

Dijital Çağda STEM Öğretmen Yeterlikleri

Şengül ŞEBER

Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi, Aksaray Üniversitesi,

STEM Eğitimi Anabilim Dalı

<https://orcid.org/0009-0000-2869-1104>

Dr. Öğr. Üyesi Esra SİPAHİ DÖNGÜL

Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sosyal Hizmet Bölümü, Türkiye,

<https://orcid.org/0000-0002-6495-4378>

Özet

Dijital dönüşüm STEM becerilerine olan talebi artırırken, STEM öğretmenlerinden teknik becerilerin ötesinde pedagojik, disiplinlerarası ve etik boyutları kapsayan yeterlikler beklenmektedir. Bu çalışma, dijital çağda STEM öğretmen yeterliklerini TPACK, DPACK, DigCompEdu ve Öğretmen Dijital Yeterliği (TDC) çerçeveleri ile Türkiye’de IPA III Projesi kapsamında geliştirilen dijital öğretmen yeterlikleri ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ışığında kavramsal olarak incelemekte ve bu çerçeveyi TALIS 2024 verileriyle Türkiye bağlamında sınamaktadır. Ampirik bölümde TALIS 2024 kamuya açık öğretmen verileri (Türkiye: ortaokul n = 4.932, lise n = 4.976; uluslararası karşılaştırma: 55 eğitim sistemi) ağırlıklı betimsel istatistiklerle analiz edilmiş; hedef sınıfında matematik, fen veya teknoloji dersi okutan öğretmenler STEM öğretmeni olarak sınıflandırılmıştır. Bulgular, ortaokul STEM öğretmenlerinin dijital öz-yeterliğinin yüksek olduğunu (görevlerin çoğunda %76–85) ve diğer branşlardan küçük farklarla ayrıştığını; ancak dijital araçların sınıfta ağırlıklı olarak bilgi sunumu amacıyla kullanıldığını (%77,8), dijital geri bildirim, iş birliği ve problem çözmeye yönelik derin pedagojik kullanımların ise %32–58 aralığında kaldığını göstermektedir. STEM öğretmenleri türdeş bir grup değildir: teknoloji öğretmenleri bütün göstergelerde önde, matematik öğretmenleri ise geride yer almaktadır. Türkiye’de ortaokul öğretmenlerinin yapay zekâ kullanımı (%23,8) TALIS ortalamasının (%41,7) altındadır; yapay zekâ konusunda yüksek mesleki gelişim ihtiyacı (%70,9) ile düşük katılım (%33,1) bir arada bulunmakta, kullanmama nedenlerinin başında bilgi-beceri (%72,3) ve altyapı (%71,1) eksikliği gelmektedir. Sonuçlar, politika önceliğinin dijital altyapıdan pedagojik tasarım yeterliklerine kaydırılması ve yapay zekâyı etik boyutuyla birlikte ele alan, branşa duyarlı mesleki gelişim programlarının tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: STEM eğitimi, dijital yeterlik, öğretmen yeterlikleri, TALIS 2024, yapay zekâ

STEM Teacher Competencies in the Digital Age**Şengül ŞEBER**

Master's Student with Thesis, Aksaray University,

Department of STEM Education

<https://orcid.org/0009-0000-2869-1104>**Assist. Prof. Dr. Esra SİPAHİ DÖNGÜL**

Aksaray University, Faculty of Health Sciences, Department of Social Work, Turkey,

<https://orcid.org/0000-0002-6495-4378>**Abstract**

As digital transformation increases the demand for STEM skills, STEM teachers are expected to hold competencies that go beyond technical skills to include pedagogical, interdisciplinary and ethical dimensions. This study conceptually examines STEM teacher competencies in the digital age through the TPACK, DPACK, DigCompEdu and Teacher Digital Competency (TDC) frameworks, together with Türkiye's digital teacher competencies developed under the IPA III project and the Türkiye Century Maarif Model, and tests this framework in the Turkish context using TALIS 2024 data. In the empirical part, the TALIS 2024 public-use teacher data (Türkiye: lower secondary $n = 4,932$, upper secondary $n = 4,976$; international comparison: 55 education systems) were analysed with weighted descriptive statistics; teachers whose target class was mathematics, science or technology were classified as STEM teachers. Lower secondary STEM teachers report high digital self-efficacy (76–85% for most tasks), differing only slightly from teachers of other subjects; however, digital tools are used in class mainly to present information (77.8%), while deeper pedagogical uses such as digital feedback, collaboration and problem solving remain at 32–58%. STEM teachers are not a homogeneous group: technology teachers lead on every indicator, while mathematics teachers lag behind. Use of artificial intelligence by lower secondary teachers in Türkiye (23.8%) is below the TALIS average (41.7%); a high professional development need in AI (70.9%) coexists with low participation (33.1%), and lack of knowledge and skills (72.3%) and of infrastructure (71.1%) are the main reasons for non-use. The results suggest shifting policy priority from digital infrastructure to pedagogical design competencies and designing subject-sensitive professional development programmes that address AI together with its ethical dimension.

Keywords: STEM education, digital competence, teacher competencies, TALIS 2024, artificial intelligence

Giriş

21.yüzyılın getirdiği hızlı teknolojik dönüşüm; eğitim yaklaşımlarını, toplumsal yapıyı ve iş gücü ile ilgili sahayı büyük bir değişime uğratmıştır (Ovcharuk, 2026). Eğitim teknolojileri hız kesmeden değiştiğinden dijital yeterlilik sabit bir beceri seti olmaktan çıkarak bu durum öğretmenlerin bu aktif değişime uyum sağlamasını gerektirmektedir (Norhagen vd., 2024). Avrupa Birliği'nin yeni stratejik bakışına göre, dijital dönüşüm ve teknolojik bozulmalar karşısında STEM (Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik) becerilerine olan ihtiyaç büyürken demografik dönüşüm nedeniyle nitelikli çalışan sayısı gün geçtikçe küçülmektedir (Avrupa Komisyonu, 2025). Zaman geçtikçe daha fazla sayıda ülkenin eğitim gündemine dahil olan ve küresel ihtiyaca cevaben geliştirilen STEM eğitimi, fen, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerini birbirleriyle ilişkili bir bütün olarak ele almaktadır (Kelley ve Knowles, 2016). Avrupa genelinde öğrencilerin matematik ve fen alanlarındaki başarılarının PISA 2022 sonuçlarından da görülen gerileme, eğitim sistemlerinde köklü bir yapılanmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir (Avrupa Komisyonu, 2025; OECD, 2023).

Öğretmen yeterliliği kavramı günümüz literatüründe; bireyin karşılaştığı karmaşık problemleri çözmek için sahip olduğu bilişsel kapasitesini, dış kaynaklarla bütünleştirme yeteneği olarak ifade edilmektedir (OECD, 2010). Bu kapsamın genişlemesiyle birlikte dijital çağda öğretmenlik, bilgiyi aktaran geleneksel tutumdan, öğrenme bileşenlerini tasarlayan ve yöneten bir yaklaşıma dönüşmüştür (Millî Eğitim Bakanlığı [MEB], 2023). Alan bilgisiyle birlikte bu bilgiyi teknolojiyle harmanlayabilen üst düzey beceriler geliştirilmesi, öğretmen yeterlilikleri için zorunlu hale gelmiştir (Falloon, 2020). Avrupa Komisyonu'nun (2025) verileri, STEM öğretmen eksikliğinin inovasyon alanındaki kapasite gelişiminin önündeki güçlüklerden biri olduğunu göstermektedir.

Öğretmenlerde bulunması beklenen bu dijital yetkinlikler, uluslararası düzeyde Avrupa Eğitimciler İçin Dijital Yeterlilik Çerçevesi (DigCompEdu) ile standardize edilirken (Redecker, 2017), Türkiye'de bu süreç Millî Eğitim Bakanlığı ve UNICEF iş birliğiyle yürütülen "Öğretmen Eğitimi Dijital Ekosistemi (IPA III)" Projesi ve "Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli" aracılığıyla kurumsal bir şekilde yürütülmektedir (MEB, 2023, 2024).

Disiplinler arası entegrasyon, zaman yönetimi, materyal yetersizliği ve dijital araçların pedagojik stratejilerle bütünleştirilmesi gibi alanlar uygulamada öğretmenlerin en çok karşılaştığı güçlükler olarak belirtilmektedir (Norhagen vd., 2024; Rehman vd., 2025). Bu nedenle dijital altyapıların yeterliliğinin nitelikli STEM uygulamalarını tek başına garanti etmediğini; öğretmen yeterliklerinin pedagojik, dijital ve disiplinlerarası boyutlarıyla beraber değerlendirilmesinin önemini göstermektedir (Norhagen vd., 2024; Rehman vd., 2025).

STEM eğitimi Avrupa Komisyonu'nun (2025) belgelerinde stratejik özerkliğin bileşenlerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda stratejik özerklik hedefi; dijital dönüşüm, inovasyon kapasitesi ve insan sermayesi üzerinden şekillenmektedir. IPA III Projesi ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, STEM öğretmen yeterliklerini ulusal öncelikler doğrultusunda yapılandırarak bu küresel dönüşüme Türkiye'den verilen somut yanıt niteliğindedir (MEB, 2023, 2024).

Bu çalışma, dijital çağda STEM öğretmen yeterliklerini kavramsal bir çerçeve içerisinde incelemeyi ve ulusal ile uluslararası yeterlik çerçeveleri doğrultusunda öğretmenlerin mesleki gelişim süreçlerine yönelik kuramsal bir zemin sunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda IPA III Projesi ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli bağlamında, dijital çağda STEM öğretmen yeterlikleri ele alınmakta; bu yeterliklerin sahada nasıl somutlaştığı ise FATİH Projesi ve Eğitim Bilişim Ağı (EBA) gibi ulusal dijital altyapılar üzerinden incelenmektedir (MEB, 2016). Bu

anlamda çalışmanın yanıtını aradığı soru “Dijital çağda STEM öğretmen yeterlikleri hangi dijital, pedagojik ve mesleki bileşenlerden oluşmakta; bu yeterlikler uluslararası dijital yeterlik çerçeveleri ile Türkiye'deki güncel öğretmen yeterliği ve eğitim politikaları kapsamında nasıl yapılandırılmaktadır?” olarak belirlenmiştir.

Kavramsal Çerçeve

Dijital Çağ ve Eğitimde Dijitalleşme

Dijitalleşme bilimsel bilginin deney ve gözlem yoluyla sistematik biçimde üretilerek teknoloji aracılığıyla toplumsal pratiğe aktarılmasını sağlayan bütüncül bir dönüşüm süreci olarak tanımlanmaktadır (Ovcharuk, 2026). Bu süreç son zamanlarda teknik araçların kullanımıyla sınırlı kalmayacak ölçüde genişlemiş; eğitim teknolojilerinin sürekli gelişime açık olan doğası nedeniyle öğretmenlerin mesleki uygulamalarını da köklü biçimde dönüştüren bir yapıya ulaşmıştır (Norhagen vd., 2024). Aleksieva'nın (2025) da belirttiği üzere dijitalleşme, öğretmen yetiştirme politikalarının ve kurumsal stratejilerin yeniden tasarlanmasını gerektiren yapısal bir politika alanı olarak ifade edilmiştir; nitekim OECD (2025a) da sınıf içi dijital kaynak kullanımını destekleyen öğretmen politikalarının bu dönüşümün mutlak bir parçası olduğunu belirtmektedir.

STEM Eğitimi Nedir?

STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) eğitimi, disiplinlerin ayrı ve parçalı biçimde ele alındığı geleneksel öğretim modellerinden farklı olarak, fen ve matematik içeriklerinin mühendislik tasarım süreçleri ve teknoloji kullanımıyla bütünleştirilmesini esas alan disiplinlerarası bir eğitim yaklaşımıdır (Kelley ve Knowles, 2016). Bu yaklaşımda disiplinler, kendi özgün yapılarından koparılmadan; gerçek dünya problemleri etrafında birbirini tamamlayan ve anlamlandıran bir bütünlük içinde ele alınmaktadır (Kelley ve Knowles, 2016). Böylece öğretim süreci, bilginin biriktirilmesine odaklanan doğrusal bir aktarım anlayışından uzaklaşarak, bilginin bağlama uygun biçimde kullanılması ve yeniden yapılandırılması üzerine temellendirilmektedir (Kelley ve Knowles, 2016).

STEM eğitiminin temel amacı, teorik bilginin mühendislik tasarım süreci ve matematiksel modelleme yoluyla somut çıktılara dönüştürülmesini sağlamak ve bu süreçte öğrencilerin yaratıcılık, eleştirel düşünme, problem çözme, iletişim ve iş birliği gibi 21. yüzyıl becerilerini sistematik biçimde geliştirmektir (Honey vd., 2014; National Research Council [NRC], 2012). Nitekim 2000-2018 yılları arasında 36 dergide yayımlanan 798 makaleyi inceleyen sistematik bir alan yazın taraması, STEM eğitimi araştırmalarının uluslararası düzeyde giderek önem kazandığını ve alanın kendine özgü bir kimlik geliştirdiğini ortaya koymaktadır (Li vd., 2020). Nitekim OECD bünyesinde yürütülen kapsamlı bir araştırma programı da problem çözme becerisini, bilgiyi statik biçimde biriktirmekten çok, değişen koşullarda işlevsel hâle getirebilme kapasitesi olarak ele almakta ve bu becerinin PISA gibi uluslararası değerlendirmelerde giderek merkezi bir yer tuttuğunu ortaya koymaktadır (Csapó ve Funke, 2017). Bu durum, STEM eğitiminin öngördüğü 21. yüzyıl becerilerinin yalnızca ulusal düzeyde değil, uluslararası ölçme-değerlendirme politikalarında da öncelikli bir konum kazandığını göstermektedir (Csapó ve Funke, 2017).

Avrupa Birliği'nin 2030 stratejik hedefleri doğrultusunda STEM eğitimi, özellikle siber güvenlik, biyoteknoloji ve ileri dijital teknolojiler gibi kritik alanlarda yenilikçi üretim kapasitesini artıracak nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesinde temel bir araç olarak konumlandırılmaktadır (Avrupa

Komisyonu, 2025). Bu anlamda STEM eğitim yaklaşımı, eğitim sistemleri için hem pedagojik bir tercih hem de ekonomik rekabet gücü, teknolojik sürdürülebilirlik ve toplumsal kalkınma hedefleriyle doğrudan ilişkili stratejik bir ihtiyaç olarak belirtilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2025). Öte yandan alan yazında bütünsel STEM eğitiminin neyi ifade ettiğine dair tam bir uzlaşma bulunmadığı; disiplinlerin ne ölçüde birleştirileceği, hangi disiplinin merkezde konumlandırılacağı ve entegrasyonun uygulamada nasıl gerçekleştirileceğine dair sorularda kuramsal belirsizliklerin devam ettiği de vurgulanmaktadır (Portillo-Blanco vd., 2025). Bu belirsizlik, STEM öğretmen yeterliklerinin tanımlanmasını da doğrudan etkilemekte; öğretmenlerden beklenen bütünlendirme kapasitesinin değerlendirileceği ölçütleri güncel bir tartışma alanı olarak korumaktadır (Portillo-Blanco vd., 2025).

Avrupa Birliği bu ihtiyaç alanlarında somut adımlar atmaktadır: Birlikte Çalışabilir Avrupa (Interoperable Europe) Akademisi, İleri Malzemeler Akademisi ve Dijital Beceriler Akademisi olmak üzere AB beceri akademileri, STEM ihtiyaçlarını karşılayan beceri yenileme ve geliştirme süreçlerini kolaylaştırması beklenmektedir (Avrupa Komisyonu, 2025).

Avrupa Komisyonu'nun (2025) STEM Eğitimi Stratejik Planı, STEM eğitiminin geliştirilmesine yönelik politika gelişim süreçlerini üç ana hedef çevresinde geliştirmektedir: Lead, STEM'in eğitim ve beceri politikalarında stratejik bir öncelik olarak güçlendirilmesini; Level Up, daha güçlü ve kapsayıcı bir STEM yetenek havuzunun geliştirilmesini; Lift Barriers ise kadınların STEM süreçlerinde yer almasını ve ilerlemelerinin desteklenmesini ifade etmektedir (Avrupa Komisyonu, 2025, s. 7). Bu hedefler doğrultusunda planda öne çıkan somut bir vurgu, STEM öğretmen ve eğitmenlerinin mesleki gelişimine sürdürülebilir yatırım yapılması gerekliliği ve 2026 yılına kadar tüm öğrenme kademelerini kapsayacak bir STEM yeterlik çerçevesi geliştirilmesi hedefidir (Avrupa Komisyonu, 2025, s. 9).



Şekil 1. AB STEM Eğitimi Stratejik Planı

Kaynak: Şekil 1, Avrupa Komisyonu (2025, s. 7) kaynağındaki orijinal diyagramdan uyarlanmıştır.

STEM Öğretmenliği ve Diğer Öğretmenlik Alanlarından Farkı

STEM öğretmenliği, geleneksel branş öğretmenliğinden, öğretmenlerden “bütünsel öğretmenlik bilgisi” talep etmesi bakımından belirgin biçimde ayrılmaktadır (Kelley ve Knowles, 2016). Bu profil, öğretmenin kendi disiplinindeki uzmanlık derinliğini korumasının yanı sıra, diğer STEM

alanlarıyla kavramsal ve pedagojik düzeyde yatay bağlantılar kurabilme ve bu disiplinleri anlamlı bir bütünlük içinde sentezleyebilme kapasitesini ifade etmektedir (Kelley ve Knowles, 2016). Bu bütünlük öğretmenlik bilgisi, STEM öğretmenlerinin ders planlama ve öğrenme etkinliği tasarımı süreçlerinde disiplin temelli hedefler yerine problem temelli öğrenme çıktılarına merkeze almalarını gerektirmekte; öğretim kararlarının içerik aktarımından çok süreç yönetimi odaklı biçimde alınmasına zemin hazırlamaktadır (Kelley ve Knowles, 2016; Lin vd., 2025).

STEM öğretmenleri bu bağlamda, öğrenme sürecinde öğrenciyi sorgulamaya ve tasarım odaklı düşünmeye teşvik eden bir rehber rolü üstlenmekte; öğretim süreçlerini gerçek yaşam problemleri etrafında yapılandırarak öğrencilerin teorik bilgiyi somut bağlamlarda kullanmalarını desteklemektedir (Kelley ve Knowles, 2016). Ancak uygulamada, STEM öğretmenlerinin bu bütünlük rolü hayata geçirmede çeşitli yapısal ve pedagojik sınırlılıklarla karşılaştıkları görülmektedir. STEM eğitimi veren öğretmenlerin uygulamada yoğun şekilde karşılaştığı güçlükleri; disiplinlerarası koordinasyonda eksiklik, müfredatın yoğun olması, öğretim materyallerine ulaşımındaki zorluklar, veriye dayalı ölçme-değerlendirme süreçlerindeki belirsizlikler olarak sıralayabiliriz (Rehman vd., 2025).

Karşılaşılan bu zorluklar; öğretim programlarının yapısı, zaman planlaması ve ölçme-değerlendirme yaklaşımlarının bütünlük öğretimi anlayışıyla yeterince uyumlu olmamasından kaynaklanan sistemsel problemlere işaret etmektedir. Bu güçlükler büyük ölçüde bireysel öğretmen yeterliğinin ötesinde, sistemin kendisinden kaynaklanmaktadır (Rehman vd., 2025). Tayvan'da iki okulda gerçekleştirilen bir vaka çalışması da benzer bir sonucu yansıtmıştır: işbirlikçi STEM müfredatlarını geliştiren öğretmenler, süreç boyunca zaman baskısı, disiplinler arası iletişim güçlüğü ve rol belirsizliği gibi problemlerle karşılaşmış; bunların çözümünde okul yönetiminin sağladığı yapısal destek ve öğretmenler arası düzenli işbirliği kritik düzeyde belirleyici olmuştur (Lin vd., 2025). Bu bulgu, STEM öğretmenliğindeki uygulama sorunlarının sadece Türkiye'ye özgü olmadığını, farklı ülkelerdeki eğitim sistemlerinde de benzer zorluklarla karşılaşıldığını göstermektedir (Lin vd., 2025; Rehman vd., 2025).

STEM Öğretmenlerinde Dijital Yeterliklerin Kavramsal Yapısı

Öğretmenlerin dijital yeterliklerinin; teknolojiye erişim ve kullanım becerilerinin ötesinde, pedagojik karar alma, iletişim, iş birliği ve bağlamsal uyarılama kapasitesini içeren üst yeterlikler çerçevesinde ele alınması gerektiğini mevcut araştırmalar ortaya koymaktadır (Falloon, 2020). Falloon'un (2020) bütüncül dijital yeterlik yaklaşımı; iletişim, iş birliği, etik farkındalık ve bağlamsal teknoloji kullanımını teknik yeterliklerin tamamlayıcı öğeleri olarak yer verilmektedir.

Falloon'un (2020) Öğretmen Dijital Yeterliği çerçevesi, pedagojik karar alma, iletişim, iş birliği ve bağlamsal uyarılama gibi yeterliklerin de öğretmen performansının önemli unsurları olduğuna işaret etmektedir. Bu açıdan STEM öğretmenliği anlamında değerlendirildiğinde, öğretmenin farklı STEM disiplinleri arasındaki öğrenme süreçlerini yönetebilme kapasitesinin teknik bilgi kadar önemli bir yeterlik alanı oluşturduğu söylenebilir. Bilgi, beceri ve tutumların bağlama duyarlı biçimde bütünlleştirilmesine dayanan bu yaklaşım, dijital yeterliliği durağan bir beceri bütünü olmanın çok ötesinde sürekli gelişen mesleki bir kapasite olarak konumlandırır (Falloon, 2020).

Buradan yola çıkarak, STEM öğretmen yeterliklerinin Teknolojik Pedagojik Alan Bilgisi (TPACK) modeli çerçevesinde tek başına teknik entegrasyon düzeyinde ele alınmasının yeterli olmadığı ifade edilebilir. TPACK modeli, öğretmenin alan bilgisi, pedagojik bilgi ve teknoloji bilgisini bağlamsal olarak bütünlleştirme potansiyeline öncelik vererek, dijital teknolojilerin

öğretim süreçlerine yüzeysel biçimde ilave edilmesinin ötesine geçmek istemektedir (Koehler ve Mishra, 2005).

Bununla beraber dijitalleşmenin ivme kazanan sosyo-teknik boyutları, öğretmen yeterliklerinin teknoloji entegrasyonu üzerinden değerlendirilmesini yetersiz hale getirmektedir (Thyssen vd., 2023). Öğretmen yeterliklerini dijitalleşmenin kültürel, etik ve toplumsal etkilerini pedagojik karar süreçlerine dâhil edebilme kapasitesi üzerinden ele alan Dijitaliteye İlişkin Pedagojik Alan Bilgisi (DPACK) yaklaşımı bu ihtiyaca karşılık vermek için geliştirilmiştir (Thyssen vd., 2023). DPACK, STEM öğretmenlerinin dijital yeterliklerini eleştirel dijital farkındalık, sorumlu teknoloji kullanımı ve toplumsal boyutu gözeten pedagojik tasarım boyutlarıyla birlikte değerlendiren genişletilmiş bir mesleki tutum ortaya koymaktadır (Thyssen vd., 2023).

Bu çerçevede STEM öğretmenlerinde dijital yeterlik, teknolojik araçları kullanım becerilerinin ötesinde; öğretim süreçlerini dijital çağın gerektirdiği pedagojik, bilişsel ve etik boyutlarla birlikte tasarlayabilme kapasitesi olarak tanımlanmış bulunmaktadır (Koehler ve Mishra, 2005; Thyssen vd., 2023). Nitekim Portekiz'de 20.935 STEM öğretmeni üzerinde DigCompEdu Check-In aracıyla yürütülen kapsamlı bir araştırma, dijital yeterliğin STEM alt disiplinleri arasında homojen dağılmadığını; Biyoloji ve Jeoloji öğretmenlerinin en yüksek, Matematik öğretmenlerinin ise diğerlerine göre daha düşük puanlar aldığını ortaya koymuştur (Vieira vd., 2023). Bu bulgu, "STEM öğretmeni" kavramının tek bir kategori olarak ele almanın hem araştırma hemde politika düzeyinde yetersiz kaldığını gözler önüne sermektedir. Branş farklılıklarına önem veren ayrıştırılmış yaklaşımlara ve çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Vieira vd., 2023).

Dijital Yeterliklerin STEM Öğretim Uygulamalarına Yansıması

STEM öğretmenlerinin öğretim uygulamalarına farklı biçimlerde yansıyan dijital yeterlikleri bulunmaktadır. STEM öğretmenlerinin karmaşık problemleri ve çözümlerini dijital ortamda modelleyebilmesi ve disiplinlerarası STEM öğrenme senaryolarını yapılandırabilmelerini, TPACK ve DPACK çerçevelerinde tanımlanan bu yeterlikler mümkün hale getirmektedir (Koehler ve Mishra, 2005; Thyssen vd., 2023).

Öğretmenin öğrenme analitiklerinden faydalanarak öğrenci gelişimini izleyebilmesine ve ölçme-değerlendirme süreçlerini kanıta dayalı biçimde düzenleyebilmesine dijital yeterliğin bu bütünleşik yapısı imkan tanımaktadır (UNICEF, 2022). Bu bağlamda dijital araçların öğrenme süreçlerinin izlenebilirliğini artıran, anlık ve nitelikli geri bildirim mekanizmalarının kurulmasını sağlayan pedagojik bileşenler olarak fonksiyonlarını gerçekleştirmektedir (MEB, 2023; UNICEF, 2022). Bu nedenle dijital yeterlik, kapsayıcı ve sürdürülebilir öğrenme ortamlarını kurulmasında ön koşullardan biri olarak öne çıkar (MEB, 2023; UNICEF, 2022). Ne var ki bu yeterliğin gelişimi yalnızca bir birey meselesi değildir, kurumun sağladığı zemin belirleyici bir rol oynamaktadır. Norveç bulguları bunu somutlaştırmaktadır: öğretmen eğitimcilerinde öz yeterlik ve dijital yeterlik arasında güçlü bir ilişki varken öğretmen adayları kurumsal desteği yetersiz bulmaktadır. Bireysel yetkinlikler oluşsa da kurumsal zemin ve destek mekanizmaları oluşmadığında dönüşüm eksik kalmaktadır (Instefjord ve Munthe, 2017).

Türkiye ve Dünyada STEM Öğretmen Yeterliklerine Yönelik Çalışmalar

Redecker'in (2017) geliştirdiği DigCompEdu, öğretmen yeterliklerini altı boyutta ele almaktadır. Bunlar: "profesyonel katılım, dijital kaynak kullanımı, öğretme- öğrenme süreçleri, ölçme ve değerlendirme, öğrenenleri güçlendirme ve öğrencilerin dijital yeterliğini destekleme" şeklindedir. Çerçevenin ayırt edici yanı, dijital yeterlikleri teknik beceriye indirgemeyip pedagojik karar alma,

öğrenme ortamı tasarımı ve dijital etik gibi boyutları bir arada ele almasıdır. Mattar vd. (2022), DigCompEdu'yu ISTE, UNESCO ICT-CFT, DigCompOrg ve DigComp 2.2 ile karşılaştırdığında benzer bir eğilim tespit etmiştir. Çerçevelerin tamamı Teknik yeterlikten ziyade pedagojik farkındalığı önelemekte, ancak uygulama bağlamına göre vurgu noktaları farklılaşmaktadır. Bu durum tek bir evrensel modele bağlı kalmak yerine ulusal ve kurumsal koşullara göre uyarılama yapılmasının neden gerekli olduğunu açıklamaktadır. Falloon'un (2020) da bu tartışmaya TDC çerçevesiyle katkı sunmaktadır: dijital okuryazarlıktan dijital yeterliğe geçişi, bilgi-beceri-tutumun bağlama özgü bütünleşmesi olarak tanımlayarak DigCompEdu'yu kuramsal düzeyde tamamlamaktadır.

MEB ve UNICEF iş birliğiyle hayata geçirilen IPA III Projesi, Türkiye'de öğretmen dijital yeterliklerini kuramsal bir zemine oturtmuştur. Bu konuda yapılmış en kapsamlı ulusal girişimi temsil eder. Geliştirilen çerçeve, üç alan ve 17 yeterlik başlığı altında 380 gösterge içermekte; bu yapı öğretmen gelişimini hem tanımlanabilir hemde izlenebilir kılmaktadır (MEB, 2023). Özünde çerçeve şu soruyu yanıtlamaktadır: dijital çağda bir öğretmenden ne beklenir?

Türkiye'nin bu alanda attığı adım, yalnızca ulusal bir ihtiyaca yanıt değildir; dijital öğretmen yeterliklerini tanımlama çabası pek çok ülkenin ortak gündemindedir. Norhagen vd. (2024), Norveçteki öğretmen eğitimi programlarını incelediğinde, dijital yeterliğin ne anlama geldiğinin henüz tam olarak oturmadığını ve kuramla uygulama arasındaki mesafe kapanmadığını saptamıştır.

IPA III belgesi, dijital öğretmen yeterliklerini farkındalık, işlevsellik ve eylemsellik olmak üzere üç bilişsel düzeyde kurgular. Bu düzeyler kavramsal olarak Maarif Modeli'nin okuryazarlık anlayışından beslenmekte, ancak 380 göstergeyle bağımsız bir yapıya kavuşmaktadır (MEB, 2023). STEM öğretmenliği açısından bakıldığında; temel dijital bilgi ve kavrayış farkındalığa, araçları öğretime bilinçli bir şekilde taşıyabilmek işlevselliğe, özgün içerik üretmek ve veri temelli karar almak ise eylemselliğe karşılık gelir. İki çerçeve birlikte okunduğunda beceri, değer ve okuryazarlık eksenlerinin örtüştüğü görülmektedir. Bu örtüşme STEM öğretmen yeterliklerini ele alırken iki belgenin tamamlayıcı biçimde kullanılabileceğine işaret etmektedir (MEB, 2023, 2024). Çerçevenin öğretmen davranışlarına ve öğrenme çıktılarına somut yansımaları araştırmacılar için açık bir zemin sunmaktadır.

Ele alınan çerçeveler bir arada okunduğunda STEM öğretmen yeterliklerinin tek bir boyuta sığmadığı görülmektedir. Dijitalleşme öğretmen yetiştirme politikalarını yeniden kurgulamaktadır (Aleksieva, 2025; Ovcharuk, 2026). STEM ise tanımı tartışmalı olmayı sürdüren, disiplinlerarası bir yaklaşım olma özelliğini korumaktadır (Kelley ve Knowles, 2016; Portillo-Blanco vd., 2025). TPACK'ten DPACK'e uzanan çizgi, yeterliğin teknik bilgidен etik ve toplumsal farkındalığa doğru genişlediğini göstermektedir (Koehler ve Mishra, 2005; Thyssen vd., 2023). Ancak bu yeterliğin bransa göre değiştiği ve öz-bildirimle gerçek uygulama arasında ciddi bir mesafe bulunduğu da göz ardı edilmemelidir (Schmid vd., 2021; Vieira vd., 2023). DigCompEdu, IPA III ve Maarif Modeli gibi çerçeveler kurumsal bir zemin kurmaktadır; ne var ki uygulama pratiğiyle ilişkilendirilmediğinde bu zemin tek başına yeterli kalmamaktadır (Instefjord ve Munthe, 2017; Norhagen vd., 2024). Kavramsal düzeyde tablo giderek netleşmekte, uygulama ve ölçme boyutunda ise alan gelişimini sürdürmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümleri de tam bu boşluğa odaklanmaktadır.

Yöntem

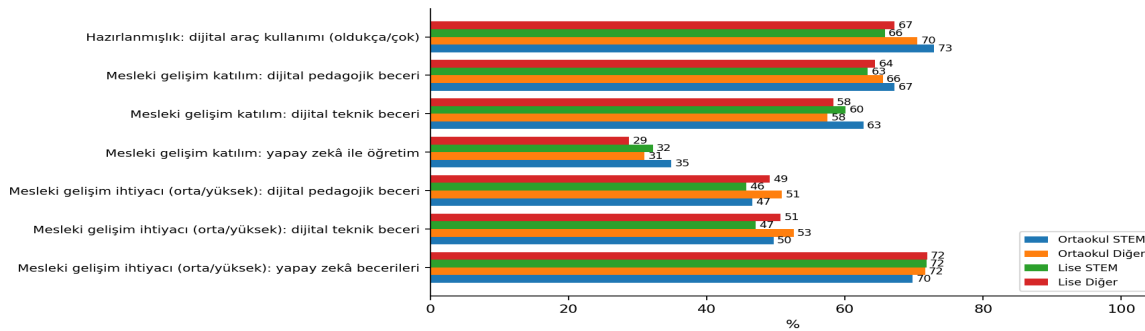
Bu çalışmanın ampirik bölümünde, kavramsal çerçevede ortaya konan yeterlik boyutlarının Türkiye’deki STEM öğretmenleri açısından güncel durumunu betimlemek amacıyla OECD Uluslararası Öğretme ve Öğrenme Araştırması (TALIS) 2024 kamuya açık öğretmen veri dosyaları kullanılmıştır (OECD, 2025b). Türkiye örneklemini ortaokul (ISCED 2) düzeyinde 4.932 ve lise (ISCED 3) düzeyinde 4.976 öğretmenden oluşmaktadır. Uluslararası karşılaştırmalar için 55 eğitim sisteminin ortaokul verisi (194.521 öğretmen) kullanılmıştır. Analizler, öğretmen düzeyindeki nihai ağırlık (TCHWGT) kullanılarak KNIME analitik platformunda betimsel istatistikler biçiminde yürütülmüştür. Uygulanmamış, mantıksal olarak atlanmış ve cevapsız kodlar (6, 8, 9, 9998, 9999) analiz dışında tutulmuştur.

TALIS’te öğretmenlerin branşı, öğretmenin yanıtladığı “hedef sınıfın” ders kategorisi (TT4G48A) üzerinden belirlenmektedir. Bu çalışmada Matematik, Fen ve Teknoloji kategorilerinden birini seçen öğretmenler “STEM öğretmeni” (ortaokul n = 931; lise n = 928), diğer ders kategorilerini seçenler ise “diğer branşlar” olarak sınıflandırılmıştır. İncelenen göstergeler, kavramsal çerçevedeki boyutlarla eşleştirilerek seçilmiştir: (i) ilk öğretmenlik eğitiminin dijital araç kullanımına hazırlama düzeyi (TT4G07F); (ii) dijital konularda mesleki gelişime katılım ve ihtiyaç (TT4G21E–G, TT4G24E–G); (iii) dijital öz-yeterlik (TT4G27M, TT4G33A–G) ve ilgili ölçek puanı (T4SEDRT); (iv) dijital araçlara ilişkin inançlar (TT4G34A–H); (v) sınıf içi dijital öğretim uygulamaları (TT4G52A–K); (vi) yapay zekâ kullanımı, kullanım biçimleri ve kullanmama nedenleri (TT4G36–38) (OECD, 2024).

Bulgular

Hazırlanmışlık ve Mesleki Gelişim

Türkiye’de ortaokul STEM öğretmenlerinin %72,9’u ilk öğretmenlik eğitiminin kendilerini dijital araç kullanımına “oldukça” ya da “çok” hazırladığını belirtmiştir; bu oran lisede %65,8’e düşmektedir (Şekil 2). Son 12 ayda dijital pedagojik becerilere yönelik bir mesleki gelişim etkinliğine katılım ortaokul STEM öğretmenlerinde %67,2, dijital teknik becerilere yönelik katılım %62,7’dir. Buna karşın yapay zekâ ile öğretim konulu bir etkinliğe katılım %34,9 ile sınırlı kalmıştır. Mesleki gelişim ihtiyacı açısından tablo tersine dönmektedir: dijital pedagojik ve teknik becerilerde orta/yüksek ihtiyaç bildirenlerin oranı yaklaşık %47–50 iken, yapay zekâ becerilerinde bu oran %69,8’e (lisede %71,8) ulaşmaktadır. STEM ve diğer branşlar arasındaki farklar bütün göstergelerde küçüktür (1–5 puan).

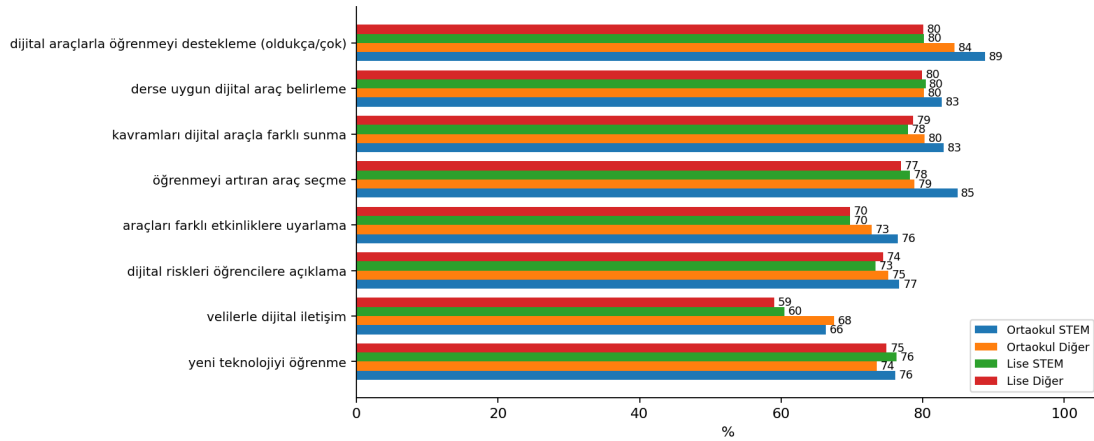


Şekil 2. Türkiye’de dijital konularda hazırlanmışlık, mesleki gelişim katılımı ve ihtiyacı (TALIS 2024, ağırlıklı %)

Not: MG = mesleki gelişim. Kaynak: OECD (2025b) verilerinden yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Dijital Öz-Yeterlik

Ortaokul STEM öğretmenlerinin büyük çoğunluğu dijital araçlarla ilgili görevleri “oldukça” ya da “çok” yapabildiğini bildirmektedir: derse uygun dijital araç belirleme %82,7; kavramları dijital araçlarla farklı biçimde sunma %83,0; öğrenmeyi artıran araç seçme %84,9; araçları farklı etkinliklere uyarlama %76,5; dijital riskleri öğrencilere açıklama %76,7; yeni teknolojiyi öğrenme %76,1. En düşük öz-yeterlik velilerle dijital iletişim alanındadır (%66,3). STEM öğretmenleri diğer branşlara göre 1–6 puan daha yüksek değerler almaktadır; lise öğretmenlerinin öz-yeterliği ortaokula göre 3–8 puan daha düşüktür (Şekil 3). Dijital araç öz-yeterlik ölçeği (T4SEDRT) ortalamaları da aynı yönü göstermektedir: ortaokul STEM 11,77, diğer branşlar 11,49; lise STEM 11,45, diğer branşlar 11,38.



Şekil 3. Dijital öz-yeterlik: ilgili görevi “oldukça/çok” yapabildiğini bildiren öğretmenler (%)

Kaynak: OECD (2025b) verilerinden yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

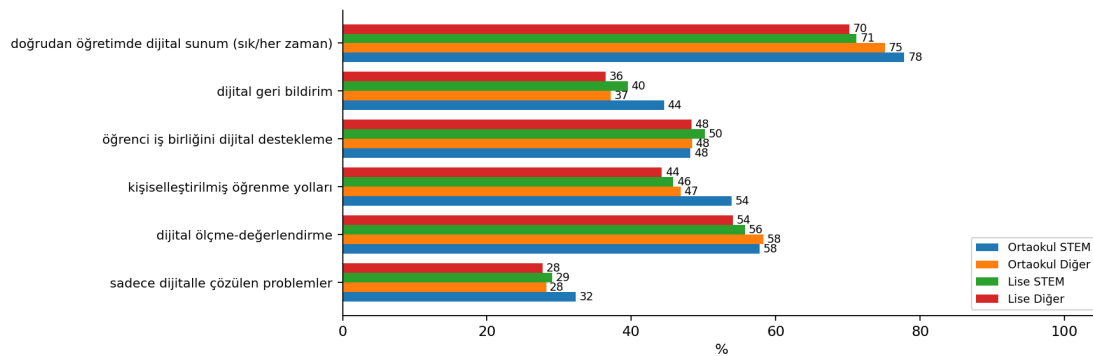
Sınıf İçi Dijital Uygulamalar: Öz-Yeterlik ile Uygulama Arasındaki Makas

Öz-yeterlikteki bu yüksek düzey, sınıf içi uygulamalara aynı ölçüde yansımamaktadır (Tablo 1; Şekil 4). Ortaokul STEM öğretmenlerinin %77,8’i dijital araçları doğrudan öğretimde bilgi sunmak için “sık” ya da “her zaman” kullandığını belirtirken, pedagojik olarak daha derin uygulamaların oranı belirgin biçimde düşüktür: dijital ölçme-değerlendirme %57,8, kişiselleştirilmiş öğrenme yolları %53,9, öğrenci iş birliğini dijital araçlarla destekleme %48,2, dijital geri bildirim %44,5 ve yalnızca dijital araçlarla çözülebilecek problemler verme %32,3. STEM öğretmenleri özellikle dijital geri bildirim (+7,4 puan) ve kişiselleştirilmiş öğrenme (+7,1 puan) alanlarında diğer branşlardan ayrılmaktadır.

Tablo 1. Hedef sınıfta dijital uygulamalar: “sık/her zaman” yapan öğretmenler (%)

Uygulama	Ortaokul STEM	Ortaokul Diğer	Lise STEM	Lise Diğer
Doğrudan öğretimde dijital sunum	77,8	75,1	71,2	70,2
Dijital ölçme-değerlendirme	57,8	58,3	55,7	54,1
Kişiselleştirilmiş öğrenme yolları sunma	53,9	46,8	45,8	44,2
Öğrenci iş birliğini dijital araçlarla destekleme	48,2	48,4	50,2	48,3
Dijital geri bildirim verme	44,5	37,1	39,5	36,4
Yalnızca dijital araçlarla çözülebilen problemler verme	32,3	28,2	29,0	27,7

Kaynak: OECD (2025b) verilerinden hesaplanmıştır.



Şekil 4. Sınıf içi dijital uygulamalar: “sık/her zaman” yapan öğretmenler (%)

Kaynak: OECD (2025b) verilerinden yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Öz-yeterlik (%75–85) ile derin pedagojik kullanım (%30–55) arasındaki bu makas, dijital araçların Türkiye’de ağırlıklı olarak bilgi aktarımı işleviyle kullanıldığını göstermektedir.

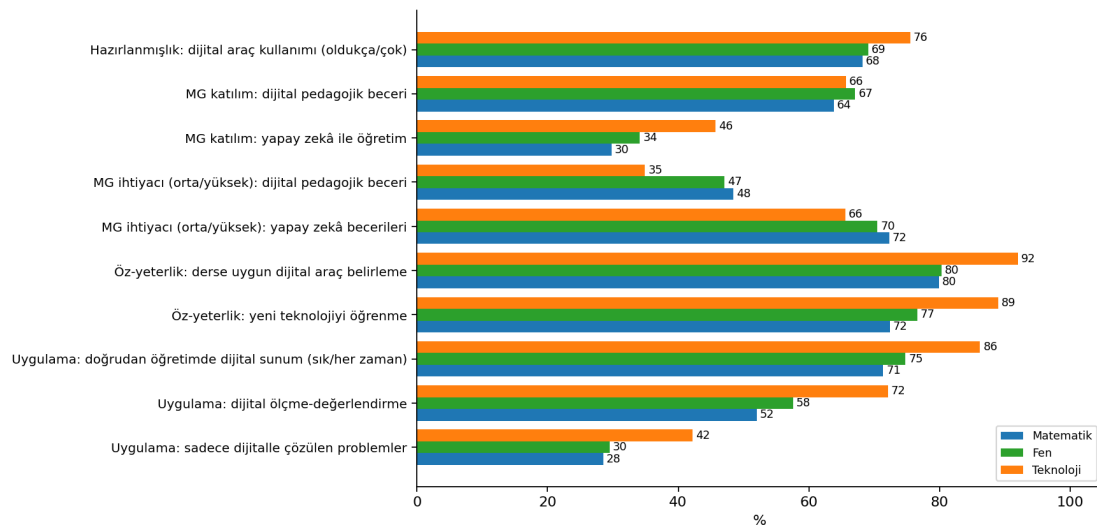
STEM Alt Branşları Arasında Farklılaşma

Ortaokul ve lise örneklemini birleştirilerek yapılan analiz, “STEM öğretmeni” kategorisinin dijital yeterlik açısından türdeş bir profil oluşturmadığını göstermektedir (Tablo 2; Şekil 5). Teknoloji öğretmenleri bütün göstergelerde önde yer almaktadır: derse uygun dijital araç belirleme öz-yeterliği %92,0 (Matematik %79,9; Fen %80,3), yeni teknolojiyi öğrenme öz-yeterliği %89,0 (Matematik %72,4; Fen %76,6), dijital ölçme-değerlendirme %72,1 (Matematik %52,0; Fen %57,6). Matematik öğretmenleri hemen her göstergede en düşük değerlere sahiptir ve aynı zamanda en yüksek mesleki gelişim ihtiyacını bildirmektedir.

Tablo 2. STEM alt branşlarına göre seçilmiş dijital göstergeler (ortaokul + lise, %)

Gösterge	Matematik	Fen	Teknoloji
İlk eğitim dijital araç kullanımına hazırladı (oldukça/çok)	68,2	69,1	75,5
Yapay zekâ konulu mesleki gelişime katılım	29,8	34,1	45,7
Dijital pedagojik becerilerde orta/yüksek MG ihtiyacı	48,4	47,1	34,9
Yapay zekâ becerilerinde orta/yüksek MG ihtiyacı	72,3	70,5	65,6
Öz-yeterlik: derse uygun dijital araç belirleme	79,9	80,3	92,0
Öz-yeterlik: yeni teknolojiyi öğrenme	72,4	76,6	89,0
Uygulama: dijital ölçme-değerlendirme (sık/her zaman)	52,0	57,6	72,1
Uygulama: yalnızca dijitalle çözülen problemler	28,5	29,5	42,2

Not: Matematik n = 883, Fen n = 720, Teknoloji n = 256. Kaynak: OECD (2025b).



Şekil 5. STEM alt branşlarına göre dijital göstergeler (ortaokul + lise, %)

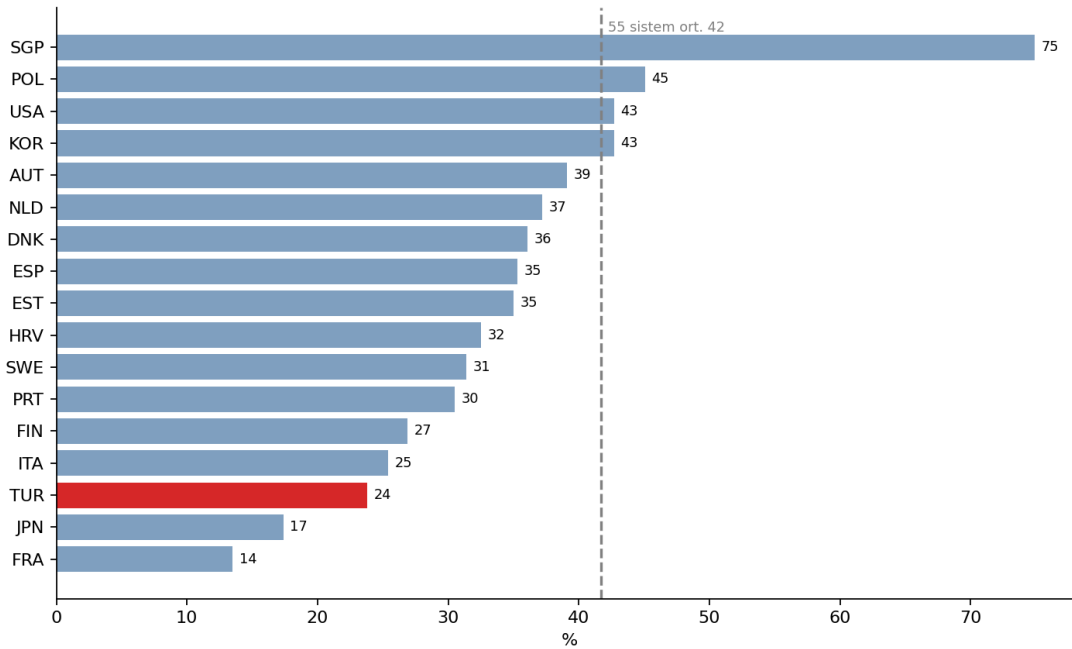
Bu sonuç, Vieira vd.'nin (2023) Portekiz'de 20.935 STEM öğretmeniyle elde ettiği bulgunun Türkiye karşılığıdır: her iki bağlamda da matematik öğretmenleri en düşük dijital yeterlik değerlerine sahiptir. Yeterlik geliştirme politikalarının branşa duyarlı biçimde tasarlanması gerektiği savı böylece Türkiye verisiyle de desteklenmektedir.

Dijital Araçlara İlişkin İnançlar

Ortaokul STEM öğretmenlerinin %94,3'ü dijital araçların öğrencilerin öğrenmeye ilgisini, %92,7'si akademik başarıyı artırdığına katılmaktadır. Aynı öğretmenlerin %66,6'sı dijital araçların sık kullanımının öğrencilerin iyi oluşunu olumsuz etkilediğini, %28,0'ı ise dikkati dağıttığını düşünmektedir. Branşlar arasında anlamlı bir fark gözlenmemektedir. Öğretmenler dijitalleşmeye ilişkin yüksek pedagojik iyimserlik ile belirgin bir eleştirel farkındalığı bir arada taşımaktadır; bu tablo, DPACK yaklaşımının vurguladığı dijitalleşmenin toplumsal ve etik boyutlarına ilişkin farkındalığın (Thyssen vd., 2023) öğretmen profilinde mevcut olduğunu düşündürmektedir.

Yapay Zekâ: Türkiye ve Uluslararası Karşılaştırma

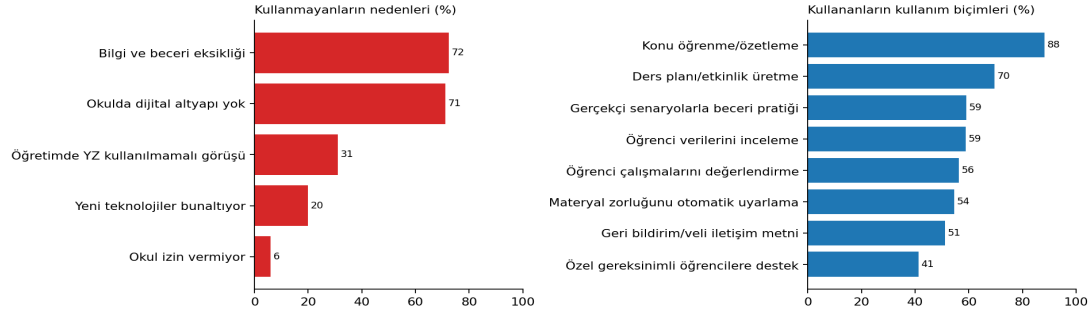
Türkiye’de ortaokul öğretmenlerinin %23,8’i son 12 ayda öğretimde ya da öğrenmeyi desteklemek için yapay zekâ kullanmıştır. TALIS 2024’e katılan 55 eğitim sisteminin ortalaması %41,7’dir (Şekil 6). Türkiye bu göstergede Finlandiya (%26,9) ve İtalya (%25,4) ile benzer; Estonya (%35,0), İspanya (%35,3), Polonya (%45,1), Singapur (%74,9) ve Birleşik Arap Emirlikleri’nin (%75,0) gerisinde; Japonya (%17,4) ve Fransa’nın (%13,5) önünde yer almaktadır.



Şekil 6. Son 12 ayda öğretimde yapay zekâ kullanan ortaokul öğretmenleri, seçilmiş ülkeler (%)

Kaynak: OECD (2025b) verilerinden yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

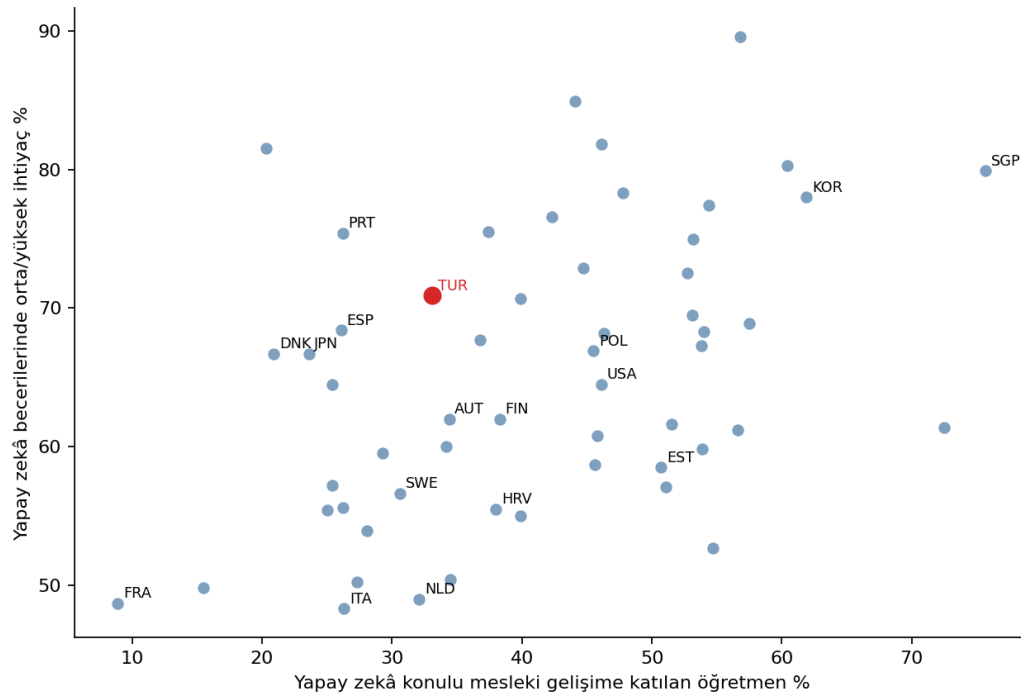
Yapay zekâ kullanmayan öğretmenlerin gösterdiği nedenler dikkat çekicidir (Şekil 7): %72,3’ü yapay zekâ ile öğretim için gerekli bilgi ve beceriye sahip olmadığını, %71,1’i okulunda gerekli dijital altyapının bulunmadığını belirtmiştir. Öğretimde yapay zekânın kullanılmaması gerektiğini düşünenlerin oranı %31,1, yeni teknolojileri öğretime entegre etmenin kendisini bunalttığını söyleyenlerin oranı %19,9’dur; okulun izin vermemesi ise yalnızca %5,9 ile marjinal bir engeldir. Yapay zekâ kullanan öğretmenler ise bunu en çok konu öğrenme ve özetleme (%88,3), ders planı ve etkinlik üretme (%69,6), gerçekçi senaryolarla beceri pratiği (%59,1) ve öğrenci verilerini inceleme (%58,9) amacıyla kullanmaktadır; özel gereksinimli öğrencilere destek (%41,3) en az yaygın kullanım biçimidir.



Şekil 7. Türkiye ortaokul öğretmenleri ve yapay zekâ: kullanmama nedenleri ve kullanım biçimleri (%)

Kaynak: OECD (2025b) verilerinden yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Türkiye’de yapay zekâ becerilerinde orta/yüksek mesleki gelişim ihtiyacı bildiren öğretmen oranı (%70,9) 55 sistemin ortalamasının (%65,3) üzerinde, buna karşılık yapay zekâ konulu mesleki gelişime katılım (%33,1) ortalamasının (%41,1) altındadır. Şekil 8’de görüldüğü gibi Türkiye, “yüksek ihtiyaç–düşük katılım” bölgesinde konumlanmaktadır.



Şekil 8. Yapay zekâ konusunda mesleki gelişim katılımı ve ihtiyacı, TALIS 2024 katılımcı sistemler (ortaokul, %)

Kaynak: OECD (2025b) verilerinden yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Sonuç

Bu çalışma, dijital çağda STEM öğretmen yeterliklerini kavramsal bir çerçeve içinde incelemeyi ve bu çerçeveyi TALIS 2024 verileriyle Türkiye bağlamında sınamayı amaçlamıştır. Bulgular birlikte değerlendirildiğinde dört temel sonuç öne çıkmaktadır. Birincisi, Türkiye’de STEM öğretmenlerinin dijital öz-yeterliği yüksektir ve diğer branşlardan küçük farklarla ayrılmaktadır; ancak bu öz-yeterlik sınıf içinde ağırlıklı olarak sunum amaçlı kullanıma dönüşmektedir. İş birliği, kişiselleştirme ve problem çözmeye yönelik derin pedagojik kullanımların %30–55 bandında kalması, dijital altyapının varlığının tek başına nitelikli STEM uygulamalarını garanti etmediği (Norhagen vd., 2024; Rehman vd., 2025) yönündeki kuramsal tezin Türkiye verisiyle doğrulandığını göstermektedir. İkincisi, yapay zekâyâ duyulan yüksek ihtiyaç (%71) ve katılımın düşük olması da (%33) bir arada bulunmaktadır. Kullanılmaması gerektiğini düşünen %31’lik kesim ise mesleki gelişim programları bağlamında etik ve kabul unsurlarının da yer alması gerektiğine işaret etmektedir. Üçüncüsü, Vieira vd. (2023) ile tutarlı şekilde, “STEM öğretmeni” kavramının hem araştırmada hem politikada ayrı olarak kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ve IPA III çerçevesinde tasarlanacak mesleki gelişim programlarının brans bağlamında duyarlı olması bu bulgunun sonucudur. Dördüncüsü, DPACK’in öngördüğü dijitalite farkındalığının öğretmen profilinde karşılık bulmasıdır. Çalışmanın sınırlılıkları da belirtilmelidir. Bulgular ağırlıklı betimsel istatistiklere dayanmakta, karmaşık örneklem tasarımına uygun standart hatalar hesaplanmamıştır; bu nedenle 1–3 puanlık farklar istatistiksel olarak anlamlı olmayabilir. STEM tanımı öğretmenin hedef sınıfının dersine dayanmakta ve ilgili soru döner form tasarımı gereği örneklemin bir bölümüne yöneltilmektedir. Bütün göstergeler öz-bildirime dayalıdır; Schmid vd.’nin (2021) vurguladığı öz-bildirim–uygulama tutarsızlığı bu veriler için de geçerlidir. İleriki araştırmaların, TALIS verilerini çok düzeyli modellerle ve gözlem ya da ders planı gibi ürün temelli verilerle bütünleştirmesi, STEM öğretmenlerinin dijital yeterliklerinin uygulamadaki karşılığını daha kapsamlı biçimde ortaya koyabilir.

Kaynakça

- Aleksieva, L. (2025). Preparing pre-service teachers for the digital transformation of education: Exploring university teacher educators’ views and practical strategies. *Education Sciences*, 15(4), 404. <https://doi.org/10.3390/educsci15040404>
- Avrupa Komisyonu. (2025). *A STEM education strategic plan: Skills for competitiveness and innovation* (COM/2025/89). European Commission. https://education.ec.europa.eu/sites/default/files/2025-03/STEM_Education_Strategic_Plan_COM_2025_89_1_EN_0.pdf
- Csapó, B., & Funke, J. (Eds.). (2017). *The nature of problem solving: Using research to inspire 21st century learning*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264273955-en>
- Falloon, G. (2020). From digital literacy to digital competence: The teacher digital competency (TDC) framework. *Educational Technology Research and Development*, 68(5), 2449–2472. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4>
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.). (2014). *STEM integration in K–12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>

Instefjord, E. J., & Munthe, E. (2017). Educating digitally competent teachers: A study of integration of professional digital competence in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 67, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.05.016>

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3, Article 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

KNIME. (2025). KNIME Analytics Platform (Sürüm 5.x) [Bilgisayar yazılımı]. <https://www.knime.com/knime-analytics-platform>

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2005). What happens when teachers design educational technology? The development of technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 32(2), 131–152. <https://doi.org/10.2190/0EW7-01WB-BKHL-QDYV>

Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., & Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7, Article 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>

Lin, K.-Y., Ku, C.-J., Wei, H.-T., Yu, K.-C., & Williams, P. J. (2025). Processes, challenges, and teacher roles in developing and implementing collaborative STEM curricula: Case studies of two Taiwanese schools. *International Journal of STEM Education*, 12, Article 24. <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00545-3>

Mattar, J., Santos, C. C., & Cuque, L. M. (2022). Analysis and comparison of international digital competence frameworks for education. *Education Sciences*, 12(12), 932. <https://doi.org/10.3390/educsci12120932>

Millî Eğitim Bakanlığı. (2016). *STEM eğitimi raporu*. Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü. https://yegitek.meb.gov.tr/stem_egitimi_raporu.pdf

Millî Eğitim Bakanlığı. (2023). *Dijital öğretmen yeterlikleri: Öğretmen eğitimi dijital ekosistemi projesi*. Millî Eğitim Bakanlığı. <https://ogedep.eba.gov.tr/wp-content/uploads/2025/08/dijitalyeterlikler.pdf>

Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli öğretim programları ortak metni*. Millî Eğitim Bakanlığı. <https://tymm.meb.gov.tr/ortak-metin>

National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>

Norhagen, S. L., Krumsvik, R. J., & Røkenes, F. M. (2024). Developing professional digital competence in Norwegian teacher education: A scoping review. *Frontiers in Education*, 9, Article 1363529. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1363529>

OECD. (2010). *The definition and selection of key competencies: Executive summary (DeSeCo)*. Organisation for Economic Co-operation and Development. [https://one.oecd.org/document/EDU/EDPC/ECEC/RD\(2010\)26/en/pdf](https://one.oecd.org/document/EDU/EDPC/ECEC/RD(2010)26/en/pdf)

OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>

OECD. (2024). *Teaching and Learning International Survey (TALIS) 2024: Teacher questionnaire, ISCED 1-2-3*. OECD. <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/programmes/edu/talis/talis2024questionnaires/TALIS2024TeacherQuestionnaireISCED1-2-3.pdf>

OECD. (2025a). *Teacher policies to support the use of digital resources in the classroom* (OECD Education Policy Perspectives No. 128). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/d16e9614-en>

OECD. (2025b). *TALIS 2024 database* [Veri seti]. OECD. 17 Ağustos 2026 tarihinde <https://www.oecd.org/en/data/datasets/talis-2024-database.html>, <https://webfs.oecd.org/talis/index.html> adresinden erişildi.

Ovcharuk, O. (2026). Teachers' professional development and digital readiness: Global trends and Ukrainian context. *Information Technologies and Learning Tools*, 113(3), 176–190. <https://doi.org/10.33407/itlt.v113i3.6608>

Portillo-Blanco, A., Guisasola, J., & Zuza, K. (2025). Integrated STEM education: Addressing theoretical ambiguities and practical applications. *Frontiers in Education*, 10, Article 1568885. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1568885>

Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu* (Y. Punie, Ed.). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>

Rehman, N., Huang, X., Mahmood, A., Zafeer, H. M. I., & Mohammad, N. K. (2025). Emerging trends and effective strategies in STEM teacher professional development: A systematic review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, Article 32. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04272-y>

Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2021). Self-reported technological pedagogical content knowledge (TPACK) of pre-service teachers in relation to digital technology use in lesson plans. *Computers in Human Behavior*, 115, Article 106586. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106586>

Thyssen, C., Huwer, J., Irion, T., & Schaal, S. (2023). From TPACK to DPACK: The “Digitally-related pedagogical and content knowledge” model in STEM education. *Education Sciences*, 13(8), 769. <https://doi.org/10.3390/educsci13080769>

UNICEF. (2022). *Educators' digital competency framework*. Europe and Central Asia Regional Office (ECARO). <https://www.unicef.org/eca/media/24526/file/Educators%27%20Digital%20Competence%20Framework.pdf>

Vieira, R. M., Tenreiro-Vieira, C., Bem-Haja, P., & Lucas, M. (2023). STEM teachers' digital competence: Different subjects, different proficiencies. *Education Sciences*, 13(11), 1133. <https://doi.org/10.3390/educsci13111133>