

FİNANSAL OKURYAZARLIK PERFORMANSINI TAHMİN ETMEDE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARININ ROLÜ: DANİMARKA, ABD VE MALEZYA KARŞILAŞTIRMASI

Ayça AKIN¹
Emine Ebru BOZÇELİK²

Öz

Bu çalışma, PISA 2022 verilerini kullanarak Danimarka, ABD ve Malezya'daki öğrencilerin finansal okuryazarlık performansını tahmin etmede makine öğrenmesi algoritmalarının etkinliğini ve belirleyici faktörleri karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Araştırmada, beş makine öğrenmesi algoritması (Rastgele Orman, Gradyan Artırma, Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşular ve Düzeltilmiş Lineer Regresyon) karşılaştırmalı olarak uygulanmış, topluluk öğrenme algoritmalarından özellikle Gradyan Artırma ve Rastgele Orman algoritmasının büyük veri setlerinde daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Ülkeler bazında farklı algoritmaların farklı başarılar göstermesi dikkat çekicidir. Matematik okuryazarlığı her üç ülkede de en güçlü yordayıcı olarak belirlenirken, okuma becerileri de önemli bir rol oynamıştır. Malezya'da sosyoekonomik faktörlerin daha belirleyici olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, finansal konularda özgüvenin Danimarka ve ABD'de etkili olduğu bulunmuştur. Temel bilişsel becerilerin (matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri) finansal okuryazarlıkla olan ilişkisi, eğitim stratejilerinde bu alanlara odaklanmanın önemini göstermektedir. Modeller, yüksek ve düşük performanslı öğrencilerin tahmininde zorluk yaşamış, bu da daha derin psikolojik ve kültürel faktörler ile bireysel farklılıklar ile ilgili değişkenlerin eklenmesi gerekliliğine işaret etmiştir. Çalışma, finansal okuryazarlık eğitiminde matematik okuryazarlığı ve okuma becerilerine odaklanan bütünlük politikalarının önemini vurgulamakta, aynı zamanda sosyoekonomik ve kültürel açıdan ülke bağlamına özgü stratejilerin geliştirilmesi gerektiğini önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Finansal okuryazarlık, ekonomi, makine öğrenmesi, PISA 2022.

¹ Doç. Dr., Antalya Belek Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, E-posta: aycaakin07@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6107-3487

² Dr. Öğr. Üyesi., Antalya Belek Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslar Bölümü, E-posta: ebrubaydak@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6491-0140

AKIN, A., BOZÇELİK, E.E., (2025). Finansal Okuryazarlık Performansını Tahmin Etmede Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Rolü: Danimarka, ABD ve Malezya Karşılaştırması. Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi, 25(68), 649-683. DOI:10.21560/spcd.vi. 1675398

THE ROLE OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN PREDICTING FINANCIAL LITERACY PERFORMANCE: A COMPARISON OF DENMARK, THE USA AND MALAYSIA

Abstract

This study aims to compare the effectiveness of machine learning algorithms and key determinants in predicting students' financial literacy performance in Denmark, the USA, and Malaysia using PISA 2022 data. Five machine learning algorithms—Random Forest, Gradient Boosting, Support Vector Machines, K-Nearest Neighbors, and Regularized Linear Regression—were applied and compared. Ensemble learning algorithms, particularly Gradient Boosting and Random Forest, demonstrated superior performance with large datasets. Notably, different algorithms showed varying levels of success across countries. Mathematical literacy emerged as the strongest predictor in all three countries, while reading skills also played a significant role. In Malaysia, socioeconomic factors were found to be more influential, whereas financial self-confidence had a notable impact in Denmark and the USA. The strong relationship between core cognitive skills (mathematical literacy and reading skills) and financial literacy underscores the importance of integrating these areas into educational strategies. However, the models faced challenges in accurately predicting the performance of both high- and low-achieving students, suggesting the need to incorporate deeper psychological, cultural, and individual difference variables. The study highlights the importance of holistic policies focusing on mathematical literacy and reading skills in financial education while recommending context-specific strategies tailored to socioeconomic and cultural factors.

Key Words: *Financial literacy, economy, machine learning, PISA 2022.*

GİRİŞ

Finansal okuryazarlık, günümüzün karmaşık ekonomik dünyasında bireylerin sağlıklı finansal kararlar alabilmeleri için gereken temel becerilerden biri haline gelmiştir (OECD, 2023a). Finansal okuryazarlık, yalnızca temel finansal terimleri anlama yeteneğinden çok daha fazlasını kapsar; para yönetimi, bütçeleme, yatırım yapma, borçlanma, risk değerlendirme ve uzun vadeli finansal planlama gibi becerileri içeren kapsamlı bir yetkinlik alanıdır (Lusardi ve Mitchell, 2014). Özellikle dijital finansal hizmetlerin hızla yaygınlaşması, kripto para birimleri ve karmaşık finansal ürünlerin ortaya çıkması, bireylerin finansal kararlar alırken değerlendirmeleri gereken faktörlerin çeşitliliğini ve karmaşıklığını artırmıştır (Klapper vd., 2015).

Ergenlik çağındaki öğrencilerin finansal okuryazarlık becerilerini erken yaşta kazanmaları, gelecekteki ekonomik refah düzeylerini doğrudan etkileyebilmektedir (Mitchell ve Lusardi, 2022). Yapılan araştırmalar, finansal eğitimin erken yaşlarda başlamasının, gençlerin ileriki yaşamlarında daha sağlıklı finansal alışkanlıklar geliştirmelerine, borç tuzaklarından kaçınmalarına ve emeklilik için daha etkin bir şekilde tasarruf etmelerine olanak sağladığını göstermektedir (Urban vd., 2020). Günümüz küresel ekonomisinde, bireylerin bütçe yönetimi, tasarruf, yatırım ve borçlanma gibi konularda bilinçli kararlar alabilmesi hem kişisel refah hem de ekonomik istikrar açısından kritik önem taşımaktadır (OECD, 2023a).

Finansal okuryazarlık düzeyi düşük bireylerin, mali krizlere karşı daha savunmasız oldukları ve uzun vadede ekonomik refahlarını sürdüremedikleri yaygın olarak kabul edilmektedir (Atkinson ve Messy, 2012). Dünyadaki 2008 küresel finansal krizi sonrası yapılan analizler, finansal okuryazarlık eksikliğinin yüksek faizli tutsat kredileri almak, aşırı borçlanmak ve tasarruf yetersizliği gibi sorunlu finansal davranışlarla güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Gerardi vd., 2010). Benzer şekilde, COVID-19 pandemisi sırasında yapılan araştırmalar, finansal bilgi düzeyi yüksek olan bireylerin ekonomik şoklara karşı daha dirençli olduklarını ve acil durum fonları gibi finansal güvenlik ağlarına sahip olma olasılıklarının daha yüksek olduğunu göstermiştir (Lusardi vd., 2021).

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) tarafından uygulanan Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA), 2012 yılından itibaren öğrencilerin finansal okuryazarlık seviyelerini ölçmeye başlamıştır (OECD, 2023b). PISA finansal okuryazarlık değerlendirmesi, 15 yaşındaki öğrencilerin günlük yaşamda karşılaşılabilecekleri finansal durumları anlama, analiz etme ve yönetme becerilerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu değerlendirme, para ve işlemler, finansal planlama ve yönetim, risk ve getiri ile finansal peyzaj olmak üzere dört içerik alanını kapsamaktadır (OECD, 2023b). PISA 2022 değerlendirmesi, öğrencilerin finansal bilgi düzeylerinin yanı sıra, finansal tutumları ve davranışlarını da değerlendirmiştir. Bu değerlendirme kapsamında, öğrencilerin dijital finansal hizmetleri kullanma becerileri, finansal kararlar alırken risk ve belirsizlikle başa çıkma stratejileri ve finansal hedeflere ulaşmak için planlama yapma yetenekleri gibi konular da ele alınmıştır. PISA 2022 değerlendirmesi, 81 ülkeden yaklaşık 690.000 öğrencinin katılımıyla gerçekleştirilmiş ve bu değerlendirmede finansal okuryazarlık modülü 16 ülkede uygulanmıştır (OECD, 2023c).

Bu farklı ekonomik ve eğitimsel bağlamlar göz önüne alındığında, PISA 2022 verilerinin kullanılması, öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeyleri arasındaki farklılıkları belirlemek ve eğitim politikalarına yönelik çıkarımlarda bulunmak açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Özellikle Danimarka, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Malezya gibi ülkeler, farklı ekonomik sistemlere ve eğitim politikalarına sahip olmaları nedeniyle bu alanda karşılaştırmalı bir analiz yapmak için uygun örnekler sunma potansiyeline sahiptir.

Danimarka, yüksek yaşam standartları, eşitlikçi toplum yapısı ve güçlü bir sosyal refah sistemi ile öne çıkmaktadır (Eurostat, 2022). Danimarka'nın eğitim sistemi, öğrenci merkezli, eleştirel düşünme becerilerini geliştirmeye odaklanan ve öğrencilere geniş özerklik tanıyan bir yapıya sahiptir. Finansal eğitim açısından, Danimarka'da finansal konular erken yaşlardan itibaren müfredata entegre edilmiş durumdadır ve öğrenciler temel matematik derslerinden günlük yaşam becerilerine kadar çeşitli derslerde finansal kavramlarla tanışmaktadır (Amagir vd., 2018). Bu nedenle ülkenin dijital altyapısının gelişmişliği ve finansal hizmetlerde dijitalleşmenin yaygınlığı,

öğrencilerin dijital finansal okuryazarlık becerilerini de desteklediğı öne sürülebilir.

ABD, finansal piyasaların oldukça karmaşık olduğı ve bireysel finansal yönetimin büyük önem taşıdığı bir ekonomiye sahiptir (Lusardi, 2019). ABD’de finansal eğitim politikaları eyaletler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Bazı eyaletlerde finansal eğitim zorunlu müfredatın bir parçası iken, diğerlerinde bu konuda daha az vurgu yapıldığı görölmektedir (Urban vd., 2020). Diğer yandan ABD’de öğrenciler, erken yaşlardan itibaren girişimcilik ve bireysel finansal sorumluluk kavramlarıyla tanışmakta, ancak sosyal güvenlik ağı ve kolektif finansal çözümlere daha az vurgu yapıldığı ifade edilmektedir (Lusardi, 2019; Urban vd., 2020). Bu durum ise ülke genelinde öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeylerinde güçlü bir görünüme engel olabilir ve bu heterojenliğe yol açabilir.

Malezya, gelişmekte olan bir ekonomi olarak finansal okuryazarlık konusunda farklı dinamiklere sahip olup, özellikle dijital finansal hizmetlerin yaygınlaşmasıyla dikkat çeken bir ülkedir (Bank Negara Malaysia, 2021). Ülkenin çok kültürlü yapısı, ekonomik gelişim sürecinde olması ve geleneksel ile modern finansal sistemlerin bir arada bulunması, finansal eğitimin karmaşık bir bağlamda gerçekleşmesine neden olabilir (Bank Negara Malaysia, 2021; Zulkhibri, 2018). Bu nedenle, İslami finans ilkelerinin eğitim sistemine entegrasyonu, Malezya’yı diğer ülkelerden ayıran önemli bir özellik olarak görölmektedir (Zulkhibri, 2018).

Bu üç ülkenin bu araştırma kapsamında seçilmesindeki temel neden, farklı kıtalarda yer alan ve ekonomik gelişmişlik düzeyleri farklı olan ülkelerdeki öğrencilerin finansal okuryazarlık performanslarını karşılaştırma imkânı sunmasıdır. Ayrıca, bu üç ülke performans spektrumunun farklı noktalarını temsil etmektedir: Danimarka, PISA 2022 finansal okuryazarlık değerlendirmesinde birinci sırada yer alarak yüksek performans gösteren ülkeyi temsil ederken; ABD ortalamanın hafif üzerinde bir performans sergilemekte; Malezya ise değerlendirmeye katılan ülkeler arasında son sırada yer alarak düşük performanslı ülke profilini yansıtmaktadır. Bu üç farklı performans seviyesi, finansal okuryazarlık başarısını belirleyen faktörlerin

çeşitli sosyoekonomik ve eğitim bağlamlarında nasıl farklılaştığını incelemek için ideal bir karşılaştırma zemini sunmaktadır.

Son yıllarda, eğitim araştırmalarında veri odaklı yaklaşımların artmasıyla birlikte, makine öğrenmesi teknikleri öğrenci performansını tahmin etmede önemli bir araç haline gelmiştir (Baker ve Inventado, 2016; Zhai vd., 2020). Geleneksel istatistiksel yöntemlerden farklı olarak, makine öğrenmesi algoritmaları, büyük veri setlerindeki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri ortaya çıkarabilme potansiyeline sahiptir (Romero ve Ventura, 2020). Bu bağlamda, Agasisti ve Longobardi (2017) ile Saarela ve Kärkkäinen (2015), PISA verilerini kullanarak öğrencilerin akademik performansını tahmin etmede regresyon ve makine öğrenmesi tekniklerinin etkinliğini göstermişlerdir. Benzer şekilde, Pan ve Cutumisu (2024), PISA 2018 verileriyle İngiltere ve Japonya'daki öğrencilerin yaşam memnuniyetini tahmin etmede makine öğrenmesi yöntemlerinin başarısını ortaya koymuşlardır. Makine öğrenmesi teknikleri, geleneksel istatistiksel yöntemlere kıyasla bir dizi avantaj sunmaktadır. İlk olarak, bu teknikler büyük ve karmaşık veri setlerindeki doğrusal olmayan ilişkileri keşfetme konusunda daha yeteneklidir (Athey ve Imbens, 2019). İkinci olarak, değişkenler arasındaki etkileşimleri otomatik olarak tespit edebilir ve modele dahil edebilirler (Varian, 2014). Üçüncü olarak, algoritmaları sayesinde özellik seçimi yolu ile öğrenci performansını tahmin etmede en etkili faktörler belirlenebilmektedir (Pan ve Cutumisu, 2024). Bu avantajlar göz önüne alındığında, makine öğrenmesi yaklaşımları, PISA gibi çok boyutlu ve geniş ölçekli değerlendirmelerdeki öğrenci performansını analiz etmede araştırmacılar için ideal araçlar olarak ele alınmaktadır.

Finansal okuryazarlık alanındaki temel teoriler, makine öğrenmesi yaklaşımlarının eğitim verilerini analiz etmedeki potansiyelini destekleyen güçlü bir kavramsal çerçeve sunmaktadır. Bu teorik temeller, öğrenci performansını etkileyen faktörlerin karmaşık doğasını anlamamızı sağlarken, makine öğrenmesi teknikleri bu karmaşıklığı ampirik olarak modellemek için gerekli araçları sağlamaktadır. İnsan sermayesi teorisi, bireylerin eğitim ve öğrenme yoluyla finansal bilgi ve beceriler kazanabileceğini ve bu yatırımların uzun vadede ekonomik refahlarını artırabileceğini öne sürer (Becker, 1964; Lusardi ve Mitchell, 2014). Finansal okuryazarlık, bu bağlamda, bireylerin

finansal piyasalarda etkin bir şekilde gezinmelerine olanak tanıyan bir insan sermayesi bileşeni olarak ele alınır. Örneğin, erken yaşta finansal eğitim alan bireylerin daha bilinçli finansal kararlar aldığı ve borç tuzaklarından kaçındığı gösterilmiştir (Urban vd., 2020). Makine öğrenmesi algoritmaları, insan sermayesi teorisini test etmek ve bu teorinin farklı sosyo-ekonomik bağlamlardaki geçerliliğini değerlendirmek için güçlü bir araçtır. Özellikle, PISA 2022 verileri gibi büyük ölçekli veri setlerinde, makine öğrenmesi algoritmaları (örn., Rastgele Orman veya Gradyan Artırma), finansal okuryazarlık performansını etkileyen faktörler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri ve etkileşimleri ortaya çıkarabilir. Örneğin, öğrencilerin eğitim seviyesi, ebeveyn sosyo-ekonomik durumu ve finansal eğitime erişimi gibi değişkenlerin finansal okuryazarlık başarısındaki göreceli önemini belirlemek için özellik önem analizleri yapılabilir (Pan ve Cutumisu, 2024). Bu analizler, insan sermayesi yatırımlarının (örn., finansal eğitim programları) hangi bağlamlarda ve hangi gruplar için daha etkili olduğunu anlamak için teorik bir temel sağlamaktadır.

Davranışsal ekonomi, bireylerin finansal karar alma süreçlerinde bilişsel önyargılar, sınırlı rasyonellik ve duygusal faktörlerden etkilendiğini öne sürmektedir (Kahneman ve Tversky, 1979; Thaler ve Shefrin, 1981). Finansal okuryazarlık bağlamında, davranışsal ekonomi teorisi, bireylerin finansal bilgi eksikliği kadar, finansal tutum ve davranışlarının da ekonomik sonuçları etkilediğini vurgulamaktadır. Örneğin, aşırı güven, riskten kaçınma veya kısa vadeli düşünme gibi davranışsal eğilimler, bireylerin tasarruf, yatırım veya borçlanma kararlarını şekillendirebilir (Lusardi et al., 2021). Makine öğrenmesi, bu davranışsal faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki etkisini modellemek için güçlü bir araçtır. PISA 2022 verilerinde, öğrencilerin finansal tutumları (örn., risk ve belirsizlikle başa çıkma stratejileri) ve davranışları (örn., bütçe yapma alışkanlıkları) gibi değişkenler, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak analiz edilebilir. Destek Vektör Makineleri veya K-En Yakın Komşular gibi algoritmalar, bu tür davranışsal verilerdeki karmaşık örüntüleri tespit ederek, hangi tutumların veya davranışların finansal okuryazarlık başarısıyla daha güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ortaya koyabilir. Bu yaklaşım, davranışsal ekonomi teorisinin öngörülerini doğrulamakla kalmaz,

aynı zamanda finansal eğitim müdahalelerinin hangi davranışsal önyargıları hedeflemesi gerektiğini belirlemek için pratik içgörüler sunmaktadır.

Sosyal Öğrenme Teorisi (Bandura, 1977) ile makine öğrenmesi arasındaki bağlantı, özellikle aile etkisi, okul ortamı ve akran gruplarının finansal okuryazarlık gelişimindeki rolünü anlamamızda kritik önem taşımaktadır. Bandura'nın teorisine göre, öğrenme büyük ölçüde gözlem ve taklit yoluyla gerçekleşmektedir. PISA verilerinde yer alan aile içi finansal tartışmalar, ebeveyn eğitim düzeyi, okulun sosyoekonomik profili gibi değişkenler, bu sosyal öğrenme süreçlerinin göstergeleri olarak kabul edilebilir. Makine öğrenmesi teknikleri, bu sosyal faktörler arasındaki etkileşimleri ve bunların öğrenci performansı üzerindeki birleşik etkilerini karmaşık örüntü tanıma yoluyla ortaya çıkarabilmektedir (Breiman, 2001).

Bilişsel Yük Teorisi (Cognitive Load Theory) (Sweller, 1988) ve Yapılandırmacı Öğrenme Teorisi (Piaget, 1977) perspektifinden ele alındığında, finansal kavramların öğrenilmesi sürecinde bilişsel kapasite sınırları ve mevcut bilgi yapılarının önemi vurgulanmaktadır. Bu teoriler, öğrencilerin farklı bilişsel yeteneklere sahip olduğunu ve öğrenme süreçlerinin bireysel farklılıklara göre şekillendiğini öne sürmektedir. PISA verilerinde yer alan matematik performansı, okuma becerileri, problem çözme yetenekleri gibi bilişsel göstergeler, bu teorik çerçevenin operasyonel karşılıklarını oluşturmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları, özellikle karar ağaçları ve rastgele orman algoritması, bu bilişsel faktörler arasındaki hiyerarşik ilişkileri ve etkileşimleri modellemede etkili araçlar sunmaktadır (Hastie vd., 2009).

Kültürel Sermaye Teorisi (Bourdieu, 1986) ile makine öğrenmesi yaklaşımları arasındaki ilişki, sosyoekonomik faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki etkilerini anlamamızda önemli içgörüler sağlamaktadır. Bourdieu'nun teorisine göre, aileden aktarılan kültürel sermaye, eğitimsel başarıyı önemli ölçüde etkilemektedir. PISA verilerinde yer alan ev kaynakları, ebeveyn meslekleri, kültürel etkinliklere katılım gibi değişkenler, kültürel sermayenin operasyonel göstergeleri olarak kabul edilebilir. Makine öğrenmesi teknikleri, bu sosyoekonomik faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki doğrusal olmayan ve etkileşimli etkilerini

keşfetmede geleneksel sosyolojik analizlerden daha detaylı bir perspektif sunabilmektedir (Athey ve Imbens, 2019).

Bu teorik çerçeveler bir arada değerlendirildiğinde, makine öğrenmesi yaklaşımlarının finansal okuryazarlık araştırmalarına sağladığı en önemli katkı, çok boyutlu ve karmaşık faktörlerin etkileşimini bütünsel olarak modelleyebilme kapasitesidir. Geleneksel istatistiksel yöntemler, genellikle tek tek faktörlerin doğrusal (lineer) etkilerini incelemeye odaklanırken, makine öğrenmesi algoritmaları faktörler arası sinerjik ilişkileri, eşik etkilerini ve koşullu bağımlılıkları otomatik olarak keşfedebilmektedir (Varian, 2014). Bu özellik, finansal okuryazarlık gibi multidisipliner bir alanda özellikle değerlidir, çünkü öğrenci performansı sadece bilişsel yeteneklerle değil, aynı zamanda sosyal, kültürel, ekonomik ve psikolojik faktörlerin karmaşık etkileşimiyle şekillenmektedir.

Ayrıca, makine öğrenmesi yaklaşımlarının özellik önem analizi (feature importance analysis) kapasitesi, yukarda bahsedilen teorilerin ampirik olarak test edilmesine imkân tanımaktadır. Bu analizler, hangi teorik faktörlerin belirli bir kültürel ve ekonomik bağlamda daha etkili olduğunu göstererek, finansal eğitim politikalarının geliştirilmesinde kanıt temelli rehberlik sağlayabilmektedir (Chen ve Guestrin, 2016). Bu bağlamda, mevcut çalışmanın Danimarka, ABD ve Malezya örneklerinde gerçekleştireceği karşılaştırmalı analiz, hem teorik çerçevelerin kültürler arası geçerliliğini test etme hem de her bir bağlamda en etkili faktörleri belirleme açısından önemli katkılar sağlayabilme potansiyeli taşımaktadır.

Mevcut çalışma, Pan ve Cutumisu'nun (2024) metodolojik yaklaşımından ilham alarak, PISA 2022 verilerini kullanarak Danimarka, ABD ve Malezya'daki öğrencilerin finansal okuryazarlık performansını etkileyen faktörleri belirlemek ve bu faktörlerin tahmin gücünü karşılaştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu çalışmada, beş farklı makine öğrenmesi algoritması (Rastgele Orman, Gradyan Artırma (GA), Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşular ve Düzeltilmiş Lineer Regresyon) kullanılarak öğrenci performansı tahmin edilecek ve en etkili tahmin modelinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, özellik önem analizleri yapılarak, her bir ülkede öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeyini etkileyen en kritik faktörler belirlenecektir.

Çalışmanın amacı, aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aramaktır:

1. Hangi makine öğrenmesi algoritması, Danimarka, ABD ve Malezya'daki öğrencilerin PISA 2022 finansal okuryazarlık performansını en iyi şekilde tahmin etmektedir?
2. Her bir ülkede öğrencilerin finansal okuryazarlık performansını etkileyen en önemli faktörler nelerdir?
3. Yüksek (Danimarka), orta (ABD) ve düşük (Malezya) performans gösteren ülkeler arasında, finansal okuryazarlık performansını belirleyen en etkili faktörler nasıl farklılaşmaktadır?

Bu araştırma, üç temel açıdan literatüre katkı sağlamayı hedeflemektedir. İlk olarak, finansal okuryazarlık alanında makine öğrenmesi tekniklerinin etkinliğini test ederek metodolojik bir katkı sunmaktadır. İkinci olarak, farklı performans düzeylerindeki ülkeleri karşılaştırarak, finansal okuryazarlık başarısını etkileyen faktörlerin farklı bağlamlarda nasıl değiştiğine ışık tutmaktadır. Üçüncü olarak, politika yapıcılar ve eğitimciler için, öğrencilerin finansal okuryazarlık becerilerini geliştirmeye yönelik stratejilerin tasarlanmasında kullanılabilecek kanıta dayalı öneriler sunmaktadır.

YÖNTEM

Veri Seti

Bu çalışmada, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) tarafından 2022 yılında düzenlenen Uluslararası Öğrenci Değerlendirme Programı (PISA) verileri kullanılmıştır. PISA, 15 yaşındaki öğrencilerin modern toplumda tam olarak katılım sağlayabilmeleri için gerekli temel bilgi ve becerileri ne derece edindiklerini ölçmeyi amaçlayan üç yılda bir yapılan bir değerlendirmedir (OECD, 2023a). 2022 yılında gerçekleştirilen PISA değerlendirmesine 81 ülke ve ekonomiden yaklaşık 690.000 öğrenci katılmıştır.

Çalışmamız, Danimarka ($n = 3621$), Amerika Birleşik Devletleri ($n = 3206$) ve Malezya'dan ($n = 4161$) toplam 10988 öğrenciyi içeren bir örneklem üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu üç ülke, farklı eğitim sistemleri, ekonomik yapıları ve kültürel geçmişleri temsil ettiği için özellikle seçilmiştir (Cordero

vd., 2022; Niu vd., 2025). Analizler için, PISA 2022'nin finansal okuryazarlık değerlendirmesi verilerine odaklanılmıştır.

Değişken Seçimi ve Teorik Hipotezler

Bağımlı değişken: Çalışmanın bağımlı değişkeni, PISA 2022 finansal okuryazarlık puanıdır. PISA, finansal okuryazarlığı «finansal kavramlar ve risklere ilişkin bilgi ve anlayış ile bu bilgi ve anlayışı çeşitli finansal bağlamlarda etkili kararlar almak, bireysel ve toplumsal finansal refahı geliştirmek ve ekonomik hayata katılımı sağlamak için kullanma becerisi ve motivasyonu» olarak tanımlamaktadır (OECD, 2023b). Finansal okuryazarlık değerlendirmesi, para ve işlemler, finansal planlama ve yönetim, risk ve ödül ile finansal peyzaj alanlarını kapsamaktadır. Puanlar, her öğrenci için beş olası değer (PV1-PV5) şeklinde sunulmaktadır ve analiz için bu değerlerin ortalaması kullanılmıştır (Rutkowski vd., 2022).

Bağımsız değişkenler: Makine öğrenmesi modellerimizde kullanılan bağımsız değişkenler, öğrencilerin kişisel özellikleri, aile geçmişleri, okul ortamları ve finansal tutumlarına ilişkin faktörleri içermektedir. PISA 2022 teorik çerçevesi (OECD, 2023b) doğrultusunda değişkenlerin finansal okuryazarlıkla ilişkisine dair teorik hipotezler, literatüre dayandırılmış ve aşağıdaki değişken grupları analize dahil edilmiştir:

1. Demografik değişkenler: Bu kapsamda cinsiyet, göçmen statüsü, evdeki eğitim kaynakları vb. değişkenler hesaba katılmıştır. Örneğin, cinsiyetin finansal okuryazarlık üzerinde etkisi olduğu, erkek öğrencilerin genellikle daha yüksek finansal okuryazarlık puanlarına sahip olduğu beklenmektedir, çünkü erkekler finansal risk alma ve özgüven konusunda daha yüksek eğilim gösterebilmektedir (Lusardi ve Mitchell, 2014). Göçmen statüsünün finansal okuryazarlığı olumsuz etkileyeceği öngörülmüş, çünkü göçmen öğrenciler dil bariyerleri ve kültürel farklılıklar nedeniyle finansal bilgiye erişimde zorluk yaşayabilmektedir (Xu ve Zia, 2012). Benzer şekilde evdeki eğitim kaynaklarının ise finansal okuryazarlığı olumlu etkileyeceği hipotez edilmiştir, çünkü bu kaynaklar öğrenme ortamını desteklemektedir (Huston, 2010).

2. Sosyoekonomik faktörler: Bu kapsamda Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Statü İndeksi (ESKSİ), ebeveyn eğitim düzeyi, ebeveyn mesleği vb. değişkenler hesaba katılmıştır. Örneğin, Sosyoekonomik statünün (ESKSİ) finansal okuryazarlıkla pozitif bir ilişkisi olacağı beklenmektedir, çünkü yüksek sosyoekonomik statü, finansal kaynaklara ve eğitime erişimi artırmaktadır (Bourdieu, 1986; Frisanchi, 2020). Ebeveyn eğitim düzeyinin de finansal okuryazarlığı olumlu etkileyeceği hipotez edilmiştir, çünkü ebeveynlerin eğitim seviyesi finansal bilgiye dolaylı yoldan katkı sağlamaktadır (Lusardi ve Mitchell, 2014).
3. Bireye ilişkin duyuşsal bileşenler: Bu kapsamda empati, duygusal kontrol ve stres direnci gibi duyuşsal bileşenler hesaba katılmıştır. Duyuşsal bileşenlerin, özellikle finansal özgüvenle birlikte, finansal okuryazarlık üzerinde olumlu bir etkisi olacağı öngörülmüştür. Bandura'nın (1997) öz-yeterlik teorisi referans alınarak, duygusal kontrol ve stres direnci, finansal karar alma süreçlerinde bireylerin kendine güvenini artırabilme potansiyeli bulunmaktadır (Lind vd., 2020).
4. Okul ve sınıf iklimine ilişkin bileşenler: Bu kapsamda öğrenci-öğretmen ilişkisi kalitesi, zorbalığa maruz kalma, sınıf iklimine gibi tutumlar hesaba katılmıştır. Olumlu bir okul ve sınıf ikliminin finansal okuryazarlığı destekleyeceği hipotez edilmiştir, çünkü öğrenci-öğretmen ilişkisi ve olumlu sınıf ortamı, öğrenme motivasyonunu destekler (OECD, 2023b). Zorbalığa maruz kalmanın ise finansal okuryazarlığı olumsuz etkileyeceği beklenmektedir, çünkü bu durum öğrencilerin özgüvenini ve öğrenme süreçlerini etkileyebilir (Huston, 2010).
5. Matematik okuryazarlığına ilişkin bilişsel ve duyuşsal bileşenler: Bu kapsamda matematikle ilgili bilişsel aktiviteler (örn., muhakeme yapma, matematiksel düşünmeye teşvik etme vb.), matematik özyeterliği, matematik kaygısı, matematiksel çaba gibi faktörlere yönelik tutumlar hesaba katılmıştır. Matematik okuryazarlığının finansal okuryazarlıkla güçlü bir ilişkisi olacağı öngörülmüştür, çünkü matematiksel beceriler finansal kavramların anlaşılmasında temel bir rol oynamaktadır

(Amagir vd., 2020). Matematik özyeterliğinin olumlu, matematik kaygısının ise olumsuz bir etkisi olacağı beklenmektedir (Skagerlund vd., 2018).

6. Akademik Faktörler: Bu kapsamda matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri (PISA test puanları) hesaba katılmıştır. Örneğin, matematik okuryazarlığı ve okuma becerilerinin finansal okuryazarlıkla güçlü bir ilişkisi olacağı hipotez edilmiştir. Matematik okuryazarlığı, finansal hesaplamalar için gerekliyken, okuma becerileri finansal metinleri anlamada kritik bir rol oynamaktadır (Kaiser ve Menkhoff, 2020; Maden ve Kaya, 2020).
7. Finansal davranış ve tutumlar: Bu kapsamda aileden finansal eğitim alma durumu, okulda finansal eğitim görme durumu, para biriktirme alışkanlıkları, bütçeleme davranışı, finansal ürünlere erişim, finansal durumlar ile ilgili özgüven gibi tutumlar hesaba katılmıştır. Finansal eğitim alan öğrencilerin ve finansal özgüvene sahip öğrencilerin daha yüksek finansal okuryazarlık puanları elde edeceği beklenmektedir. Çünkü aile ve okul temelli finansal eğitim, finansal bilgi ve davranışları güçlendirirken, para biriktirme ve bütçeleme alışkanlıkları finansal karar alma becerilerini desteklediği savunulmaktadır (Fernandes vd., 2014).
8. Dijital beceriler ile ilgili davranış ve tutumlar: Bu kapsamda dijital yeterlik üzerine öz-yeterlik, BİT erişim ve erişim hızı (okul ve ev) ve BİT ile öğrenci desteği gibi tutumlar hesaba katılmıştır. Dijital yeterlik ve BİT erişiminin finansal okuryazarlığı olumlu etkileyeceği hipotez edilmiştir, çünkü dijital araçlar finansal bilgiye erişimi kolaylaştırır ve modern finansal sistemlerde önemli bir rol oynamaktadır (OECD, 2023b).

Bu hipotezler, PISA 2022 teorik çerçevesine (OECD, 2023b) ve finansal okuryazarlık literatürüne dayanarak geliştirilmiştir. Değişken seçimi, bu hipotezlere uygun olarak yapılmış ve makine öğrenmesi modellerinde finansal okuryazarlık performansının yordayıcılarını belirlemek için kullanılmıştır.

Makine Öğrenme Modelleri

Çalışmada, öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeylerini tahmin etmek için çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Bu algoritmalar arasında Düzenlenmiş Doğrusal Regresyon, K-En Yakın Komşu (KNN), Rastgele Orman, Destek Vektör Makineleri ve Gradyan Artırma yer almaktadır (Hastie vd., 2009). Bu modeller, özellikle büyük veri setlerindeki karmaşık ilişkileri ortaya çıkarmak ve yüksek doğruluk oranlarına sahip tahminler yapmak için uygundur (Pan ve Cutumisu, 2024). Model performansını değerlendirmek için Performans Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Karesel Hata (MSE), Ortalama Karekök Hata (RMSE) ve R-kare (R^2) kriterleri ile kullanılmıştır.

Veri Ön İşleme ve Analiz Süreçleri

Veri ön işleme sürecinde, PISA 2022 verilerinden Danimarka, ABD ve Malezya örneklemi seçilmiştir. Analizde kullanılacak finansal okuryazarlık, matematik ve okuma becerileri gibi ilgili değişkenler belirlenmiş, eksik veriler Çoklu Atama ile Zincirleme Denklem (MICE) yöntemiyle doldurulmuştur (White vd., 2011). Kategorik değişkenler one-hot kodlama ile sayısallaştırılmış, sayısal değişkenler ise standartlaştırılmıştır. Son olarak, veri seti %80 eğitim ve %20 test seti olarak ikiye ayrılarak makine öğrenmesi modellerinin performansı değerlendirilmiştir. Model performansını artırmak için hiperparametre optimizasyonu yapılmış ve çapraz doğrulama (cross-validation) yöntemi kullanılmıştır (Kohavi, 1995). Rastgele Orman için optimize edilen hiperparametreler ağaç sayısı (n_estimators: [50, 100, 200]), maksimum derinlik (max_depth: [10, 20, None (sınırsız derinlik)]) ve minimum örnek bölme sayısı (min_samples_split: [2, 5, 10]) olmuştur. Gradyan Artırma için öğrenme oranı (learning_rate: [0,01, 0,1, 0,2]), ağaç sayısı (n_estimators: [50, 100, 200]) ve maksimum derinlik (max_depth: [3, 5, 7]) optimize edilmiştir. Düzeltilmiş Lineer Regresyon için L2 düzenleme katsayısı (alpha: [0,01, 0,1, 1,0]) denenmiştir. Hiperparametre optimizasyonu, hesaplama maliyeti ve doğruluk dengesini sağlamak için ızgara araması (grid search) yöntemiyle yapılmıştır (Bergstra ve Bengio, 2012). Model performansının güvenilirliğini değerlendirmek için beş katlı çapraz doğrulama (5-fold cross-validation) kullanılmıştır; bu yöntem, veri setinin büyüklüğü ve model stabilitesi için

uygun bir seçimdir (Kohavi, 1995). Çapraz doğrulama sırasında, her modelin MSE ve R^2 değerleri ortalaması alınarak performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca genel olarak da model performansını değerlendirmek için ortalama kare hatası (MSE), R-kare (R^2) ve kesinlik (precision) gibi metrikler kullanılmıştır. Modellerin yorumlanabilirliğini artırmak için, özellik önem derecesi analizi gerçekleştirilmiştir. Rastgele Orman ve Gradyan Artırma modelleri için SHAP (SHapley Additive exPlanations) değerleri hesaplanarak her bir değişkenin tahminlere olan katkısı değerlendirilmiştir (Lundberg ve Lee, 2017). Çalışmadaki analizlerde SPSS, JASP ve R programları kullanılmıştır.

Etik Hususlar ve Sınırlılıklar

Bu araştırmada kullanılan tüm veriler, OECD tarafından kamuya açık olarak sağlanan PISA 2022 veri setinden alınmıştır. Çalışma, ikincil veri analizi yöntemine dayandığından, bireysel katılımcılardan ek bir izin alınması gerekmemektedir. Ayrıca bu çalışmanın etiksel açıdan uygunluğu Antalya Belek Üniversitesi Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır. Ancak, çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Örneğin, veri setindeki eksik verilerin tamamlanması sürecinde tahminler kullanılmış olması, sonuçların doğruluğunu etkileyebilir. Ayrıca, makine öğrenmesi modellerinin karmaşıklığı, sonuçların yorumlanmasını zorlaştırabildiği öne sürülmektedir (Goodfellow vd., 2016).

Yapay zekâ (YZ) araçları, bu araştırmanın yazım sürecinde destekleyici görevlerde kullanılmıştır. Spesifik olarak, YZ, metnin dilbilgisi ve anlatım akıcılığını iyileştirmek için dil düzenleme (örn., dilbilgisi kontrolü, üslup önerileri), literatür taramasında ilgili çalışmaların özetlenmesini hızlandırmak ve R kodlarının hata denetimi ile optimizasyonunda (örn., veri ön işleme ve model eğitimi kodları) yardımcı olmak amacıyla kullanılmıştır. YZ, içerik üretimi veya analizlerin oluşturulmasında değil, yalnızca insan denetiminde destekleyici bir araç olarak işlev görmüştür. Tüm analizler, bulgular ve yorumlar yazarlara aittir ve YZ çıktıları titizlikle kontrol edilmiştir. Bu kullanım, akademik şeffaflık ve etik standartlara uygun olarak raporlanmıştır.

BULGULAR

Betimleyici İstatistikler

Tablo 1’de Danimarka, ABD ve Malezya’daki öğrencilerin PISA 2022 finansal okuryazarlık puanlarına ilişkin betimleyici istatistikler sunulmuştur. Danimarka öğrencileri en yüksek ortalama puana ($M = 521,45$; $SS = 87,32$) sahipken, bunu ABD ($M = 505,38$; $SS = 98,65$) ve Malezya ($M = 406,21$; $SS = 92,47$) takip etmiştir. Üç ülke arasındaki bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F[2, 10985] = 143,52$, $p < ,001$, $\eta^2 = 0,16$).

Tablo 1. PISA 2022 Finansal Okuryazarlık Puanlarının Ülkelere Göre Betimleyici İstatistikleri

Ülke	N	Ortalama	SS	Min.	Mak.
Danimarka	3621	521,45	87,32	516	525
ABD	3206	505,38	98,65	501	509
Malezya	4161	406,21	92,47	396	415
Toplam	10988	478,65	94,27	396	525

Çoklu Doğrusallık Değerlendirmesi

PISA 2022 verilerinde çok sayıda bağımsız değişken (örn., matematik okuryazarlığı, okuma becerileri, Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Statü İndeksi [ESKSİ], ebeveyn eğitim seviyesi ve finansal özgüven) kullanıldığından, değişkenler arasındaki olası çoklu doğrusallık sorunu dikkate alınmıştır. Bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonlar incelenmiş ve tüm ülke verileri göz önüne alındığında, finansal okuryazarlık ile matematik okuryazarlığı arasında güçlü bir ilişki ($r = 0,78$; $p < ,001$), finansal okuryazarlık ile okuma becerileri arasında orta düzey bir ilişki ($r = 0,65$; $p < ,001$) ve matematik okuryazarlığı ile okuma becerileri arasında orta düzey bir ilişki ($r = 0,68$, $p < ,001$) bulunmuştur. Bu korelasyonlar, özellikle matematik okuryazarlığı ile finansal okuryazarlık arasındaki yüksek ilişki, çoklu doğrusallık potansiyeline işaret etmektedir (Kutner vd., 2005). Çoklu doğrusallığı değerlendirmek için Varyans Şişirme Faktörü (VIF) analizi uygulanmış ve sonuçlar, matematik okuryazarlığı için $VIF = 2,8$, okuma becerileri için $VIF = 2,5$, ESKSİ için $VIF = 1,9$, ebeveyn eğitim seviyesi için $VIF = 1,7$ ve finansal özgüven için $VIF = 1,5$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler, $VIF < 5$ eşliğinin altında kalarak ciddi çoklu doğrusallık sorununun olmadığını göstermektedir (Kutner vd., 2005).

Çalışmamızda baskın olarak kullanılan Rastgele Orman ve Gradyan Artırma gibi topluluk öğrenme algoritmaları, çoklu doğrusallığa karşı dirençlidir, çünkü bu algoritmalar değişkenler arasındaki korelasyonları modelleme sürecinde otomatik olarak ele alır ve özellik önem sıralamalarını sağlam bir şekilde üretmektedir (Hastie vd., 2009).

Düzeltilmiş Lineer Regresyon modelinde çoklu doğrusallık daha kritik olabileceğinden, bu modelin sonuçları yorumlanırken dikkatli olunmuştur. Matematik okuryazarlığı ile okuma becerileri arasındaki orta düzey korelasyon ($r = 0,68$), parametre tahminlerinde olası çarpıklıklara yol açabilir. Ancak, SHAP (SHapley Additive exPlanations) değerleri kullanılarak değişkenlerin modele katkısı değerlendirilmiş ve özellik önem sıralamalarının tutarlılığı kontrol edilmiştir. Bu yaklaşım, topluluk öğrenme algoritmalarının sağladığı sağlamlıkla birleştğinde, çoklu doğrusallığın model sonuçları üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Makine Öğrenmesi Modellerinin Performansı

Aşama 1 ve Aşama 2’de farklı makine öğrenmesi algoritmalarının finansal okuryazarlık puanlarını tahmin edilmiştir. Aşama 1’de matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri değişkenleri hariç tutularak analiz yapılmıştır. Aşama 1 bağlamındaki matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri dahil edilmeden analiz sonuçları Danimarka için Rastgele Orman algoritması en yüksek performansı göstermiştir ($R^2 = 0,548$; $RMSE = 44,01$). Benzer şekilde, ABD’de de en başarılı sonuç Rastgele Orman algoritması ile elde edilmiştir ($R^2 = 0,521$; $RMSE = 48,52$). Malezya’da ise Gradyan Artırma algoritması en iyi performansı sergilemiştir ($R^2 = 0,463$; $RMSE = 59,40$). Bu bulgular, farklı ülkelerde finansal okuryazarlık performansının tahmin edilmesinde kullanılan makine öğrenimi algoritmalarının etkinliğinin, veri setinin yapısına ve ülkelere özgü faktörlere bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir (Bknz., Tablo 2).

Tablo 2. Makine Öğrenmesi Modellerinin Tahmin Performansı (Aşama 1: Matematik Okuryazarlığı ve Okuma Becerileri Dahil Edilmeden)

Ülke	Model	R^2	MAE	MSE	RMSE
Danimarka	Gradyan Artırma	0,523	35,12	2108,64	45,92
	Destek Vektör Makineleri	0,387	42,37	3012,25	54,88

Ülke	Model	R^2	MAE	MSE	RMSE
ABD	Düzenli Lineer Regresyon	0,412	40,85	2834,65	53,24
	K-En Yakın Komşu	0,365	43,67	3198,76	56,56
	Rastgele Orman	0,548	33,21	1936,48	44,01
	Gradyan Artırma	0,486	38,54	2583,42	50,83
	Destek Vektör Makineleri	0,352	46,21	3473,68	58,94
	Lineer Regresyon	0,389	43,76	3185,33	56,44
Malezya	K-En Yakın Komşu	0,341	45,89	3402,12	58,33
	Rastgele Orman	0,521	37,43	2354,18	48,52
	Gradyan Artırma	0,463	46,35	3528,43	59,40
	Destek Vektör Makineleri	0,312	55,78	4927,32	70,20
	Düzenli Lineer Regresyon	0,347	51,24	4228,67	65,03
	K-En Yakın Komşu	0,325	54,65	4782,12	69,15
	Rastgele Orman	0,442	47,82	3694,21	60,78

Matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri değişkenlerinin modellere dahil edilmesi, tahmin performansını önemli ölçüde artırmıştır. Her üç ülkede Gradyan Artırma algoritması en iyi performansı göstermiştir (Danimarka: $R^2 = 0,832$; $RMSE = 27,97$; ABD: $R^2 = 0,815$; $RMSE = 30,60$; Malezya: $R^2 = 0,782$; $RMSE = 37,85$). Araştırma bulguları, finansal okuryazarlık performansının tahmininde matematik ve okuma becerilerinin modele dahil edilmesinin, hata oranlarını önemli ölçüde azalttığını ve modelin açıklayıcılığını anlamlı derecede artırdığını göstermektedir.

Matematik ve okuma becerileri eklendiğinde, Ortalama Karekök Hata (RMSE) Danimarka'da %36,4, ABD'de %39,8 ve Malezya'da %36,3 oranında iyileşme sağlamıştır. Benzer şekilde, R^2 değerlerinde de dikkate değer artışlar kaydedilmiştir: Bu becerilerin modele dahil edilmesiyle, Danimarka'da R^2 değeri 0,548'den 0,832'ye (%51,8 artış), ABD'de 0,521'den 0,815'e (%56,4 artış) ve Malezya'da 0,463'ten 0,782'ye (%68,9 artış) yükselmiştir. Bu bulgular, temel bilişsel becerilerin finansal okuryazarlık performansındaki belirleyici rolünü ortaya koymuştur (Bknz., Tablo 3). Ayrıca model performansındaki bu değişim, matematik okuryazarlığı ve okuma becerilerinin doğrusal olmayan karmaşık ilişkilerini yakalama yeteneğini göstermiştir.

Tablo 3. Makine öğrenmesi modellerinin tahmin performansı (Aşama 2: Matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri dahil edildiğinde)

Ülke	Model	R^2	MAE	MSE	RMSE
Danimarka	Gradyan Artırma	0,832	21,34	782,45	27,97
	Destek Vektör Makineleri	0,687	28,65	1365,78	36,95
	Düzenli Lineer Regresyon	0,764	24,57	1021,63	31,96
	K-En Yakın Komşu	0,624	32,43	1723,54	41,52
	Rastgele Orman	0,812	22,18	834,21	28,88
ABD	Gradyan Artırma	0,815	23,76	936,42	30,60
	Destek Vektör Makineleri	0,658	31,24	1584,32	39,80
	Düzenli Lineer Regresyon	0,745	25,87	1123,45	33,52
	K-En Yakın Komşu	0,612	34,21	1872,54	43,27
	Rastgele Orman	0,793	24,65	982,31	31,34
Malezya	Gradyan Artırma	0,782	29,43	1432,56	37,85
	Destek Vektör Makineleri	0,624	38,76	2345,67	48,43
	Düzenli Lineer Regresyon	0,702	33,45	1782,34	42,22
	K-En Yakın Komşu	0,583	41,23	2654,32	51,52
	Rastgele Orman	0,768	30,67	1524,78	39,05

Matematik okuryazarlığı ve okuma becerilerinin modele dahil edilmesi, tahmin hatalarını önemli ölçüde azaltmıştır. Başlangıç modelindeki tüm ülkeler için ortalama tahmin hatası 44,15 puan iken, yeni modelde bu değer 29,50 puana düşmüştür. Modellerin tahmin hatalarının analizi, Danimarka'da yüksek performans gösteren öğrencilerin puanlarının genellikle olduğundan daha düşük tahmin edildiğini (ortalama tahmin hatası = -25,84 puan), ABD ortalamadan biraz yüksek performans gösteren öğrencilerin puanlarının genellikle olduğundan yine daha düşük tahmin edildiğini (ortalama tahmin hatası = -27,95 puan), Malezya'da ise düşük performans gösteren öğrencilerin puanlarının olduğundan daha yüksek tahmin edildiğini (ortalama tahmin hatası = +34,71 puan) göstermiştir. Bu iyileşme, özellikle puanların orta düzeylerinde (400-510 arası) daha belirgin olmuştur. Ancak, modelin tahmin performansı çok yüksek (>510) ve çok düşük (<400) puanlarda hala sınırlı kalmıştır. Bu durum, ekstrem değerlerdeki finansal

okuryazarlık performansını açıklamak için modele dahil edilmeyen başka faktörlerin varlığına işaret etmektedir. Özellikle, üstün performans gösteren öğrencilerin özellikleri (örn., yüksek motivasyon, özgüven, risk alma eğilimi vb.) ve çok düşük performans gösteren öğrencilerin özellikleri (örn., öğrenme güçlükleri, düşük motivasyon vb.) ile ilgili veriler bulunmadığından modele dahil edilememiştir. Farklı makine öğrenmesi algoritmalarının öğrenme eğrileri incelendiğinde, Gradyan Artırma ve Rastgele Orman modellerinin daha fazla veri ile daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum, topluluk öğrenme algoritmalarının veri miktarı arttıkça daha fazla örüntüyü yakalayabildiğini göstermiştir.

Özellik Önem Derecesi Analizi

Matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri dahil edildiğinde en iyi performans gösteren Gradyan Artırma modeli için SHAP değerlerine dayalı değişken önem derecelerini üç ülke için analiz edilmiştir. Tablo 4, Danimarka, ABD ve Malezya için en etkili beş değişkeni ve bunların standartlaştırılmış katsayılarını göstermektedir. Üç ülkede de matematik okuryazarlığı en önemli faktör olarak belirlenmiştir, ancak diğer faktörlerin sıralamasında farklılıklar görülmüştür.

Tablo 4. Ükelere Göre En Etkili Beş Değişken ve Standartlaştırılmış Katsayıları (Matematik Okuryazarlığı ve Okuma Becerileri Dahil)

Sıra	Danimarka	Katsayı	ABD	Katsayı	Malezya	Katsayı
1	Matematik okuryazarlığı	0,45	Matematik okuryazarlığı	0,40	Matematik okuryazarlığı	0,38
2	Finansal konularda özgüven	0,24	Dijital cihazlar kullanarak finansal konulardaki özgüven	0,28	ESKSİ	0,27
3	Okuma becerileri	0,18	Okuma becerileri	0,22	Okuma becerileri	0,24
4	Okul derslerinde çok disiplinli finansal eğitim	0,16	ESKSİ	0,18	Ebeveyn eğitim düzeyi	0,22
5	ESKSİ	0,14	Dijital becerilerdeki öz-yeterlik	0,15	Dijital cihazlar kullanarak finansal konulardaki özgüven	0,18

Ülkelere göre faktörlerin önem sıralamasında bazı farklılıklar gözlenmiştir. Danimarka' da sırasıyla matematik okuryazarlığı, finansal konularda özgüven, okuma becerileri, okul derslerinde çok disiplinli finansal eğitim ve ESKSİ [Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Statü İndeksi] en önemli faktörler olarak belirlenirken, ABD' de matematik okuryazarlığı ve dijital cihazlar kullanarak finansal konulardaki özgüven, okuma becerileri, ESKSİ ve dijital becerilerdeki öz-yeterlik sırasıyla en önemli faktörler olurken; Malezya' da ise matematik okuryazarlığı, ESKSİ, okuma becerileri, ebeveyn eğitim düzeyi ve dijital cihazlar kullanarak finansal konulardaki özgüven en önemli faktörler olarak öne çıkmıştır. Bu bulgular, finansal okuryazarlığı etkileyen faktörlerin kültürel ve ekonomik bağlama göre değişebileceğini göstermiştir.

SONUÇ

Bu çalışma, finansal okuryazarlık performansının tahmininde makine öğrenmesi algoritmalarının etkinliğini ve matematik okuryazarlığı ile okuma becerilerinin bu süreçteki kritik rolünü ortaya koymuştur. Araştırma bulguları, farklı ülkelerde (Danimarka, ABD ve Malezya) finansal okuryazarlık performansının tahmininde kullanılan algoritmaların etkinliğinin, veri setinin yapısına ve ülkelere özgü faktörlere bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir. Aşama 1'de, matematik okuryazarlığı ve okuma becerilerinin dahil edilmediği modellerde Rastgele Orman algoritması Danimarka ve ABD'de en iyi performansı gösterirken, Malezya'da Gradyan Artırma algoritması öne çıkmıştır. Aşama 2'de, bu iki değişkenin modele dahil edilmesi tahmin performansını önemli ölçüde artırmış, Gradyan Artırma algoritması her üç ülkede de en iyi sonuçları sağlamıştır. Matematik ve okuma becerilerinin, finansal okuryazarlık performansını önemli ölçüde açıklayan faktörler olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle, matematik okuryazarlığı ve okuma becerilerinin modele dahil edilmesi, tahmin performansını önemli ölçüde artırmış ve hata oranlarını azaltmıştır. Bu bulgular, temel bilişsel becerilerin finansal okuryazarlık performansındaki belirleyici rolünü vurgulamıştır. Gradyan Artırma ve Rastgele Orman gibi topluluk öğrenme algoritmalarının, özellikle daha fazla veri ile daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, bu algoritmaların karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri yakalama yeteneğini ortaya koymaktadır. Ancak, çok yüksek ve çok düşük puanlarda

model performansının sınırlı kalması, finansal okuryazarlık performansını etkileyen diğer faktörlerin (örn., bireysel farklılıklar, farklı motivasyonel bileşenler (örn., bilinçli farkındalık), dijital okuryazarlık bileşenleri ve öğrenme güçlükleri vb.) modele dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir.

TARTIŞMA

Bulgularımız, finansal okuryazarlık puanlarının tahmininde makine öğrenmesi algoritmaları kullanımına ilişkin önemli içgörüler sunmaktadır. Çalışma bulguları, farklı makine öğrenmesi algoritmalarının finansal okuryazarlık performansını tahmin etmedeki değişken etkinliğini vurgulamaktadır. Gradyan Artırma ve Rastgele Orman gibi topluluk öğrenme algoritmalarının daha büyük veri setleriyle daha başarılı oldukları gözlemlenmiştir. Bu durum ise topluluk öğrenme yöntemlerinin veri miktarı arttıkça daha iyi örüntüler yakalayabileceğini önermesini doğrulamıştır (Breiman, 2001).

Farklı ülkelerde farklı algoritmaların değişen performansları gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle, matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri değişkenleri modele dahil edildiğinde tahmin performansının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmamızda, matematik okuryazarlığı her üç ülkede de finansal okuryazarlığın en güçlü yordayıcısı olarak öne çıkmıştır. Bu bulgu, Amagir ve diğerlerinin (2020) çalışmasıyla paralellik göstermektedir; matematik becerileri ile finansal okuryazarlık arasında güçlü bir ilişki olduğunu vurgulayan araştırmacılar, matematiksel kavramların finansal karar verme süreçlerinde temel rol oynadığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Lusardi (2019) tarafından yürütülen araştırmalar da finansal kavramların anlaşılmasında matematiksel yetkinliğin önemini vurgulamıştır. Ayrıca, Lusardi ve Mitchell (2014) finansal karar verme süreçlerinde matematik becerilerinin önemini vurgulamış ve araştırmamızın bulguları bu teorik çerçeveyi doğrulamaktadır. Skagerlund ve diğerleri (2018) matematik kaygısı ve finansal okuryazarlık arasındaki ilişkiyi incelemiş ve matematik becerilerinin finansal kararlar üzerindeki etkisini göstermiştir.

Matematik okuryazarlığının yanı sıra, okuma becerilerinin de finansal okuryazarlık üzerinde önemli etkisi olduğu saptanmıştır. Bu bulgu, Kaiser ve Menkhoff'un (2020) çalışmasında da desteklenmiş; finansal metinleri anlama

ve yorumlama yeteneğinin finansal okuryazarlığın gelişiminde kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. Maden ve Kaya (2020), finansal bilgilerin büyük çoğunluğunun yazılı metinler aracılığıyla iletildiğini, bu nedenle okuma anlama becerilerinin finansal okuryazarlık için temel bir yetkinlik olduğunu belirtmiştir.

Ülkeler arası farklılıklar incelendiğinde, sosyoekonomik faktörlerin etkisinin ülkelere göre değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. ESKSİ [Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Statü İndeksi], özellikle Malezya'da ikinci en önemli faktör olarak öne çıkarken, ABD ve Danimarka'da daha düşük sıralarda yer almıştır. Ayrıca Malezya'da Ebeveyn Eğitim Seviyesi de en önemli dördüncü faktör olduğu gözlenmiştir. Bu bulgu, Frisanch'o'nun (2020) gelişmekte olan ekonomilerde sosyoekonomik faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğunu gösteren çalışmasıyla uyumludur. Ayrıca bu bulgular, finansal okuryazarlığın kültürel ve sosyoekonomik bağlamlara göre farklılık gösterdiğini ortaya koyan diğer çalışmalarla tutarlıdır (Huston, 2010; Xu ve Zia, 2012). Finansal konularda özgüven faktörünün Danimarka'da ikinci, ABD'de üçüncü sırada yer alması, Lind ve diğerlerinin (2020) Kuzey Avrupa ülkelerinde finansal öz-yeterliğin finansal davranışlar üzerindeki belirleyici etkisini gösteren çalışmasıyla örtüşmektedir. Bandura'nın (1997) öz-yeterlik teorisine göre de bireylerin belirli bir alanda kendilerine olan güvenleri, o alandaki performanslarını doğrudan etkilediğini vurgulanmaktadır.

Modellerin tahmin hatalarının analizi, çok yüksek ve çok düşük performans gösteren öğrencilerin puanlarının tahmininde zorluklar yaşandığını göstermiştir. Buzorluk, uç/ekstrem değerlerin modellenmesindeki karmaşıklıkla vurgulayan mevcut literatürdeki bulgularla uyumludur. Örneğin, Chen ve diğerleri (2025) tarafından yapılan sistematik bir literatür taramasında, öğrenci performansını tahmin etmek için makine öğrenimi uygulamaları yaygın olarak araştırılmış olsa da, bu uç noktalardaki öğrencilerin performansını doğru bir şekilde modellemek için çok önemli olan motivasyon, risk alma eğilimleri ve öğrenme zorlukları gibi psikolojik faktörlerin temsiline odaklanan ampirik çalışmaların eksikliği vurgulanmıştır.

Bulgularımız, topluluk öğrenme algoritmalarının (Gradyan Artırma ve Rastgele Orman) daha büyük veri setlerinde daha iyi performans gösterdiğini

ortaya koymuştur. Aşama 1’de matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri hariç tutulduğunda, modellerin tahmin performansının sınırlı kalması, finansal okuryazarlığın temel bilişsel becerilerle olan güçlü ilişkisine işaret etmektedir. Bu bulgu, Fernandes ve diğerlerinin (2014) finansal okuryazarlık müdahalelerinin etkinliğini değerlendirirken bilişsel faktörlerin rolünü vurgulayan meta-analiz çalışmasıyla tutarlıdır. Matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri dahil edildiğinde gözlenen performans artışı (%36-40 arası RMSE iyileşmesi ve %52-69 arası R^2 artışı), finansal okuryazarlığın geliştirilmesinde temel bilişsel becerilerin hedeflenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bulgu, finansal okuryazarlık eğitiminde bütünleşik yaklaşımların etkinliğini göstermektedir. Tahmin hatalarının ülkelere göre farklılık göstermesi (Danimarka ve ABD’de yüksek performanslı öğrencilerin puanlarının olduğundan daha düşük, Malezya’da düşük performanslı öğrencilerin puanlarının olduğundan daha yüksek tahmin edilmesi), eğitim sistemleri ve kültürel faktörlerin etkisini yansıtmaktadır. Bu durum, OECD’nin (2023a) finansal okuryazarlığın kültürler arası karşılaştırmalı analizini sunan raporundaki bulgularla uyumludur.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırmanın birkaç önemli sınırlılığı bulunmaktadır. İlk olarak, çalışmada kullanılan veriler kesitsel özellik taşımaktadır, bu nedenle değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler hakkında kesin çıkarımlar yapılamamaktadır. Veri setinde yer almayan bireysel motivasyon (her bir alan ve bütünsel olarak), risk alma eğilimi, bilinçli farkındalık gibi psikolojik faktörler ve dijital okuryazarlığın diğer bileşenleri, modelin tahmin gücünü etkilemiş olabilir. İkinci olarak, makine öğrenmesi modellerinin korelasyonel doğası, finansal okuryazarlık performansı ile ilişkili yordayıcıların nedensel etkilerini belirlemede sınırlıdır (Athey ve Imbens, 2019). Çalışmamızda, matematik okuryazarlığının her üç ülkede de en güçlü yordayıcı olması, bu becerinin finansal okuryazarlıkla güçlü bir ilişkisi olduğunu gösterir; ancak, bu ilişkinin nedensel olup olmadığını (örn., matematik becerilerinin finansal okuryazarlığı doğrudan artırıp artırmadığını) belirlemek için randomize kontrollü deneyler veya araçsal değişken yaklaşımları gibi nedensel çıkarım yöntemlerine ihtiyaç vardır (Angrist ve Pischke, 2009; Pearl, 2000). Benzer şekilde, Malezya’da

sosyoekonomik faktörlerin (ESKSİ ve ebeveyn eğitim seviyesi) ve Danimarka ile ABD’de finansal özgüvenin yüksek tahmin gücü, bu değişkenlerin finansal okuryazarlıkla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır, ancak bu ilişkilerin yönü veya nedenselliği konusunda kesin bir çıkarım yapılması mümkün değildir. Örnek vermek gerekirse, sosyoekonomik durumun finansal okuryazarlığı mı etkilediği, yoksa finansal okuryazarlığın sosyoekonomik durumu mu etkilediği, kesitsel verilerle ayırt edilebilmesi açısından yeterli değildir.

Bu sınırlılık, çalışmamızda “performansı etkileyen faktörler” ifadesinin kullanımında dikkatli olunmasını gerektirmiştir. Bu ifade, nedensel bir etkiyi iddia etmekten ziyade, makine öğrenmesi modellerinde yüksek açıklayıcı güce sahip yordayıcıları tanımlamak için kullanılmıştır. Bulgularımız, insan sermayesi teorisi (Becker, 1964) ile uyumludur; matematik ve okuma becerileri, finansal karar alma yetkinliklerini destekleyen bilişsel sermaye bileşenleri olarak öne çıkar. Sosyoekonomik faktörlerin Malezya’daki rolü, sosyal öğrenme teorisiyle (Bandura, 1977) bağdaştırılabilir; bu teori, bireylerin finansal davranışlarının sosyal çevrelerinden etkilendiğini savunmaktadır. Finansal özgüvenin Danimarka ve ABD’deki önemi ise davranışsal ekonomi teorisiyle (Thaler ve Shefrin, 1981) ilişkilendirilebilir, çünkü bireylerin finansal tutumları karar alma süreçlerini şekillendirmektedir. Bu teorik bağlantılar, bulgularımızın finansal okuryazarlık literatürü içindeki yerini güçlendirirken, korelasyonel doğaları nedeniyle nedensel çıkarımlar yapmaktan kaçınılmıştır.

Makine öğrenmesi modellerinin bir diğer sınırlılığı, nedensel etkileri modellemek için değil, tahmin doğruluğunu optimize etmek için tasarlanmış olmalarıdır (Varian, 2014). Özellik önem analizleri (örn., SHAP değerleri), hangi değişkenlerin tahmin modellerinde daha etkili olduğunu belirlemede faydalıdır, ancak bu değişkenlerin finansal okuryazarlık üzerindeki gerçek nedensel etkilerini açıklamakta yeterli değildir. Örneğin, matematik okuryazarlığının yüksek önem sırası, bu becerinin finansal okuryazarlıkla ilişkili olduğunu gösterir, ancak bu ilişkinin ortak faktörler (örn., genel bilişsel yetenekler veya eğitim kalitesi) veya ters nedensellikten (örn., finansal okuryazarlığın matematik becerilerini güçlendirmesi) kaynaklanıp kaynaklanmadığı belirsizdir. Gelecekteki çalışmalar, nedensel makine öğrenmesi teknikleri (örn., çift makine öğrenmesi veya hedefe yönelik

maksimum olasılık tahmini) veya deneysel tasarımlar kullanarak bu ilişkilerin yönünü ve gücünü daha net bir şekilde ortaya koyabileceği düşünülmektedir (Athey ve Imbens, 2019). Bu nedenle, gelecekteki finansal eğitim müdahalelerinin matematik okuryazarlığı veya finansal özgüven üzerindeki etkisini değerlendiren randomize kontrollü deneysel çalışmalar, bu bulguların nedensel temelini aydınlatabilme potansiyeline sahiptir.

Üçüncü olarak, çalışmada ülke içi bölgesel farklılıklar analizlere dahil edilmemiştir. Özellikle ABD gibi federatif bir yapıda, eyaletler arasında finansal eğitim politikaları, sosyoekonomik koşullar ve kültürel normlar açısından önemli heterojenlik bulunmaktadır (Urban vd., 2020). Örneğin, bazı eyaletlerde finansal eğitim zorunlu bir müfredat parçasıyken, diğerlerinde bu konuda daha az vurgu yapılmaktadır (Lusardi, 2019). Bu bölgesel farklılıklar, finansal okuryazarlık performansındaki varyasyonları etkileyebilir, ancak PISA 2022 veri seti ülke düzeyinde toplandığından, bu tür bir analiz mümkün olamamıştır. Benzer şekilde, Danimarka ve Malezya'da da bölgesel sosyoekonomik veya eğitimsel farklılıklar finansal okuryazarlık sonuçlarını etkileyebilir, ancak bu çalışmada bu faktörler incelenememiştir. Bu sınırlılıklar göz önüne alındığında, gelecekteki çalışmalar, ülke içi bölgesel farklılıkları incelemek için daha ayrıntılı veri setleri kullanabilir. Örneğin, ABD'de eyalet bazlı finansal eğitim politikalarının veya sosyoekonomik koşulların finansal okuryazarlık üzerindeki etkisini değerlendiren çalışmalar, bu heterojenliği daha iyi anlamayı sağlayabilir. Benzer şekilde, Danimarka ve Malezya'da bölgesel ekonomik veya kültürel faktörlerin analiz edilmesi, finansal okuryazarlık performansındaki varyasyonları açıklamaya yardımcı olabilir. Bu tür çalışmalar, finansal eğitim politikalarının bağlama özgü tasarlanmasına yönelik daha kapsamlı öneriler sunabilme potansiyeline sahiptir.

Dördüncü olarak, finansal okuryazarlık üzerinde etkili olabilecek kültürel ve bağlamsal faktörler (finansal sistemlerin ulusal özellikleri, finansal eğitim politikaları vb.) derinlemesine incelenememiştir. Fernandes ve diğerleri (2014) de, sosyokültürel faktörlerin finansal davranışlar üzerindeki etkisini vurgulamıştır. Üçüncü olarak, araştırma sadece üç ülke ile sınırlıdır ve bu ülkeler farklı ekonomik gelişmişlik düzeylerini temsil ediyor olsa da, bulgularımızın genellenebilirliği sınırlıdır.

Son olarak, makine öğrenmesi modellerinin “kara kutu” doğası, bazı değişkenler arasındaki kompleks ilişkilerin tam olarak anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. SHAP değerleri kullanılarak bu sınırlılık kısmen aşılmaya çalışılsa da, tüm etkileşimler tam olarak açıklanamamıştır. Rastgele Orman ve Gradyan Artırma gibi topluluk algoritmalarının karmaşık yapısı, örneğin matematik okuryazarlığı ($r = 0.78$) ile finansal okuryazarlık arasındaki ilişkinin veya ESKSİ ile finansal özgüven arasındaki potansiyel etkileşimlerin tam olarak nasıl işlediğini açıklamayı güçleştirmektedir (Molnar, 2019). SHAP değerleri, matematik okuryazarlığı, ESKSİ ve finansal özgüven gibi yordayıcıların tahminlere katkılarını açıklayarak bu sınırlılığı kısmen aşmış, ancak karmaşık etkileşimler (örn., moderasyon veya doğrusal olmayan ilişkiler) tam olarak çözümlenememiştir (Lundberg ve Lee, 2017). Bu durum, özellikle finansal okuryazarlık politikalarına yönelik bağlama özgü öneriler geliştirirken, örneğin matematik eğitime mi yoksa finansal özgüvene mi öncelik verileceği konusunda, yorumlanabilirliği kısıtlayabilmektedir (Rudin, 2019).

Sonuç olarak, bu çalışma, makine öğrenmesi modellerinin finansal okuryazarlık performansını tahmin etme ve yordayıcıları belirlemedeki gücünü ortaya koyarken, nedensellik konusundaki sınırlarını açıkça kabul etmektedir. Bulgular, finansal okuryazarlık eğitiminde matematik ve okuma becerilerine odaklanan bütünleşik politikaların önemini vurgulamaktadır, ancak bu becerilerin finansal okuryazarlığı doğrudan artırdığına dair nedensel bir çıkarım yapmaktan kaçınmaktadır Malezya’da sosyoekonomik faktörlere, Danimarka ve ABD’de finansal özgüvene yönelik bağlama özgü stratejiler, eğitim politikaları için veri odaklı öneriler sunmaktadır. Bu nedenler araştırma kapsamında bahsedilen sınırlılıklar dikkate alınarak gelecekteki çalışmalar, nedensel çıkarım yöntemleriyle bu bulguları derinleştirerek, finansal okuryazarlık eğitiminin bireysel ve toplumsal etkilerini daha kapsamlı bir şekilde aydınlatması faydalı olacağına inanılmaktadır.

Gelecek Araştırma Önerileri

Bu çalışmanın bulguları ve sınırlılıkları ışığında, gelecekteki araştırmalar için çeşitli öneriler sunulmaktadır. İlk olarak, finansal okuryazarlığın zaman içindeki gelişimini incelemek için boylamsal çalışmalar yapılmasının

faydalı olacağına inanılmaktadır. Bu tür araştırmalar, öğrencilerin finansal becerilerinin gelişim sürecini ve bu süreçte etkili olan faktörleri daha iyi anlamaya katkıda bulunacaktır (Carpena ve Zia, 2020). İkinci olarak, özellikle, diğer kişisel özellikler dan risk alma, bilinçli farkındalık gibi duyuşsal faktörler, bireysel farklılıklar (örn., düşük/yüksek performans ve öğrenme güçlükleri gibi) ve diğer sosyal çevre faktörler (örn., ailenin finansal eğilimleri ve farkındalıkları, okulda verilen finansal eğitim kalitesi gibi) dikkate alınarak daha geniş ve çeşitli veri setleri ile modele dahil edilerek model performansı daha da iyileştirilebilir. Ayrıca, özellikle çok yüksek ve çok düşük performans gösteren öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeylerini daha iyi açıklayabilir (Riitsalu ve Murakas, 2019). Üçüncü olarak, nicel analizleri nitel verilerle destekleyen karma yöntem araştırmaları, finansal okuryazarlığın karmaşık doğasını daha iyi anlamak için yapılmalıdır. Bu yaklaşım, kültürel ve bağlamsal faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki etkisini daha derinlemesine incelemeye olanak tanıyacaktır. Dördüncü olarak, matematik okuryazarlığı ve okuma becerilerini hedefleyen eğitim müdahalelerinin finansal okuryazarlık üzerindeki etkisini değerlendiren deneysel çalışmalar yapılması faydalı olacağına inanılmaktadır. Bu tür araştırmalar, finansal eğitim programlarının tasarımı için önemli içgörüler sağlayacağı düşünülmektedir (Urban vd., 2020). Beşinci olarak, derin öğrenme ve nedensel makine öğrenmesi gibi daha gelişmiş teknikler kullanılarak, finansal okuryazarlık ve belirleyici faktörler arasındaki karmaşık ilişkiler daha detaylı incelenebilir. Altıncı olarak, daha fazla ülkeyi kapsayan karşılaştırmalı çalışmalar, kültürel ve ekonomik faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki etkisini daha geniş bir perspektiften anlamamıza yardımcı olacağına inanılmaktadır (Klapper vd., 2015). Son olarak, dijital finansal hizmetlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, dijital finansal okuryazarlığın belirleyicilerini ve geleneksel finansal okuryazarlıkla ilişkisini inceleyen araştırmalar yapılması yaşadığımız dijital dünyada faydalı olabilir. Bu öneriler, finansal okuryazarlık alanındaki bilgi birikimini artıracak ve politika yapıcılar için daha etkili stratejiler geliştirilmesine katkıda bulunabilecektir.

TEORİK VE PRATİK ÇIKARIMLAR

Teorik Çıkarımlar

Araştırmamızın teorik çıkarımları, finansal okuryazarlığın bilişsel temellerine ve sosyoekonomik faktörlerin rolüne ilişkin önemli bulgular sunmaktadır. İlk olarak, matematik okuryazarlığı ve okuma becerileri gibi bilişsel faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki güçlü etkisi, finansal okuryazarlığın bilişsel temellere dayandığı teorisini desteklemektedir (Carpena vd., 2019; Lusardi ve Mitchell, 2014). Bu bulgu, finansal okuryazarlığın yalnızca finansal bilgiye değil, aynı zamanda temel bilişsel becerilere de bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci olarak, sosyoekonomik faktörlerin finansal okuryazarlık üzerindeki etkisinin ülkelere göre değişkenlik göstermesi, finansal sosyalleşme teorisini desteklemektedir (Bronfenbrenner ve Morris, 2006; Shim vd., 2015). Shim ve diğerleri (2019), sosyoekonomik çevrenin finansal davranışların şekillenmesindeki kritik rolünü vurgulamıştır. Üçüncü olarak, finansal konularda özgüvenin önemli bir faktör olarak öne çıkması, Bandura'nın (1997) öz-yeterlik teorisini desteklemektedir. Bu teori, belirli bir alandaki özgüvenin o alandaki performansı doğrudan etkilediğini öne sürmektedir. Son olarak, SHAP değerlerinin kullanımı, makine öğrenmesi modellerinin yorumlanabilirliğine katkıda bulunmuştur. Bu yaklaşım, Molnar ve diğerlerinin (2022) açıklanabilir yapay zekâ çalışmalarıyla uyumludur ve modellerin tahminlerinin daha şeffaf hale getirilmesine olanak tanır.

Pratik Çıkarımlar

Araştırmamızın pratik çıkarımları, finansal okuryazarlık eğitimi ve politikalarının geliştirilmesine yönelik önemli öneriler sunmaktadır. İlk olarak, matematik ve okuma becerilerinin finansal okuryazarlık üzerindeki güçlü etkisi, bu temel becerilerin geliştirilmesine yönelik eğitim politikalarının önemini vurgulamaktadır. OECD (2022), eğitim müfredatlarında finansal eğitim ile matematik eğitiminin entegre edilmesini önermektedir. Matematik okuryazarlığının finansal okuryazarlıkla güçlü ilişkisi ($r = 0.78$), müfredatta finansal senaryoların (örn., bütçeleme, faiz hesaplamaları ve yatırım planlama) matematik derslerine entegre edilmesinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu noktada Danimarka ve ABD'de lise matematik müfredatına finansal problem çözme modülleri eklenebilir; Malezya'da ise temel aritmetik derslerine yerel

ekonomik bağlama uygun finansal örnekler dahil edilebilmesi faydalı olabilir (Amagir et al., 2020). Ayrıca, öğretmenlere finansal okuryazarlık pedagojisi eğitimi verilerek bu entegrasyonun etkinliği artırılabilir.

İkinci olarak, finansal okuryazarlığı etkileyen faktörlerin ülkelere göre farklılık göstermesi, finansal eğitim programlarının kültürel ve ekonomik bağlama uyarlanması gerektiğini göstermektedir. Bu da finansal eğitim programlarının yerel ihtiyaçlara ve özelliklere göre tasarlanmasının etkinliği artırabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca, ülkelere göre farklılık gösteren faktörler, eğitim içeriğinin yerel ihtiyaçlara göre şekillendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Klapper vd., 2021). Danimarka ve ABD’de finansal özgüvenin yüksek etkisi, bu kapsamda öz-yeterliği geliştirmek için atölyeler ve mentorluk programlarının dahil edilmesi faydalı olabilir; Malezya’da ise ebeveyn eğitim düzeyinin önemi, ailelere yönelik finansal okuryazarlık seminerlerini ve okul-aile iş birliği projelerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Üçüncü olarak, Malezya’da ebeveyn eğitim düzeyinin önemli bir faktör olması, finansal eğitim programlarına aile katılımının teşvik edilmesi gerektiğini göstermektedir (Kaiser ve Menkhoff, 2020). Dördüncü olarak, finansal konulardaki özgüvenin finansal okuryazarlık üzerindeki etkisi, öz-yeterliği geliştirmeye yönelik stratejilerin finansal eğitim programlarına dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir. Mishra ve diğerleri (2024) finansal öz-yeterliği geliştirmenin finansal davranışlar üzerindeki olumlu etkisini vurgulamıştır. Bu bağlamda, finansal simülasyonlar ve interaktif dijital uygulamalar (örn., bütçe yönetimi oyunları) tüm ülkelerde öğrencilerin özgüvenini artırabilir. Son olarak, makine öğrenmesi algoritmalarının finansal okuryazarlık faktörlerini belirleme ve tahmin etmedeki başarısı, finansal eğitim politikalarının geliştirilmesinde veri odaklı yaklaşımların önemini ortaya koymaktadır. Politika yapıcılar, bu modellerden elde edilen yordayıcı sıralamalarını (örn., matematik okuryazarlığının önceliği) kullanarak pilot eğitim programları tasarlayabilir ve etkilerini değerlendirebilir. Bu bulgular, politika yapıcılarının daha etkili ve hedefli finansal eğitim programları tasarlamasına yardımcı olabilir.

KAYNAKÇA

- Amagir, A., Groot, W., Maassen van den Brink, H., and Wilschut, A. (2018). A review of financial-literacy education programs for children and adolescents. *Citizenship, Social and Economics Education*, 17(1), 56-80. <https://doi.org/10.1177/2047173417719555>
- Agasisti, T., and Longobardi, S. (2017). Equality of educational opportunities, schools' characteristics and resilient students: An empirical study of EU-15 countries using OECD-PISA 2009 data. *Social Indicators Research*, 134(3), 917-953. <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1464-5>
- Angrist, J. D., and Pischke, J. S. (2009). *Mostly harmless econometrics: An empiricist's companion*. Princeton University Press.
- Athey, S., and Imbens, G. W. (2019). Machine learning methods that economists should know about. *Annual Review of Economics*, 11, 685-725. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080217-053433>
- Atkinson, A., and Messy, F. (2012). *Measuring financial literacy: Results of the OECD/INFE pilot study*. OECD Publishing.
- Baker, S., and Inventado, P. S. (2016). Educational data mining and learning analytics: Potentials and possibilities for online education. In G. Veletsianos (Ed.), *Emergence and Innovation in Digital Learning* (83-98). <https://doi.org/10.15215/aupress/9781771991490.01>
- Bank Negara Malaysia. (2021). *Financial stability review - Second half 2021*. Kuala Lumpur: Bank Negara Malaysia.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W.H. Freeman and Company.
- Becker, G. S. (1964). *Human capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. National Bureau of Economic Research, University of Chicago Press.
- Bergstra, J., and Bengio, Y. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *Journal of Machine Learning Research*, 13(1), 281-305.
- Belkhir, M., Brouard, M., Brunk, K. H., Dalmoro, M., Ferreira, M. C., Figueiredo, B., ... and Smith, A. N. (2019). Isolation in globalizing academic fields: A collaborative autoethnography of early career researchers. *Academy of Management Learning and Education*, 18(2), 261-285.
- Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241-258). Greenwood.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Bronfenbrenner, U., and Morris, P. A. (2006). The bioecological model of human development. In W. Damon, R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology: Theoretical models of human development* (pp. 793-828). John Wiley and Sons.

- Carpena, F., Cole, S., Shapiro, J., and Zia, B. (2019). The ABCs of financial education: Experimental evidence on attitudes, behavior, and cognitive biases. *Management Science*, 65(1), 346-369. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2017.2819>
- Carpena, F., and Zia, B. (2020). The causal mechanism of financial education: Evidence from mediation analysis. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 177, 143-184. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2020.05.001>
- Chen, T., and Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785-794). ACM. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chen, J., Zhou, X., Yao, J., and Tang, S. K. (2025). Application of machine learning in higher education to predict students' performance, learning engagement and self-efficacy: A systematic literature review. *Asian Education and Development Studies*. <https://doi.org/10.1108/AEDS-08-2024-0166>
- Cordero, J. M., Gil-Izquierdo, M., and Pedraja-Chaparro, F. (2022). Financial education and student financial literacy: A cross-country analysis using PISA 2012 data. *The Social Science Journal*, 59(1), 15-33. <https://doi.org/10.1016/j.soscij.2019.07.011>
- Eurostat. (2022). *Living conditions in Europe - 2022 edition*. Publications Office of the European Union.
- Fernandes, D., Lynch Jr, J. G., and Netemeyer, R. G. (2014). Financial literacy, financial education, and downstream financial behaviors. *Management Science*, 60(8), 1861-1883. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2013.1849>
- Frisancho, V. (2020). The impact of financial education for youth. *Economics of Education Review*, 78, 101918. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2019.101918>
- Gerardi, K., Goette, L., and Meier, S. (2010). Financial literacy and subprime mortgage delinquency: Evidence from a survey matched to administrative data. *Federal Reserve Bank of Atlanta Working Paper Series*, No. 2010-10. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1600905>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., and Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Cambridge: MIT Press.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H., and Friedman, J. H. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*. New York: Springer.
- Huston, S. J. (2010). Measuring financial literacy. *Journal of Consumer Affairs*, 44(2), 296-316. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6606.2010.01170.x>
- Kahneman, D., and Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-291. <https://doi.org/10.2307/1914185>
- Kaiser, T., and Menkhoff, L. (2020). Financial education in schools: A meta-analysis of experimental studies. *Economics of Education Review*, 78, 101930. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2019.101930>

- Klapper, L., Lusardi, A., and Van Oudheusden, P. (2015). *Financial literacy around the world: Insights from the Standard and Poor's ratings services global financial literacy survey*. Global Financial Literacy Excellence Center.
- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 14(2), 1137-1145.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., and Li, W. (2005). *Applied linear statistical models*. McGraw-Hill/Irwin.
- Lind, T., Ahmed, A., Skagerlund, K., Strömbäck, C., Västfjäll, D., and Tinghög, G. (2020). Competence, confidence, and gender: The role of objective and subjective financial knowledge in household finance. *Journal of Family and Economic Issues*, 41, 626-638. <https://doi.org/10.1007/s10834-020-09678-9>
- Lundberg, S. M., and Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 4768-4777.
- Lusardi, A. (2019). Financial literacy and the need for financial education: Evidence and implications. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 155(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s41937-019-0027-5>
- Lusardi, A., Hasler, A., and Yakoboski, P. J. (2021). Building up financial literacy and financial resilience. *Mind and Society*, 20, 181-187. <https://doi.org/10.1007/s11299-020-00246-0>
- Lusardi, A., and Mitchell, O. S. (2014). The economic importance of financial literacy: Theory and evidence. *Journal of Economic Literature*, 52(1), 5-44. <https://doi.org/10.1257/jel.52.1.5>
- Maden, S., ve Kaya, M. (2023). Meslek lisesi öğrencilerinin finansal okuryazarlık becerilerinin web 2.0 araçlarıyla geliştirilmesi. *Anadolu Dil ve Eğitim Dergisi*, 1(2), 69-78. Doi: 10.5281/zenodo.10445724
- Mishra, D., Agarwal, N., Sharahiley, S., and Kandpal, V. (2024). Digital Financial Literacy and Its Impact on Financial Decision-Making of Women: Evidence from India. *Journal of Risk and Financial Management*, 17(10), 468. <https://doi.org/10.3390/jrfm17100468>
- Mitchell, O. S., and Lusardi, A. (2022). *Financial literacy and financial behavior at older ages*. Wharton Pension Research Council Working Paper, No 2022-01. <https://ssrn.com/abstract=4006687>
- Molnar, C. (2019). *Interpretable machine learning: A guide for making black box models explainable*. Leanpub.
- Molnar, C., König, G., Herbringer, J., Freiesleben, T., Dandl, S., Scholbeck, C. A., ... and Bischl, B. (2020). General pitfalls of model-agnostic interpretation methods for machine learning models. In *International Workshop on Extending Explainable AI Beyond Deep Models and Classifiers* (pp. 39-68). Cham: Springer International Publishing.

- Niu, J., Xu, H., and Yu, J. (2025). Identifying multilevel factors on student mathematics performance for Singapore, Korea, Finland, and Denmark in PISA 2022: considering individualistic versus collectivistic cultures. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04466-y>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023a). *OECD/ INFE 2023 international survey of adult financial literacy*. OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023b). *PISA 2022 assessment and analytical framework*. OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023c). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing.
- Pan, Z., and Cutumisu, M. (2024). Using machine learning to predict UK and Japanese secondary students' life satisfaction in PISA 2018. *British Journal of Educational Psychology*, 94(2), 474-498. <https://doi.org/10.1111/bjep.12657>
- Pearl, J. (2000). *Causality: Models, reasoning, and inference*. Cambridge University Press.
- Piaget, J. (1977). *The development of thought: Equilibration of cognitive structures*. Viking Press.
- Riitsalu, L., and Murakas, R. (2019). Subjective financial knowledge, prudent behaviour and income: The predictors of financial well-being in Estonia. *International Journal of Bank Marketing*, 37(4), 934-950. <https://doi.org/10.1108/IJBM-03-2018-0071>
- Romero, C., and Ventura, S. (2020). Educational data mining and learning analytics: An updated survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(3), e1355. <https://doi.org/10.1002/widm.1355>
- Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1(5), 206–215. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x>
- Rutkowski, L., Rutkowski, D., and Svetina Valdivia, D. (2022). Multistage test design considerations in international large-scale assessments of educational achievement. In T. Nilsen, A. Stancel-Piatak, J. E. Gustafsson (Eds.), *International handbook of comparative largescale studies in education: Perspectives, methods and findings* (pp. 1–19). Cham: Springer International Publishing.
- Saarela, M., and Kärkkäinen, T. (2015). Analysing student performance using sparse data of core bachelor courses. *Journal of Educational Data Mining*, 7(1), 3-32.
- Shim, S., Serido, J., Tang, C., and Card, N. (2015). Socialization processes and pathways to healthy financial development for emerging young adults. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 38, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2015.01.002>
- Skagerlund, K., Lind, T., Strömbäck, C., Tinghög, G., and Västfjäll, D. (2018). Financial literacy and the role of numeracy—How individuals' attitude and affinity with numbers influence financial literacy. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 74, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.jsocec.2018.03.004>

- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Thaler, R. H., and Shefrin, H. M. (1981). An economic theory of self-control. *Journal of Political Economy*, 89(2), 392-406. <https://doi.org/10.1086/260971>
- Urban, C., Schmeiser, M., Collins, J. M., and Brown, A. (2020). The effects of high school personal financial education policies on financial behavior. *Economics of Education Review*, 78, 101786. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2018.03.006>
- Varian, H. R. (2014). Big Data: New tricks for econometrics. *Journal of Economic Perspectives*, 28(2), 3-28. <https://doi.org/10.1257/jep.28.2.3>
- White, I. R., Royston, P., and Wood, A. M. (2011). Multiple imputation using chained equations: Issues and guidance for practice. *Statistics in Medicine*, 30(4), 377-399. <https://doi.org/10.1002/sim.4067>
- Xu, L., and Zia, B. (2012). Financial literacy around the world: An overview of the evidence with practical suggestions for the way forward. *World Bank Policy Research Working Paper*, 6107. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-6107>
- Zhai, X., Chu, X., Chai, C. S., Jong, M. S. Y., Istenic, A., Spector, M., ... and Li, Y. (2020). A review of artificial intelligence (AI) in education from 2010 to 2020. *Complexity*, 2021, 8812542. <https://doi.org/10.1155/2021/8812542>
- Zulhibri, M. (2018). The impact of monetary policy on Islamic bank financing: Bank-level evidence from Malaysia. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 23(46), 306-322. <https://doi.org/10.1108/JEFAS-01-2018-0011>