayın Adı	Çalışma Türü	Örneklem Grubu	Örneklem sayısı
1	Çetin ve Mirasyedioğlu (2019)	Makale	Lise	44
2	Özbeş ve Koparan (2020)	Makale	Ortaokul	47
3	Bilen(2016)	Doktora Tezi	Lise	68
4	Budiyar(2018)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	40
5	Canevi(2019)	Y. Lisans Tezi	Lise	52
6	Ceylan(2003)	Doktora Tezi	Lise	64
7	Işık(2023)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	46
8	Kelismail(2019)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	65
9	Mercan(2019)	Doktora Tezi	Ortaokul	38
10	Okuducu(2020)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	32
11	Poçan(2019)	Doktora Tezi	Ortaokul	73
12	Şimşek(2013)	Y. Lisans Tezi	Lise	68
13	Temür(2022)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	60
14	Yazlık (2015)	Doktora Tezi	Lise	137
15	Zengin(2019)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	72
16	Koç(2022)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	43
17	Akçakın(2015)	Doktora Tezi	Lise	58
18	Öner(2009)	Y. Lisans Tezi	Ortaokul	56

Tablo 7 incelendiğinde çalışmaların 2 tanesi makale türü, 6 tanesi doktora tezi ve 10 tanesi de yüksek lisans tezi olduğu görülmektedir. Örneklem grubunun eğitim kademesi lise ve ortaokuldan oluşmaktadır. Toplam örneklem büyüklüğü 1063 katılımcıdan oluşmaktadır. 18 çalışmadan elde edilen etki büyüklükleri orman grafiğiyle de incelenmiştir. Şekil 3’ te elde edilen bu etki büyüklükleri ve bu etki büyüklüklerinin güven aralıkları verilmiştir.



Şekil 3. Başarı İçin Orman grafiği

Etki büyüklüklerini temsil eden dörtgenlerin alanları çalışmalara atanan ağırlıklarla doğru orantılı olarak çizilmiştir. Dikdörtgeni büyük olan çalışmaya daha fazla, dikdörtgeni küçük olan çalışmaya daha az ağırlık verilmiştir. Ayrıca genel etki büyüklüğü (Hedges' $g = 0,875$), bu etki büyüklüğünün güven aralığı $[0,53, 1,22]$ ve tahmin aralığı $[-0,54, 2,29]$ olduğu görülmektedir. Orman grafiğinde çalışmaların heterojen olduğu görülmektedir. Analizler rastgele etkiler modeline göre hesaplanmıştır.

Araştırmaya dahil edilen 18 çalışmadan 19 etki büyüklüğü değeri elde edilmiştir. Bir çalışmada (Zengin, 2019) 2 deney grubu olduğu için bu çalışmadan 2 tane etki büyüklüğü değeri hesaplanmıştır. Çalışmadaki analizler JASP 0.19.2.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Ortak etki büyüklüğü için Hedges' g kullanılmıştır. Çalışmaların genel etki büyüğü Tablo 8' de verilmiştir.

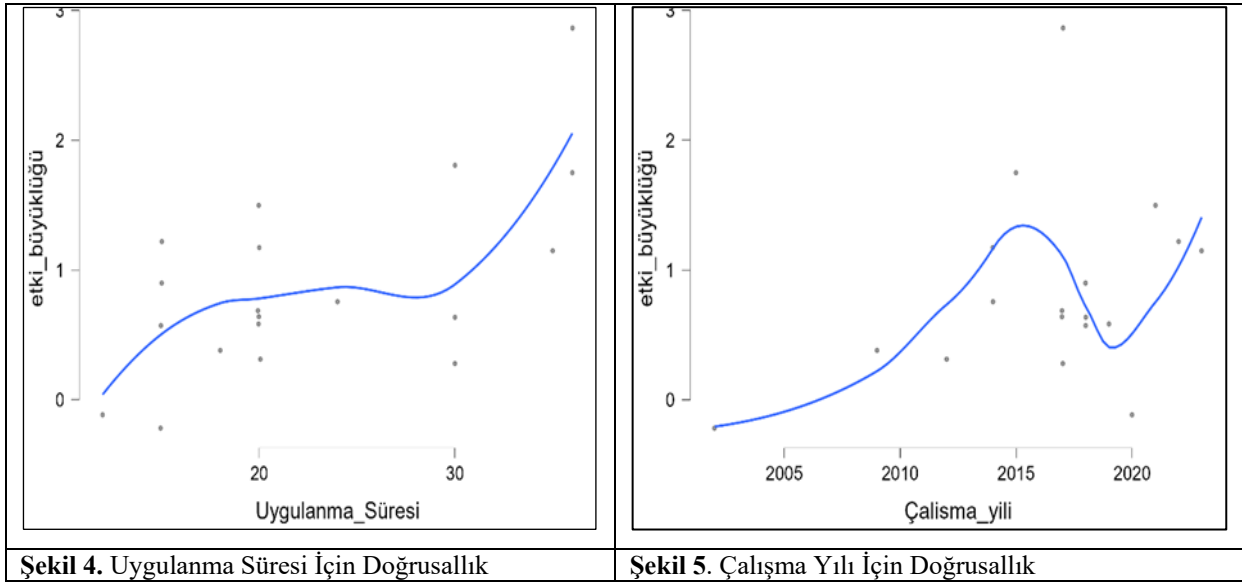
Tablo 8. Matematik Başarısı için Basit Meta- Regresyon Analizlerinin Sonuçları

Etki Büyüklüğü	Standart Hata	t	df	p	95% CI		95% PI	
					Alt	Üst	Alt	Üst
0,875	0,164	5,349	16,162	<,001	0,528	1,221	-0,538	2,288

Tablo 8’ de görüldüğü gibi genel etki büyüklüğü 0,875 olarak hesaplanmış ve bu değer büyük bir etki büyüklüğüne karşılık gelmektedir. $p < 0,001$ olduğu için genel etki büyüklüğü istatistiksel olarak anlamlıdır. Genel etki büyüklüğünün % 95 ihtimalle güven aralığı 0,528 ile 1,221 arasında değiştiği görülmektedir. Güven aralığının geniş olması çalışma sayılarının az olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, genel etki büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin geleneksel öğretim yöntemine kıyasla öğrencinin matematik başarısına pozitif olarak büyük derecede etki ettiği görülmektedir.

3.2. Ara Değişken (Moderatör) Analizi

Ara değişken analizi için öncelikle her bir ara değişken kullanılarak basit meta regresyon analizleri yapılmıştır. Tüm ara değişken analizleri için JASP 0.19.2.0 yazılımı kullanılmıştır. Analizlere başlamadan önce çalışmanın yılı ve uygulama süresi gibi sürekli değişkenler için doğrusallık sayıltısı kontrol edilmiştir. Sürekli değişkenler doğrusallık sayıltısının sağlanmadığı durumlarda kategorik değişkenler olarak yeniden kodlanmıştır. Uygulanma süresi kısa, orta ve uzun olmak üzere üç kategoriye ayrıldıktan sonra analizi yapılmıştır. 20 saate kadar olan çalışmalar kısa, 20 den 30 saate kadar olan çalışmalar orta, 30 ve üzeri saat olan çalışmalar uzun olarak yeniden kodlanmıştır. Çalışma yılı ara değişkeni ise düzensiz dağılım gösterdiğinden dolayı kategorik değişkene dönüştürülemediği için analizi yapılamamıştır. Şekil 4 uygulanma süresi için doğrusallık grafiğini Şekil 5 ise çalışma yılının doğrusallık grafiğini göstermektedir.



Şekil 4. Uygulanma Süresi İçin Doğrusallık

Şekil 5. Çalışma Yılı İçin Doğrusallık

Şekil 4 ve Şekil 5’ te görüldüğü gibi sürekli değişkenlerin doğrusallık sayıltısını sağlamadığı görülmektedir. Dolayısıyla uygulanma süresi kategorik değişkene çevrildikten sonra ara değişken analizi yapılmış, çalışma yılı kategorik değişkene dönüştürülemediği için analizi yapılamamıştır. Analizi yapılan ara değişkenlere ait bulgular Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9. Ara Değişkenlere Ait Betimsel ve İstatistik Bilgileri

Ara Değişkenler	Alt gruplar	Etki büyüklüğü	Etki büyüklüğü sayısı	p	F	Tau-Kare	R-Kare (R ²)
Eğitim kademesi	Lise	1,167	7	0,263	1,374	0,398	4,937
	Ortaokul	0,700	12				
Teknoloji türü	Matematiksel yazılımlar	1,005	7	0,851	0,263	0,497	0,000
	Sanal manipülatifler	0,920	3				
	Çevrimiçi-işbirlikçi araçlar	0,901	5				
	Diğer	0,579	4				
Ölçeği geliştiren	Araştırmacı	0,840	15	0,667	0,228	0,443	0,000
	Hazır	1,009	4				
Uygulayıcı	Araştırmacı	0,585	10	0,077	3,691	0,349	21,332
	Öğretmen	1,260	8				

Tablo 9'un devamı

Uygulama süresi	Kısa	0,443	6	0,163	2,193	0,322	23,054
	Orta	0,800	7				
	Uzun	1,368	6				
Alt öğrenme alanı	Cebirsel İfadeler	0,427	4	0,220	1,855	0,423	0,000
	Denklemler	0,955	9				
	Fonksiyonlar	1,052	6				

Tablo 9' da ara değişken analizleri incelendiğinde, Eğitim kademesi ara değişkenine göre lise için etki büyüklüğü (1,167) olup büyük etki büyüklüğünün olduğu görülmektedir. Ortaokul için etki büyüklüğü 0,700 olup orta büyüklükte etki büyüklüğüne karşılık gelmektedir. Her iki eğitim kademesinde teknoloji destekli öğretimin geleneksel yöntemle kıyasla etkili bir yöntem olduğu söylenebilir. Eğitim kademesi ara değişkeni istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen varyansın yaklaşık % 5' ini açıklamaktadır ($p=0,263>0,05$). Tau kare değeri büyük olduğu için heterojen bir dağılım mevcuttur. Diğer yandan teknoloji türü ara değişkenine göre, matematiksel yazılımlar (1,005), sanal manipülatifler (0,920), çevrim içi işbirlikçi araçlar (0,901) için etki büyüklüklerinin büyük olduğu görülmektedir. Teknoloji türü ara değişkeni istatistiksel olarak anlamlı değildir ve varyansı açıklayamamaktadır ($p=0,851>0,05$; $R^2=0,000$). Ancak ölçeği geliştiren ara değişkenine göre araştırmacı tarafından geliştirilen ölçeklerin uygulandığı çalışmaların ortalama etki büyüklüğü 0,840; hazır ölçeklerin uygulandığı çalışmaların ortalama etki büyüklüğü 1,009 olup her iki alt grup büyük etki büyüklüğüne karşılık gelmiştir. Ölçeği geliştiren ara değişkeni istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p=0,667>0,05$). Ayrıca herhangi bir varyans açıklayamamaktadır ($p=0,667>0,05$; $R^2=0,000$). Ayrıca uygulayıcı ara değişkenine göre araştırmacı tarafından yürütülen çalışmaların ortalama etki büyüklüğü değeri (0,585), öğretmen tarafından yürütülen çalışmaların ortalama etki büyüklüğü değeri (1,260) olup araştırmacı ve öğretmen alt grupları arasında büyük fark olduğu söylenebilir. Uygulayıcı ara değişkeni istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen varyansın %21' ini açıklamaktadır ($p=0,077>0,05$). Örneklem büyüklüğünün az olması istatistiksel olarak anlamlı çıkmamasına sebebiyet verebilir. Tau kare değerine göre heterojen dağılım mevcuttur. Uygulayıcının önemli bir ara değişken olabileceği söylenebilir. Uygulama süresi ara değişkenine göre ise kısa zamanlı uygulamaların ortalama etki büyüklüğü (0,443), orta zamanlı uygulamaların ortalama etki büyüklüğü (0,800), uzun zamanlı uygulamaların ortalama etki büyüklüğü (1,368) olduğu görülmektedir. Uygulama süresi arttıkça yöntemin daha etkili olduğu söylenebilir. İstatistiksel olarak anlamlı çıkmamasına rağmen varyansın %23 ünü açıklamaktadır ($p=0,163>0,05$). Bu durum örneklem büyüklüğünün küçük olmasından kaynaklanabilir. Uygulama süresinin başarı açısından önemli bir ara değişken olduğu söylenebilir. Tau kare değeri incelendiğinde uygulama süresi ara değişkeni heterojen dağılım göstermektedir. Ancak cebir alt öğrenme alanı ara değişkenine göre cebirsel ifadeler konusunda ortalama etki büyüklüğü (0,427), denklemler konusunda ortalama etki büyüklüğü değeri (0,955), fonksiyonlar konusunda ortalama etki büyüklüğü (1,052) olduğu görülmektedir. Cebir alt öğrenme alanlarında yöntemin farklı derecelerde etki ettiği söylenebilir. Alt öğrenme alanı ara değişkeni istatistiksel olarak anlamlı değildir ve varyansı açıklayamamaktadır ($p=0,220>0,05$; $R^2=0,000$).

4. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Bu meta-analiz çalışmasında, cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla öğrencilerin matematik başarıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçları, teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin matematik başarıları üzerinde büyük bir pozitif etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur (Hedges' $g = 0,875$). Bu bulgu, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında geleneksel yöntemlere göre daha etkili bir öğretim yaklaşımı olduğunu göstermektedir. Cohen'in (1988) etki büyüklüğü sınıflandırmasına göre, elde edilen değer "büyük etki" kategorisinde yer almaktadır. Araştırma bulguları, alanyazındaki diğer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Araştırma bulguları, alanyazındaki diğer çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Örneğin, Deniz (2019) tarafından gerçekleştirilen meta-analiz çalışmasında teknoloji destekli öğretimin matematik başarıları üzerindeki genel etki büyüklüğü 0,758 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, Kaya ve Öçal (2018) tarafından yapılan ve GeoGebra uygulamalarının matematik başarılarına etkisini inceleyen meta-analiz çalışmasında genel etki büyüklüğü 0,899 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, He ve arkadaşları (2025) tarafından yapılan ve dinamik geometrik yazılımlar üzerine odaklanan meta-analiz çalışmasında, bu tür yazılımların K-12 düzeyindeki öğrencilerin matematik öğrenmeleri üzerinde büyük etki büyüklüğüne ($g = 0,820$) sahip olduğu belirlenmiştir. Güler ve arkadaşları (2022) ise, mobil öğrenme uygulamalarının öğrencilerin matematik başarıları üzerinde orta düzeyde pozitif bir etkiye sahip olduğunu ve etki büyüklüğünün $g = 0,476$ olduğunu rapor etmiştir.

Araştırma kapsamında incelenen çalışmaların ara değişken analizleri, etki büyüklüklerinin farklı moderatör değişkenlere göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Örneğin eğitim kademesi ara değişkenine göre, lise düzeyindeki uygulamalarda büyük etki büyüklüğü (1,167) gözlenirken, ortaokul düzeyindeki uygulamalarda orta etki büyüklüğü (0,700) tespit edilmiştir. Bu bulgu, her iki eğitim kademesinde de teknoloji destekli öğretimin

geleneksel yöntemlere kıyasla etkili olduğunu, ancak lise düzeyinde daha yüksek etki değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Deniz'in (2019) çalışmasında en yüksek etki düzeyinin üniversite seviyesinde (0,858) bulunmasıyla paralellik göstermektedir. Bu durum, eğitim kademesi yükseldikçe teknoloji destekli öğretimin etkililiğinin arttığını düşündürmektedir.

Teknoloji destekli öğretimin uygulama süresi, ara değişken olarak incelendiğinde, kısa zamanlı uygulamaların ortalama etki büyüklüğü 0,443 (orta düzey), orta zamanlı uygulamaların ortalama etki büyüklüğü 0,800 (büyük düzey) ve uzun zamanlı uygulamaların ortalama etki büyüklüğü 1,368 (çok büyük düzey) olarak belirlenmiştir. Araştırmanın bu bulgusu, alanyazındaki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Örneğin, Wang ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan bir meta-analiz çalışmasında, dijital oyun tabanlı STEM eğitiminin öğrenme başarısı üzerindeki etkisi incelenmiş ve uygulama süresinin, öğrenme çıktıları üzerinde önemli bir moderatör değişken olduğu bulunmuştur. Çalışmada, uzun süreli uygulamaların, öğrenci başarısını daha fazla artırdığı belirtilmiştir. Bu bağlamda uygulama süresinin öğrenci başarısı üzerinde kritik bir moderatör değişken olduğuna işaret etmektedir. Uygulama süresi arttıkça, teknoloji destekli öğretimin etkililiği de artmaktadır. Bu durumun olası nedenleri arasında, uzun süreli uygulamalarda öğrencilerin teknolojik araçlara daha fazla alışma fırsatı bulmaları, teknoloji entegrasyonunun daha derinlemesine gerçekleştirilmesi ve öğrencilerin teknoloji kullanımı konusunda daha özgüvenli olmalarının etkili olduğu düşünülebilir. Bu çalışmada ayrıca, cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimde, uygulayıcının rolünün (öğretmen veya araştırmacı) öğrenci başarısını etkilediği belirlenmiştir. Öğretmen tarafından yürütülen çalışmalarda daha yüksek etki büyüklüğü elde edilmiştir. Bu bulgu, teknoloji destekli öğretimin etkililiğinde öğretmenlerin rolünün kritik olduğunu vurgulamaktadır. Nitekim Zeng ve arkadaşları (2022) tarafından gerçekleştirilen bir meta-analiz çalışması, öğretmenlerin bilgi ve becerilerinin, teknoloji destekli öğretimin başarısında önemli bir belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Diğer yandan öğretmenlerin sınıf dinamiklerini daha iyi bilmeleri, öğrencilerle daha güçlü ilişkiler kurabilmeleri ve pedagojik alan bilgilerinin daha yüksek olması, teknoloji destekli öğretimin uygulanmasında avantaj sağlayabilir.

Cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimde kullanılan teknoloji türü ara değişkeni incelendiğinde, sanal manipülatiflerle ilgili çalışma sayısı az olmasına rağmen etki büyüklüğünün büyük olması dikkat çekmektedir. Moyer-Packenham ve Westenskow (2013) tarafından gerçekleştirilen bir meta-analiz çalışmasında da, sanal manipülatiflerin öğrenci başarısı üzerindeki etkilerini incelendiği çalışmada, sanal manipülatiflerin öğrenci başarısı üzerinde orta düzeyde bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin ele alındığı bu çalışmada sanal manipülatiflere yönelik etki büyüklüğünün büyük çıkması, sanal manipülatiflerin özellikleri ile açıklanabilir. Örneğin sanal manipülatifler, matematiği öğrenme sürecinde farklı öğrenme hızına ve tarzına sahip öğrencilere göre özelleştirilebilir (Shin vd., 2017). Bu durum, özellikle cebirsel ifadeler üzerinde yapılan işlemlerde öğrencinin hata yapmasına ve bu hataları keşfederek düzeltilmesine olanak tanıyabilir. Öğrenci, cebirsel bir yapıyı dijital ortamda doğrudan manipüle ederek yeniden yapılandırabilir. Böylelikle ortaya çıkan etkileşimli öğrenme süreci, kavramsal anlayışın derinleşmesine ve öğrenmenin içselleştirilmesine katkı sağlayacağını düşündürmektedir.

Cebirin alt öğrenme alanları açısından incelendiğinde, cebirsel ifadeler konusunda ortalama etki büyüklüğü 0,427 (orta düzey), denklemler konusunda ortalama etki büyüklüğü 0,955 (büyük düzey) ve fonksiyonlar konusunda ortalama etki büyüklüğü 1,052 (büyük düzey) olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, teknoloji destekli öğretimin etkililiğinin cebirin alt öğrenme alanlarına göre farklılaştığını göstermektedir. Fonksiyonlar konusunda teknoloji destekli öğretimin daha büyük etkiye sahip olmasının muhtemel nedenleri arasında, bu kavramların doğası gereği dinamik ve çoklu temsillere uygun olması yer almaktadır (Akkoç, 2006). Teknolojik araçlar sayesinde öğrencilerin fonksiyonları grafikler, tablolar ve cebirsel ifadeler aracılığıyla eşzamanlı olarak inceleyebilmeleri ve böylece soyut yapıların daha somut hale gelebilmesi mümkün olmaktadır.

Bu çalışma, cebir öğretiminde teknoloji destekli öğretimin etkililiğine dair literatürdeki bulguları sistematik biçimde sentezlemiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, teknoloji destekli öğretimin cebir başarısını etkilediği görülmektedir. Teknolojik araçlar, yapılandırmacı öğrenme teorisi perspektifinden değerlendirildiğinde, öğrencilerin matematiksel kavramları keşfetmelerine, bağlantılar kurmalarına ve anlamlar inşa etmelerine olanak tanımaktadır. Dinamik matematik yazılımları, öğrencilerin matematiksel nesnelere manipüle etmelerine, tahminlerde bulunmalarına ve sonuçları test etmelerine imkan vermektedir. Özellikle mobil öğrenme uygulamaları, öğrencilerin matematik öğrenmelerini destekleyebilecek esnek ve erişilebilir araçlar sunmaktadır (Güler ve ark., 2022). COVID-19 sonrası dönemde yaygınlaşan dinamik matematik yazılımları, K-12 düzeyindeki öğrencilerin matematik öğrenmelerini güçlendirmekte, özellikle soyut matematiksel kavramların görselleştirilmesinde önemli rol oynamaktadır (He ve ark., 2025). Ayrıca bu araştırma uygulamaya yönelik önemli sonuçlar sunmaktadır. Uygulama açısından, bu araştırmanın sonuçları, matematik öğretmenlerinin sınıflarında teknoloji kullanımını artırmaları gerektiğini göstermektedir. Diğer yandan bu araştırma, teknoloji destekli öğretimin cebir öğretiminde öğrencilerin başarısı üzerindeki genel etkisini belirlemenin ötesine geçerek, eğitim kademesi, teknoloji türü, uygulama süresi, ölçme aracının kaynağı ve alt öğrenme alanı gibi moderatör değişkenlerin bu etkiyi nasıl farklılaştırdığını ortaya koymaktadır. Moderatör değişkenler üzerinden elde edilen

bulgular, farklı eğitim kademelerinde ve teknoloji türlerinde etki düzeylerinin değişebildiğini ortaya koyarak uygulayıcılara bağlamsal olarak daha uygun yöntem ve araçların seçimine ilişkin yol gösterici olduğu düşünülmektedir. Eğitim politikası açısından, bu araştırmanın sonuçları, cebir öğretiminde okullardaki teknolojik altyapının güçlendirilmesi, öğretmenlerin teknoloji kullanımı konusunda eğitilmesi ve teknoloji destekli matematik öğretimi için uygun müfredat materyallerinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Son olarak bu meta analiz çalışmasına sadece Türkiye’de yapılmış çalışmalar dahil edilmiştir. Başka ülkelerde yapılan diğer çalışmalar da ele alınabilir. Dolayısıyla örneklem sayısı artırılıp heterojenlik düzeyi azaltılabilir genelleme açısından daha doğru sonuçlar alınabilir. Ayrıca yapılacak çalışmalar lisans düzeyindeki çalışmaları dahil ederek lisans seviyesinde teknoloji destekli öğretimin başarı üzerindeki etkileri gözlemlenebilir. Buna ilaveten teknoloji destekli öğretim yöntemlerinin etkisinin daha olumlu sonuçlar vermesi için daha uzun süreli uygulamalar planlanabilir.

Açıklama: Bu çalışma, Rabia Kılıç ın tezinin verilerinin bir kısmından üretilmiştir.

Etik Beyanname: Bu çalışma, yalnızca yayınlanmış literatürdeki verileri analiz ettiği için etik onay gerektirmez.

Finansman: Bu çalışma için herhangi bir fon bildirilmemiştir.

Çıkar beyanı: Yazar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Kaynaklar / References

Not. *: Meta-analize dahil edilen çalışmaları belirtmektedir.

- *Akçakm, V. (2015). *Dinamik matematik ortamında geometrik fonksiyon yaklaşımı kullanımının 9. sınıf öğrencilerinin fonksiyonlar konusundaki akademik başarılarına ve matematik öğrenmeye yönelik motivasyonlarına etkisi* (Unpublished Doctoral Thesis). Gazi University, Ankara.
- Akkan, Y., Öztürk, M., Akkan, P., & Küçük Demir, B. (2019). Ortaokul matematik öğretmenlerinin aritmetik ve cebir problemleri hakkındaki inanışları. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21(1), 156–176. <https://doi.org/10.17556/erziefd.431583>
- Akkaya, R., & Durmuş, S. (2006). İlköğretim 6–8. sınıf öğrencilerinin cebir öğrenme alanındaki kavram yanılgıları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 31(31), 1–12.
- Akkoç, H. (2006). Fonksiyon kavramının çoklu temsillerinin karşılaştırdığı kavram görüntüleri. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 30, 1-10.
- Anohina, A. (2005). Analysis of the terminology used in the field of virtual learning. *Educational Technology & Society*, 8(3), 91–102.
- Borrowski, T. (2019). The Battelle for Kids P21 Frame-work for 21st Century Learning. *In P21 Partner-ship for 21st Century Learning*. University of Illinois at Chicago.
- * Bilen, Ö. (2016). *E-çalışma yapılarının ortaöğretim (lise) matematik öğrencileri üzerindeki bilişsel ve duyuşsal etkilerinin incelenmesi* (Unpublished Master’s Thesis). Atatürk University, Erzurum.
- * Budiyar, S. (2018). *Fatih Projesi kapsamındaki Z-kitap uygulamasının 7. sınıf öğrencilerinin matematik dersine yönelik tutum, motivasyon ve başarısına etkisi* (Unpublished Master’s Thesis). Afyon Kocatepe University, Afyon.
- * Canevi, K. (2019). *Geogebra destekli öğretimin 10. sınıf matematik dersine ait bazı konularda öğrencilerin başarı ve tutumlarına etkisi* (Unpublished Master’s Thesis). Karamanoğlu Mehmetbey University, Karaman.
- * Ceylan, A. E. (2003). *Matematik eğitimine uygun bir öğretim yazılımı ve prototipi geliştirilmesi, çalışma yapıları ile uygulanması* (Unpublished Doctoral Thesis). , Dokuz Eylül University, İzmir.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Academic Press.
- *Çetin, Y., & Mirasyedioğlu, Ş. (2019). Teknoloji destekli probleme dayalı öğretim uygulamalarının matematik başarısına etkisi. *Journal of Computer and Education Research*, 7(13), 13–34.
- Dede, Y., & Argün, Z. (2003). Cebir, öğrencilere niçin zor gelmektedir? *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24, 42–49.
- Demir, M., Kaya, M., Çelik, A., & Filiz, T. (2024). The effect of technology-based mathematics teaching on mathematics performance: A second-order meta-analysis. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 14(2), 260–285.
- Deniz, S. (2019). *Teknoloji destekli öğretimin matematik ve geometri alanlarında başarı ve tutuma etkisi üzerine bir meta analiz çalışması* (Unpublished Master’s Thesis). Van Yüzüncü Yıl University, Van.
- Dikmen, M., & Tuncer, M. (2018). Bilgisayar destekli eğitimin öğrencilerin akademik başarıları üzerindeki etkisinin meta-analizi: Son 10 yılda yapılan çalışmaların incelenmesi. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 9(1), 97–121.
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: a simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), 455-463.

- Erbaş, A. K., Çetinkaya, B., & Ersoy, Y. (2009). Öğrencilerin basit doğrusal denklemlerin çözümünde karşılaştıkları güçlükler ve kavram yanlışları. *Eğitim ve Bilim*, 34(152), 132–144. <https://egitimvebilim.ted.org.tr/index.php/EB/article/view/7>
- Ersoy, Y. (2005). Matematik eğitimini yenileme yönünde ileri hareketler-I: Teknoloji destekli matematik öğretimi. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 4(2), 51-63.
- Güler, M., Bütüner, S. Ö., Danışman, Ş., & Gürsoy, K. (2022). A meta-analysis of the impact of mobile learning on mathematics achievement. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1725–1745.
- He, A., Yuan, W., & Kiliçman, A. (2025). A meta-analysis on the effectiveness of dynamic mathematics software on K-12 students' mathematics learning. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 56(9), 1832-1855. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2375257>
- Hohenwarter, J., Hohenwarter, M., Kreis, Y., & Lavicza, Z. (2008). Teaching and learning calculus with free dynamic mathematics software GeoGebra. *11th International Congress on Mathematical Education*, 6–13 Temmuz, Mexico.
- *Işık, M. (2023). *7. sınıf öğrencilerinin Web 2.0 destekli matematik öğretimi yoluyla problem çözme becerilerinin ve tutumlarının incelenmesi* (Unpublished Master's Thesis). Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir.
- İdil, F. H., & Narlı, S. (2021). Ortaokul matematik öğretmen adaylarının cebir öğrenme alanına ilişkin alan ve pedagojik alan bilgilerinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi* (52), 359–391. <https://doi.org/10.53444/deubefd.905609>
- İşman, A., Baytekin, Ç., Balkan, F., Horzum, B. & Kıyıcı, M. (2002). Fen bilgisi eğitimi ve yapısalcı yaklaşım. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 1(1), 41-47.
- İlhan, A., Poçan, S., Tutak, T., & Kırmızıgül, H. G. (2022). Ortaokul öğrencilerinin bakış açısından cebir öğrenme alanı. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 13(2), 1123–1143. <https://doi.org/10.51460/baebd.1069997>
- Kamii, C., & Ewing, J. K. (1996). Basing teaching on Piaget's constructivism. *Childhood education*, 72(5), 260-264.
- Kaya, D., & Keşan, C. (2022,a). Türkiye’de cebir öğrenme alanında yapılmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik profili (2011–2021). *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 13(1), 400–421. <https://doi.org/10.51460/baebd.1093156>
- Kaya, D., & Keşan, C. (2022,b). Cebirsel ifadelerin öğretiminde Eğitim Bilişim Ağı (EBA) içeriklerinin öğrencilerin başarılarına ve derse katılımlarına etkisi. *EJERCongress 2022 Tam Metin Bildiri Kitabı*, 281–295.
- Kaya, A., & Öçal, M. F. (2018). Geogebra’nın öğrencilerin matematikteki akademik başarılarına etkisi üzerine bir meta-analiz. *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science and Mathematics Education*, 12(2), 31–59. <https://doi.org/10.17522/balikesirnef.505918>
- * Kelismail, E. (2019). *Eğitim Bilişim Ağı (EBA) destekli öğretimin 6. sınıf öğrencilerinin cebirsel ifadeler alt öğrenme alanında matematik başarılarına ve tutumlarına etkisi* (Unpublished Master's Thesis). Gazi University, Ankara.
- * Koç, K. (2022). *Teknoloji destekli 5e modeli uygulamasının eşitlik ve denklem konusunda akademik başarıya etkisi* (Unpublished Master's Thesis). Hacettepe University, Ankara.
- Lacampagne, C. B. (1995). *The Algebra Initiative Colloquium. Volume 2: Working Group Papers*. US Government Printing Office, Superintendent of Documents, Mail Stop: SSOP, Washington, DC 20402-9328.
- Lipsey, M. W., & Wilson, D. B. (2001). The way in which intervention studies have “personality” and why it is important to meta-analysis. *Evaluation & the health professions*, 24(3), 236-254.
- Matthews, P. G., & Fuchs, L. S. (2018). Keys to the gate? Equal sign knowledge at second grade predicts fourth-grade algebra competence. *Child Development*, 91(1), 14-28. <https://doi.org/10.1111/cdev.13144>
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- * Mercan, M. (2019). *6. sınıf matematik dersine ait ‘tam sayılar ve cebirsel ifadeler’ konularının scratch destekli öğretiminin akademik başarı, motivasyon ve bilgilerin kalıcılığına etkisi* (Unpublished Doctoral Thesis). Gazi University, Ankara.
- Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2013). Ortaokul matematik dersi öğretim programı. TTKB. Ankara: MEB Basımevi.
- Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2018). Ortaokul matematik dersi öğretim programı. TTKB. Ankara: MEB Basımevi.
- Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2024) Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Matematik Dersi Öğretim Programı (İlkokul ortaokul ve lise). Ankara: MEB Yayinevi.
- Moyer-Packenham, P. S., & Westenskow, A. (2013). Effects of virtual manipulatives on student achievement and mathematics learning. *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments*, 4(3), 35–50. <https://doi.org/10.4018/jvple.2013070103>
- National Council of Teachers of Mathematics [NCTM]. (2000). *Principles and standards for school mathematics: An overview*. Reston: NCTM.

- * Okuducu, A. (2020). *Scratch destekli matematik öğretiminin 6. sınıf öğrencilerinin cebirsel ifadeler konusundaki akademik başarılarına ve tutumlarına etkisi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- * Öner, A. T. (2009). *İlköğretim 7. sınıf cebir öğretiminde teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin erişim düzeyine, tutumlarına ve kalıcılığa etkisi* (Unpublished Master's Thesis). Dokuz Eylül University, İzmir.
- Özey, K. (2019). *Cebir öğrenme alanında yapılan lisansüstü tezlerin incelenmesi: 2010-2018 yılları arası Türkiye örneği* (Unpublished Master's Thesis). Bursa Uludağ University, Bursa.
- * Özbey, A., & Koparan, T. (2020). Eşitlik ve denklem konusunda eğitim bilişim ağı (EBA) destekli öğretimin ortaokul öğrencilerinin başarı, tutum ve motivasyonlarına etkisi. *Journal of Computer and Education Research*, 8(16), 453-475.
- * Poçan, S. (2019). *Mobil teknoloji destekli dikişsiz öğrenme ortamlarının 7. sınıf cebir ünitesinde öğrenci başarı ve motivasyonuna etkisi ile sürece ilişkin öğrenci ve veli görüşleri* (Unpublished Doctoral Thesis). İnönü University, Malatya.
- Sfard, A. (1995). *The development of algebra: Confronting historical and psychological perspectives*. *Journal of mathematical behavior*, 14(1), 15-39.
- Shin, M., Bryant, D. P., Bryant, B. R., McKenna, J. W., Hou, F., & Ok, M. W. (2017). Virtual manipulatives: Tools for teaching mathematics to students with learning disabilities. *Intervention in School and Clinic*, 52(3), 148-153.
- Smith, M. L., & Glass, G. V. (1977). Meta-analysis of psychotherapy outcome studies. *American psychologist*, 32(9), 752.
- Susac, A., Bubic, A., Vrbanc, A., & Planinic, M. (2014). Development of abstract mathematical reasoning: the case of algebra. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 679. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00679>
- * Şimşek, A. (2013). *9. sınıf matematik dersi fonksiyon kavramının öğretiminde bilgisayar cebiri sistemlerinin etkisinin incelenmesi* (Unpublished Master's Thesis). Gazi University, Ankara.
- Şimşek, Ç. M., & Turanlı, N. (2023). Türkiye’de lineer cebir eğitimi üzerine yapılmış çalışmaların değerlendirilmesi: Bir meta-sentez araştırması. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(2), 280–299. <https://doi.org/10.52826/mcbuefd.1353917>
- * Temür, T., (2022). *Sanal manipülatif kullanımının 7. sınıf cebirsel ifadeler ve denklem konusuna yönelik kavram yanlışlarını gidermede rolü* (Unpublished Master's Thesis). Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat.
- Türkoğlu, D., & Cihangir, A. (2017). Cebirsel düşünme becerisi üzerine bir meta-sentez çalışması. *Eğitim Bilim Ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 25-39.
- Usiskin, Z. (1997). Doing Algebra in grades K-4. *Teaching Children Mathematics*, 3(6), 346-356. <https://doi.org/10.5951/TCM.3.6.0346>
- Wang, L. H., Chen, B., Hwang, G. J., Guan, J. Q., & Wang, Y. Q. (2022). Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0>
- * Yazlık, D. Ö. (2015). *Problem çözme basamaklarına dayalı bireyselleştirilmiş web tabanlı matematik öğrenme ortamının tasarlanması, uygulanması, değerlendirilmesi ve öğrenci başarısına etkisi* (Unpublished Doctoral Thesis). Selçuk University, Konya.
- Yenilmez, K., & Avcu, T. (2009). *Altıncı sınıf öğrencilerinin cebir öğrenme alanındaki başarı düzeyleri*. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10(2), 37-45.
- Young, J. (2017). Technology-enhanced mathematics instruction: A second-order meta-analysis of 30 years of research. *Educational Research Review*, 22, 19-33.
- Zeng, Y., Wang, Y., & Li, S. (2022). The relationship between teachers' information technology integration self-efficacy and TPACK: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1091017>
- * Zengin, D. (2019). *Bilgisayar destekli öğretim yazılımlarının eşitlik ve denklem konusunun öğretiminde akademik başarıya etkisi* (Unpublished Master's Thesis). Atatürk Univeristy, Erzurum.