

İKLİM FİNANSMANINDA YEŞİL TAHVİLLER VE YAPAY YÖNTEMLERLE KURUMSAL YEŞİL TAHVİL ENDEKSİ DEĞERİNİN TAHMİNİ İSTİHBARAT*

İKLİM FİNANSMANINDA YEŞİL TAHVİLLER VE YAPAY ZEKÂ İLE KURUMSAL YEŞİL TAHVİL ENDEKS DEĞERİNİN TAHMİNİ

Dilşad Tülgen ÇETİN** 

Soyut

Küresel iklim değişikliğinin etkileri ve artan çevresel farkındalık, iklim projelerinin ve buna bağlı olarak iklim finansmanı ve yeşil tahvillerin öneminin artmasına yol açmıştır. Artan önemine rağmen, yeşil tahviller üzerinde fiyat veya endeks değeri tahmin çalışmalarının son derece nadir olması, bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmuştur. Makalenin amacı, Yapay Sinir Ağı modeli ile kurumsal yeşil tahvil endeks değerini tahmin etmek ve yeşil tahvillerin kavramsal çerçevesini ele alarak tahminciyi belirlemektir. Bu amaçla, S&P 500 tahvil endeks değerlerinin girdi, S&P yeşil tahvil endeks değerlerinin çıktı olarak belirlendiği Çok Katmanlı Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı (MLF-ANN) modeli tasarlanmıştır. Geleneksel tahvil endeksi değerlerinin kurumsal yeşil tahvil endeksinin tahmincisi olup olmadığını belirlemek için, S&P 500 tahvil endeksi tahmin modelinin tek girdisi olarak kullanılmıştır. Bulgular, S&P yeşil tahvil endeksi değerlerinin %1,13 Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve %98,93 Regresyon Belirleme Katsayısı (R) ile tahmin edildiğini göstermektedir.2). Araştırmanın sonuçları, yeşil tahvil yatırımcıları ve piyasa yapıcılar için kâr en üst düzeye çıkarmak ve/veya riski en aza indirmek için veri sağlamanın yanı sıra, politika yapıcılara iklim projelerinin finansmanında yeşil tahvillerin etkinliği hakkında fikir vermektedir. Bu makale, kurumsal yeşil tahvil endeksi değerini tahmin etmede MLF-ANN modelinin etkinliğini kanıtlayan ve geleneksel tahvil endeksinin modelin öngörücüsü olduğunu ortaya koyan literatürdeki ilk çalışmadır. Bu nedenle, çalışmanın gelecekteki çalışmalara ışık tutması beklenmektedir. **Anahtar kelimeler:** Yeşil tahvil tahmini, Yapay Sinir Ağı modeli, Yeşil tahvil tahmincisi, Konvansiyonel tahviller.

JEL Sınıflandırması:G17, C63, Q56.

* Bu makale, 9-11 Temmuz 2021 tarihleri arasında Paris, Fransa'da düzenlenen VI. Uluslararası Paris Sosyal Bilimler Konferansı'nda özet bildirisi olarak sunulmuştur.

* * **Sorumlu Yazar:**Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, dttozturk@mehmetakif.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9321-6991.

Bu makaleyi alıntılanmak için:Çetin, DT (2022). İklim finansmanında yeşil tahviller ve yapay zeka ile kurumsal yeşil tahvil endeks değerinin tahmini. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 138-157.

"Bu çalışma için Etik Kurul Onayı gerekliliği bulunmamaktadır."

Gönderildi: 08.09.2021

Revize: 22.03.2022

Kabul Tarihi: 23.03.2022

Çevrimiçi Yayınlanma Tarihi: 27.06.2022

Öz

Küresel iklim ikliminin etkileri ve artan çevre güvenliği, iklim projelerinin ve buna bağlı olarak iklim koruması ve yeşil katkıların azaltılmasını azaltılmış yol açmıştır. Artan önemine karşılık yeşil kredilere ilişkin fiyat veya endeks değeri tahminleri son derece az olması, bu konunun temel motivasyonunu oluşturmuştur. Bu makalenin amacı, yeşil yatırımların çerçevelenmesini ele alarak kurumsal yeşil kredi endeks değerini Yapay Sinir Ağı modeli ile tahmin etmek ve tahmin ederek düzenlemeyi belirlemektir. Bu amaçla, girdi olarak S&P 500 kredi endeksi değerlerinin ve çıktı olarak S&P yeşil kredi endeks değerlerinin belirlendiği Çok Katmanlı Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı modeli tasarlanmıştır. Konvansiyonel kredi endeksi endeksi kurumsal yeşil endeksinin tahmininin olup olmadığının belirlenmesi için tahmin modelinin tek girileni olarak S&P 500 endeksi kullanılır. Bulgular, S&P yeşil faiz endeksi gösterilir %1,13 ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) ve %98,93 Regresyon Belirleme Katsayısı (R^2) ile tahmin edildiğini göstermektedir. Araştırmanın sonuçları, yeşil kredi yatırımcıları ve piyasa ürünleri için kârı en üst düzeyde çıkarmak ve/veya risk en az indirmek için veriler sağlarken, politika eklemler için iklim projelerini finanse etmede yeşil harcamaların etkinliğine yönelik iç görüş sağlar. Bu makale, MLF-ANN modelinin kurumsal yeşil kredi endeksinin arttırılması tahmininde çalışmasını kanıtlaması ve konvansiyonel kredi kartı endekslenebilir modelin tahmininin ortaya koyması perspektifli literatürdeki ilk çalışmadır. Bu nedenle daha sonra yapılacak araştırmalara ışık tutması umulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil harcama tahmini, Yapay Sinir Ağı modeli, Yeşil harcamaların tahmincisi, Konvansiyonel harcamalar.

JEL Sınıflandırılması: G17, C63, Q56.

1. Giriş

İklim değişikliği tehdidi, dünyada gerekli önlemlerin alınması için küresel bir çaba gerektiğini ortaya koymuştur. Birleşmiş Milletler, 2015 yılında Paris Anlaşması aracılığıyla küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 2°C altına düşürmek için evrensel bir çağrıda bulunmuştur (UNFCCC, 2021). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) gündeminin oluşturulmasının ardından, dünya genelindeki hükümetler daha yeşil bir gelecek için iklim değişikliği sorunlarıyla mücadeleye yönelik kendi stratejilerini geliştirmiştir. Ancak, bu stratejilerin uygulanması muazzam bir maliyet gerektirecektir.

İklim projeleri, ülkelerin dünya ekonomisini düşük karbonlu bir yola sokmak, sera gazı konsantrasyon seviyelerini azaltmak ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak için üstlenmeleri gereken yatırımlardır. Yeşil projelerin alternatiflerine kıyasla daha yüksek sermaye gereksinimleri, daha yüksek risk algısı ve daha uzun yatırım sürelerine sahip olması, iklim projelerine özel yatırımları kısıtlamaktadır (OECD, 2017). Bu noktada, özel sektörü yeşil projelere yatırım yapmaya teşvik etmek ve desteklemek önemlidir.

İklim finansmanı, hükümet ve/veya finans kuruluşları tarafından uygun fırsatlar sağlanarak iklim değişikliği ve çevre kirliliğini azaltmak için çevre dostu projelerin finansmanıdır. İklim finansmanında, faiz tabanlı bir finansal araç olan yeşil tahviller ve faizsiz bir İslami finansal araç olan yeşil sukuk, sermaye piyasası araçları olarak ihraç edilmektedir (Hong vd., 2020).

İlk kez 2007 yılında ihraç edilen yeşil tahviller, gelirlerinin yalnızca iklim veya çevre dostu yeşil projelere yatırıldığı bir sermaye piyasası aracıdır. Ülkelerin çevresel konulara duyarlılığının artmasıyla birlikte, yeşil tahvil piyasasının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu durum, piyasadaki yatırımcılar ve piyasa yapımcılar için belirsizliği azaltmak amacıyla yeşil tahvil endeksi değerlerinin tahmin edilmesini daha da önemli hale getirmektedir.

Bu çalışmanın iki önemli amacı vardır. Birincil amaç, kurumsal yeşil tahvil endeksi değerlerini Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli ile tahmin etmektir. İkincil amaç ise, geleneksel tahvil endeksi değerlerinin kurumsal yeşil tahvil endeksi değerlerini tahmin edip etmediğini belirlemektir. Bu amaçla, S&P 500 tahvil endeksi değerlerinin girdi, S&P yeşil tahvil endeksi değerlerinin ise çıktı olarak belirlendiği Çok Katmanlı Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı (ÇYYA) modeli tasarlanmıştır.

Araştırma, sınırlı sayıda uygun çalışmanın bulunduğu yeşil tahvil endeksi değerlerinin tahminine yönelik gelecekteki çalışmalara ışık tutarak literatüre katkıda bulunacaktır. Yeşil tahvil endeksinin doğru tahmin edilebilirliği, yatırımcıların risk algısını azaltmada ve kârlılıklarını artırmada etkin rol oynayacaktır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, yeşil tahviller ve piyasaları üzerine bir literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölümde, araştırmanın veri seti ve metodolojisi sunulmaktadır. Dördüncü bölümde, araştırma bulguları sunulmaktadır. Son olarak, beşinci bölümde, çalışmanın sonuçları tartışılmaktadır.

2. Literatür Taraması

2.1. Yeşil Tahviller

Tahvil piyasası, bankalardan daha geniş bir yatırımcı tabanından borç finansmanı sağlayarak iklim ve çevre dostu projelerin finansman açığını kapatma potansiyeline sahiptir. Dünya Bankası, çevresel, sosyal ve yönetim kriterlerini içeren ve sürdürülebilir etkiye sahip yatırım fırsatlarına yönelik artan talebi karşılamak amacıyla 2007 yılında iklim tahvilleri olarak da adlandırılan yeşil tahvilleri piyasaya sürmüştür.

Yeşil tahviller, sabit getirili araçların güven unsurunu iklime uyum bilinciyle bütünleştirerek yeşil projelere finansman sağlayan bir tahvil türüdür. Getiri, vade ve geçerlilik açısından geleneksel tahvillerle benzer özelliklere sahiptir, ancak fon ve gelirlerin kullanımı konusunda bazı ek yükümlülükleri vardır (Çetin, 2021). Yeşil tahvil gelirleri yalnızca yenilenebilir enerji üretim ve iletim projeleri, enerji verimliliğini artırmaya yönelik yatırımlar, kirliliği önleme veya azaltmayı amaçlayan projeler, doğal yaşamın sürdürülebilirliğine yönelik yatırımlar, sürdürülebilir su kaynakları yönetimine yönelik yatırımlar, temiz ulaşım ve karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik yatırımlar gibi yeşil proje yatırımlarında kullanılabilir (ICMA, 2018).

Devlet sübvansiyonları, vergi muafiyetleri, düşük faiz oranları ve düşük ihraç maliyetleri vb. nedeniyle ihraççılarına rekabetçi maliyet avantajları sağlar (Ehlers & Packer, 2017).

Yeşil tahviller, etiketli ve etiketsiz yeşil tahviller olmak üzere iki türe ayrılır. Etiketli yeşil tahviller, gelirlerinin yeşil projelerde kullanılacağı ve alt hesaplarda takip edileceği vaat edilen tahvillerdir. Etiketsiz yeşil tahviller ise düşük CO2 emisyonlu projelere yatırım yapma gibi belirli kriterleri karşılar, ancak gelirleri alt hesaplarda takip edilmez ve yeşil projeleri doğrudan finanse etmez (CBI, 2016).

Yeşil tahviller, hem yatırımcılar hem de ihraççılar için çeşitli avantajlar sunmaktadır: (i) düşük faiz oranları ve ihraç maliyetleri, (ii) yüksek uzun vadeli finansman, (iii) kaynakların kullanımında şeffaflık, (iv) ihraççının itibarının ve yatırımcıların iklim farkındalığının artması ve (v) devlet-özel sektör ortaklıklarının desteklenmesi. Yeşil tahvillerin avantajlarının yanı sıra, (i) standardizasyon eksikliği, (ii) raporlamada yetersiz şeffaflık, (iii) raporlama ve izlemenin ek maliyetleri, (iv) düşük piyasa derinliği ve likidite, (v) yetersiz yatırımcı güveni gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Çetin, 2021).

2.2. Küresel Yeşil Tahvil Piyasası

İlk yeşil tahvil, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği projelerini finanse etmek amacıyla 2007 yılında Avrupa Yatırım Bankası tarafından 600 milyon avro tutarında ihraç edilmiştir (Ehlers ve Packer, 2017). Yeşil tahvil piyasasında, 2007-2019 döneminde toplam 776,4 milyar dolarlık ihraç gerçekleştirilmiştir. Yıllık yeşil tahvil ihraçlarının 2020'lerde potansiyel olarak bir trilyon dolara ulaşması tahmin edilmektedir (CBI, 2020). Yeşil tahvil ihraçlarının bölgelere göre dağılımı Tablo 1'de sunulmaktadır (CBI, 2020).

Tablo 1:Bölgelere Göre Yeşil Tahvil İhracı (2007-2019)

Bölge	Ülkeler	İhraç edenler	Tutar (Milyar ABD Doları)
Avrupa	25	269	307.4
Kuzey Amerika	2	167	190.4
Asya-Pasifik	18	345	183.6
Ulusötesi		11	79.4
Latin Amerika	11	47	12.9
Afrika	6	16	2.7
Toplam	62	855	776.4

Kaynak: CBI. (2020).

Tablo 1'de, Avrupa ülkeleri 307,4 milyar dolarlık yeşil sukuk ihraçlarıyla ilk sırada yer alırken, onu 190,4 milyar dolarlık ihraçla Amerika ve Kanada (Kuzey Amerika) ülkeleri takip etmektedir. Yeşil tahvil piyasası, 2019 yıl sonu itibarıyla 245,8 milyar dolarlık bir hacme ulaşmış olup, piyasa hacminin %71,2'si sıralamadaki ilk on ülke tarafından gerçekleştirilmektedir. 2019 yılında yeşil tahvil ihraçlarında ilk on ülke Tablo 2'de verilmiştir.

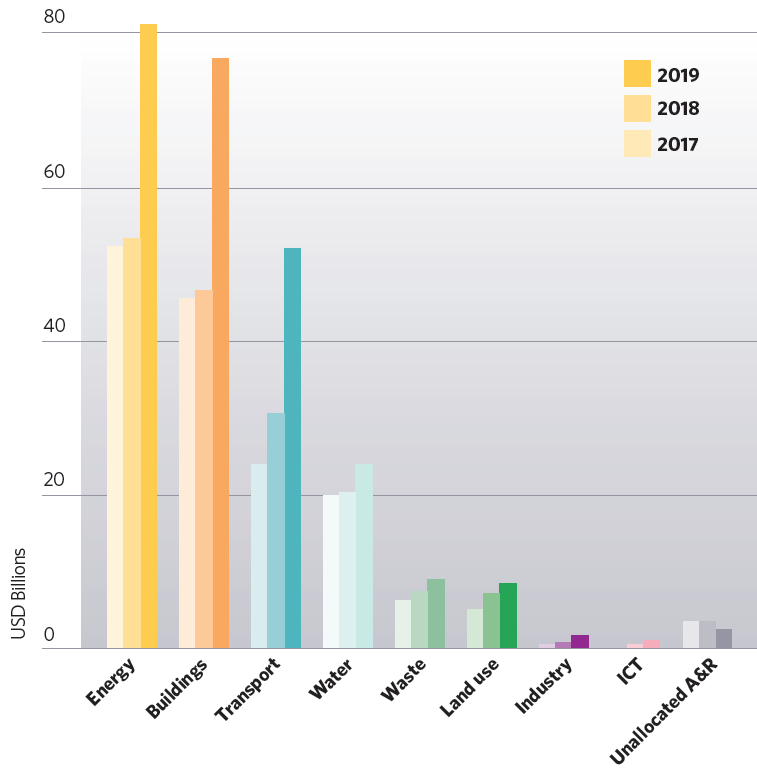
Tablo 2:Yeşil Tahvil İhracı En Çok Artan 10 Ülke (2019)

Ülkeler	ihraç edenler	ihraçlar	Tutar (Milyar ABD Doları)
Amerika	105	1128	51.3
Çin	79	99	31.3
Fransa	19	54	30.1
Almanya	12	25	18.7
Hollanda	15	17	15.1
İsveç	40	106	10.3
Japonya	47	66	7.2
Kanada	14	17	7
İtalya	10	11	6.8
İspanya	11	17	6.5
Toplam	352	1540	184.3

Kaynak: CBI. (2020).

Tablo 2'de yeşil tahvil piyasasında 51,3 milyar dolarlık ihraç ve %19,8 pay ile ABD lider konumda yer alırken, onu %12 ile Çin ve %11,6 ile Fransa takip ediyor.

Yeşil tahvil ihracından elde edilen gelirin kullanım alanları Şekil 1'de gösterilmektedir.

**Şekil 1:**Yeşil Tahvillerin Gelir Kullanım Kategorileri (2017-2019)

Kaynak: CBI. (2020).

Şekil 1'de, 2019 yılında yeşil tahvil gelirlerinin sırasıyla enerji yatırımlarında (%32), binalarda (%30), ulaşımda (%20), suda (%9), atıkta (%3), arazi kullanımında (%3), sanayide (%1), bilişimde (%1) ve tahsis edilmemiş A&R'de (%1) kullanıldığı görülmektedir.

Türkiye'de ilk etiketsiz yeşil tahvil ihracı 2016 yılında Türkiye Sınai Kalkınma Bankası tarafından gerçekleştirilmiştir. 2016 yılından bu yana 5,28 milyar TL değerinde sadece beş ihraç gerçekleştirilmiştir. Etiketli tahvil ihracı henüz gerçekleştirilmemiştir. Türkiye'deki yeşil tahvil piyasası çok fazla büyümemiş olsa da, yatırımcıların ve ihraççıların çevre bilincinin artmasıyla gelecekte büyüme potansiyeline sahip piyasadır (Çetin, 2021).

2.3. İlgili Çalışmalar

Literatürde yapay sinir ağlarının ekonomi ve finans alanında kullanımına ilişkin çok sayıda akademik çalışma yapıldığı görülmektedir (Guan vd., 2018; Kamalov, 2020; Sigo, 2018). Bu alanda literatürün yoğun olmasına rağmen sabit getirili tahvil piyasalarında getiri tahmini konusunda daha az bilimsel çalışma bulunmaktadır (Almeida vd., 2018; Nunes vd., 2019b; Wegener vd., 2016). Tahvil piyasalarının ulusal ekonomiler açısından önemi oldukça büyük olmasına rağmen bu durumun başlıca nedenlerinden biri tahvil getirilerinin tek hedefli bir regresyon problemi olmasıdır. Ancak son yıllarda yapılan bazı yapay zekâ temelli çalışmalarda getiri eğrisinin tahminine ilişkin modellerin oluşturulduğu görülmektedir. Getiri eğrisini tahmin etmek, tahvil getirisini tahmin etmekten çok daha karmaşık bir sorundur çünkü modelin hedefi tek bir değer değil, bir eğridir (Hyndman, 2021; Nunes vd., 2018, 2019a).

İklim değişikliğinin etkilerini azaltmak dünyamız için kritik öneme sahip olsa da, yeşil tahvil piyasası henüz yeterince gelişmemiştir. Yeşil tahviller, geleneksel tahvil piyasasına kıyasla çok daha yeni bir varlık sınıfı olduğundan, yapay zekâ temelli akademik çalışmalar giderek yaygınlaşsa da (Debrah vd., 2022; Fang vd., 2021; Feng vd., 2021) çok daha azdır. Bu durum, çalışmamız için açıkça bir fırsat sunsa da, aynı zamanda bu araştırmanın zorluklarından biridir.

Yeşil tahviller üzerine yapılan akademik çalışmaların büyük çoğunluğunun kavramsal çerçeveyi anlamaya ve uygulanabilirliğini tartışmaya odaklandığını söyleyebiliriz (Açar, 2021; Baysan, 2019; Deschryver ve De Mariz, 2020; Diriöz, 2021; Kandir ve Yakar, 2017a, 2017b; Turguttopbaş, 2020; Zerbib, 2017). Yeşil tahvillerin ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmalarında bir yatırım aracı olarak değerlendirilebilmesi için hükümetlerin yeşil tahvilleri cazip hale getirecek sübvansiyonlar, vergi indirimleri, iskonto sistemleri ve diğer imtiyazlar gibi teşvikler sağlaması gerekmektedir (Kapoor vd., 2020).

Öte yandan, yeşil tahviller getiri, oynaklık ve likidite açısından en yakın benzerleri olan "kahverengi" tahvillerle karşılaştırıldığında, ara sıra yeşil prim veya yeşilium olup olmadığı da merak konusu olmuştur (Löffler vd., 2021). Zerbib, (2017) çoğunlukla negatif bir yeşil tahvil primi göstermiş ve derecelendirmenin ve ihraç edilen miktarın ana itici güçler olduğunu iddia etmiştir.

Primin. Zerbib'in (2017) çalışma sonuçlarının aksine, Karpf ve Mandel (2018), ABD belediye tahvil piyasası tarafından ihraç edilen yeşil tahvilde yeşil primin pozitif olduğunu göstermiştir.

Febi vd. (2018), yeşil tahviller için likidite riskinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu savunurken, Reboredo (2018), yeşil tahvil getirilerinin kurumsal ve devlet tahvili getirileriyle güçlü bir korelasyona sahip olduğunu, hisse senetleri ve enerji emtialarıyla ise zayıf bir şekilde hareket ettiğini bulmuştur. Öte yandan Baker vd. (2018), getiri profili açısından yeşil tahvilleri geleneksel tahvillerle karşılaştırmıştır. 2.000'den fazla belediye ve kurumsal yeşil tahvil örneğini incelemiş ve yeşil tahvillerin benzer özelliklere sahip tahvillere göre daha düşük getirilerle (yaklaşık 6 baz puan) işlem gördüğünü bulmuşlardır.

Tang ve Zhang, (2020) şirketlerin yeşil tahvil ihraçlarının aynı şirketin hisse senedi fiyatları üzerindeki etkisini araştırmış ve çarpıcı sonuçlar elde etmiştir. Yeşil tahvil ihraçlarının şirketin hisse senedi fiyatlarını olumlu etkilediğini ve likiditesini artırdığını ortaya koymuşlardır.

Volatilité açısından, etiketli yeşil tahviller etiketsiz olanlara göre daha oynaktır (Pham, 2016) ve borsa oynaklığıyla karşılaştırıldığında, negatif şoklara kıyasla pozitif şoklara daha duyarlıdır (Park vd., 2020). Ayrıca, yeşil tahvil içeren portföylerin çeşitlendirme açısından geleneksel tahvillere göre çok daha iyi risk-getiri sağladığı bulunmuştur (Han vd., 2020).

Bu araştırmanın tasarımı önemli rol oynayacak konulardan biri yeşil tahvil endeksi değerlerinin belirleyicilerinin ortaya konulmasıdır. Özellikle yeşil tahvil ile geleneksel tahvil piyasaları arasındaki korelasyonun modellenmesi için kritik öneme sahiptir. Bu noktada Broadstock ve Cheng'in (2019) çalışması dikkat çekicidir. Yazarlar çalışmalarında yeşil ve geleneksel (siyah) tahvil piyasaları arasındaki korelasyon modellerinin temel belirleyicilerini, VIX (Chicago Board Options Exchange volatility index), ADS (Aruoba vd., 2009 tarafından geliştirilen ekonomik aktivite endeksi), EPU (Baker vd., 2016 tarafından geliştirilen ekonomik politika belirsizliği endeksi) ve petrol fiyatlarını (ABD Enerji Enformasyon İdaresi'nden alınmıştır) Engle, (2002) tarafından geliştirilen dinamik koşullu korelasyonlar (DCC) modeli ile analiz etmişlerdir. Standard and Poor's endekslerinin veri seti olarak kullanıldığı çalışmanın sonuçları, yeşil ve siyah tahviller arasındaki bağlantının araştırmada seçilen belirleyicilere duyarlı olduğunu ve bunlar arasındaki güçlü ilişkiyi kanıtlamıştır. Benzer şekilde, Reboredo vd. (2020) ve Reboredo & Ugolini (2020), VAR modelini kullanarak yeşil tahviller ile finans piyasaları arasındaki fiyat bağlantısını incelemiş ve yeşil tahvil piyasaları ile hazine ve döviz piyasaları arasında güçlü fiyat farkları olduğunu bulmuşlardır.

Bu çalışmada S&P yeşil tahvil endeksi değerlerini tahmin etmek için tasarlanan yapay sinir ağı modelinde belirleyici olarak geleneksel tahvil endeksi değerleri seçilmiş olmasına rağmen, Broadstock & Cheng, (2019), Reboredo & Ugolini, (2020) ve Reboredo vd., (2020) tarafından yapılan araştırmalarla ortaya çıkarılan belirleyiciler, gelecekteki çalışmalarda YSA modeline dahil edilmesi için güçlü kanıtlar sunmaktadır.

Bu çalışmalar yeşil tahvil piyasalarını farklı konularda analiz etse de, hiçbirisi yeşil tahvil fiyatlarını veya endeks değerlerini tahmin etmemektedir. Mevcut tek tahmin çalışması Ngwakwe'nin (2021) araştırmasıdır.

ve yeşil tahvil endeksi değerlerini 0,7668 Regresyon Belirleme Katsayısı (R) ile tahmin etti2) ve 1.3189 Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değerleri doğrusal regresyon modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Yeşil tahvil piyasaları üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmasına rağmen, Yapay Sinir Ağları (YSA) ile finansal varlık fiyatlarının tahmin edilmesine ilişkin geniş bir literatür bulunmaktadır. Çalışmalar, YSA'nın finansal varlık fiyatlarını veya değerlerini yüksek doğrulukla tahmin edebildiğini (Tealab vd., 2017) ve tahmin performansının doğrusal modellerden (Ma, 2020; Maheswari vd., 2021) daha üstün olduğunu kanıtlamaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

Araştırmada, finansal zaman serilerini tahmin etmedeki başarısı nedeniyle Çok Katmanlı Geribildirimli Yapay Sinir Ağı (MLF-ANN) modeli tercih edilmiştir (Bahrammirzaee, 2010; Ismail vd., 2018; Maheswari vd., 2021).

3.1. Veri seti

Bir yapay zekâ yönteminin tahmin performansı, problemin açıkça ortaya konulmasına ve girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan karmaşık ilişkinin uygun şekilde modellenmesine bağlıdır. Özellikle girdi değişkenlerinin belirlenmesi, modelin başarısını doğrudan etkilediği için önemlidir.

Literatürde konvansiyonel ve yeşil tahviller arasındaki ilişkiyi ortaya koyan birçok çalışma bulunmaktadır (Hachenberg ve Schiereck, 2018). Bu çalışmalara dayanarak, S&P 500 Tahvil Endeksi modelin tek girdi değişkeni olarak belirlenmiştir. Araştırmada tek bir girdi kullanılmasının nedeni, konvansiyonel tahvil endeksi değerlerinin yeşil tahvil endeksi değer tahmininin belirleyicisi olup olmadığını ortaya koymaktır.

Araştırmada, 31.05.2011-01.06.2021 veri dönemi için S&P 500 Tahvil Endeksi günlük değerleri girdi, S&P Yeşil Tahvil Endeksi günlük değerleri ise çıktı olarak kullanılmıştır. Çalışmada, girdi değişkeni olarak kullanılan S&P 500 Tahvil Endeksi değerlerinin (Denklem 1 ile hesaplanan) son 5 günlük ortalaması, girdi değişkeninin tahmin performansını artırmak ve endeks değerindeki ani artış ve azalışların ağırlı eğitimini olumsuz etkilemesini önlemek amacıyla kullanılmıştır.

5

$$\sum_{i=1}^5 (GÜNÜM-)/5 \quad (1)$$

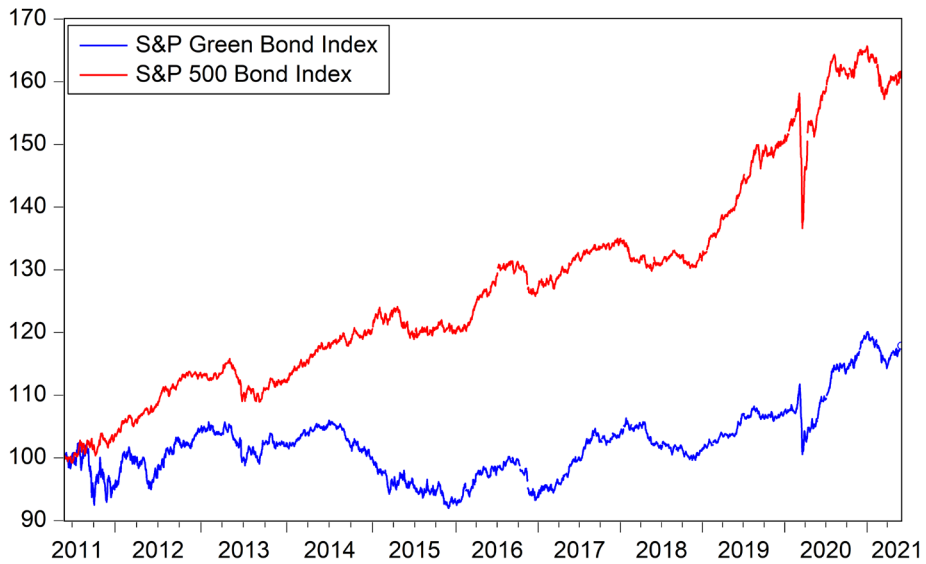
Denklem 1'de, T değişken Y 'nin tahmin edileceği zamanı (günü) temsil eder ve $Beno$ tarihten geriye doğru geçen gün sayısını belirtir T zaman. Bu nedenle, S&P Yeşil Tahvil Endeksi değeri (Y) zaman T son 5 günlük ortalama değerle tahmin edilecek $(t-1)$ 'den $(t-5)$ 'e kadar.

S&P yeşil tahvil endeksinin özellikleri Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3:S&P Yeşil Tahvil Endeksi Özellikleri

Özellikler	S&P Yeşil Tahvil Endeksi
Ağırlıklandırma Yöntemi	Piyasa değeri ağırlıklı
Hesaplama Para Birimleri	Amerikan Doları
İlk Değer Tarihi	28 Kasım 2008
Lansman Tarihi	31 Temmuz 2014
Seçmen Sayısı	9.953
Toplam Par Değeri (Milyon ABD Doları)	992.237,40
Piyasa Değeri (Milyon ABD Doları) Par	1.050.867,80
Ağırlıklı Kupon	%1,75
Ağırlıklı Ortalama Vadeli	11.23 Yıl
Par Ağırlıklı Fiyat	105.29
Vadeye Kadar Getiri	0,96%
En Kötüye Verim	0,85%

Yapay Sinir Ağları (YSA) modelinde kullanılan değişkenlerin zaman serisi grafikleri Şekil 2'de sunulmuştur.

**Şekil 2:S&P Yeşil Tahvil – S&P 500 Tahvil Endeksleri Zaman Serisi Grafikleri (31nciMayıs 2011-1stHaziran 2021)**

Şekil 2'de, her iki değişken arasındaki birlikte hareket etme eğilimi açıkça görülmektedir. Bu eğilimin varlığı, Tablo 4'teki korelasyon analizi sonucuyla da doğrulanmaktadır.

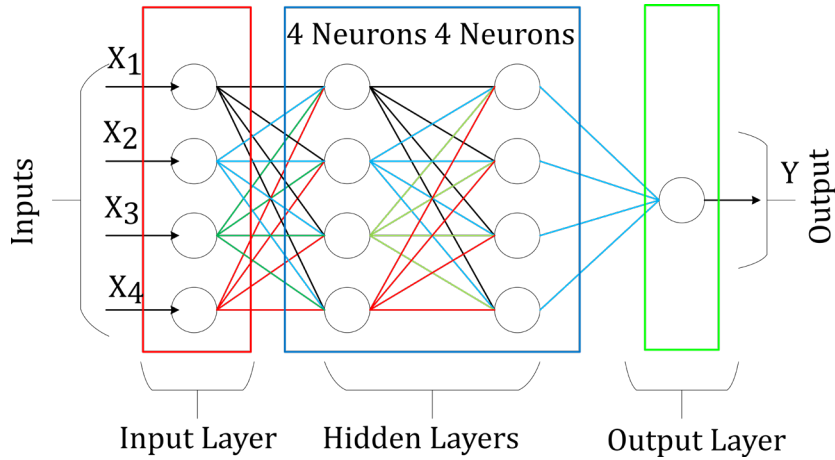
Tablo 4:Değişkenlerin Korelasyon Analizi

	S&P Yeşil Tahvil Endeksi	S&P 500 Tahvil Endeksi
S&P Yeşil Tahvil Endeksi	1	0,704851

Seriler arasındaki korelasyon %70,48 ile oldukça yüksektir. Korelasyon sonucu, S&P 500 tahvil endeksinin S&P yeşil tahvil endeksinin öngörücüsü olabileceğine dair ön kanıt sağlamaktadır. S&P 500 tahvil endeksi ve S&P yeşil tahvil endeksi günlük verileri normalize edilerek tasarlanan YSA modelinin eğitim ve test aşamalarında kullanılmıştır.

3.2. Model

İnsan beyninden ilham alınarak geliştirilen, ağırlıklı bağlantılarla birbirine bağlı, kendi hafızasına sahip işlem elemanlarından oluşan, paralel ve dağıtık bir hesaplama yapısı olan YSA, giriş, gizli ve çıkış katmanları olmak üzere üç ana katmandan oluşur. YSA'nın yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3:Yapay Sinir Ağı Yapısı

MLF-ANN modeli, ağırlıklandırılmış girdi katmanından elde edilen hata ağırlıklarının güncellenmesi ve çıktı katmanından girdi katmanına yayılması prensibine dayanır (Mengi ve Metlek, 2020). Girdi katmanına sunulan veriler, eğitim ve test olmak üzere iki gruba ayrılır. İlk olarak,

Model ileri doğru çalıştırılır. Giriş katmanına gelen veriler için Net değer Denklem 2 ile hesaplanır ve buna göre Net değere eklenmek üzere sapma değeri Denklem 3 ile hesaplanır.

$$\text{Net} = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i$$

$$\text{Net} = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i + b_j$$

Denklem 2'de, x_i 'yi gösterir; w_{ij} gösterir; b_j gösterir. Denklem 3'te, önyargı katsayısı w_{ij} ve önyargının ağırlık değeridir.

Gizli katmanda veriler aktivasyon fonksiyonu ile işlenir. Araştırmada, ağırlık aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant (Denklem 4'te) ve sigmoid (Denklem 5'te) fonksiyonları kullanılmıştır.

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Model, çıktı katmanında çıktı değeri üretilene kadar ileri doğru çalışmaya devam eder. Sonunda, çıktı değeri Denklem 6'da formüle edildiği gibi hedef değerle karşılaştırılarak hata değeri hesaplanır ve hata, geri yayılım algoritmasıyla geriye doğru dağıtılır.

$$\text{Hata}(M) = \text{Hedef}(M) - \text{Çıktı}(M); \quad m = 1, \dots, m$$

Bu işlem, yineleme sayısına veya hedef hata oranına ulaşılan kadar tekrarlanır ve son olarak sistemin çıktı değeri üretilir.

Tahmin modellerinde, modelin tahmin performansını ölçmek için hata fonksiyonları kullanılır. Literatürde en sık kullanılan hata fonksiyonları Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Karesel Hata (MSE), Ortalama Karesel Hatanın Kökü (RMSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) ve Regresyon Belirleme Katsayısı'dır (R^2) ve Denklem 7-11'de formüle edilir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (8)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (9)$$

$$= \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \right) * 100 \quad (10)$$

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (11)$$

3.3. Araştırma Tasarımı

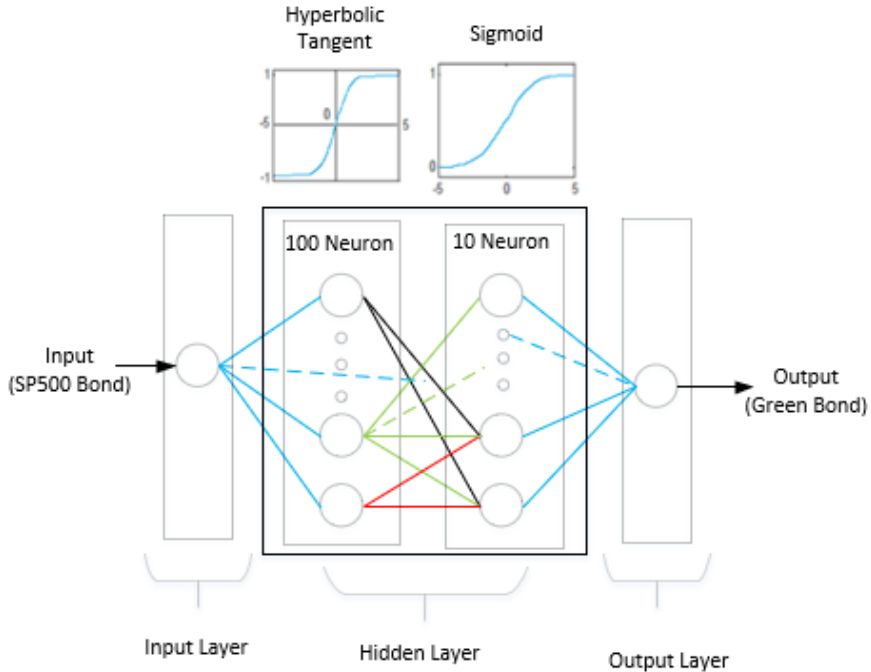
Araştırmada, 31.05.2011-01.06.2021 günlük veri periyodu için girdi parametresi olarak S&P 500 tahvil endeksi, çıktı parametresi olarak ise S&P yeşil tahvil endeksi kullanılmıştır. Toplam 2545 günlük veri elde edilmiş ve K-Fold 5 çapraz doğrulama yöntemine göre eğitim (%80) ve test (%20) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Tasarlanan model MATLAB – R2020a programında geliştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan MLF-YSA modelinde optimum parametreleri belirlemek için birçok test gerçekleştirilmiştir. Test edilen değer aralıkları ve elde edilen optimum değerler Tablo 5'te ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu değer aralıkları literatürde sıklıkla kullanılmakta olup, aynı zamanda çalışmanın temel varsayımlarını da oluşturmaktadır (Mengi ve Metlek, 2020). Tasarlanan model Şekil 4'te görselleştirilmiştir.

Tablo 5:Tasarlanan MLF-ANN Modelinin Özellikleri

	Özellikler	Test Edilen Aralık	Sayısı Nöronlar
Giriş Katmanı	Giriş	1	1
Gizli Katman	1stGizli Katman	1-250	100
	1stGizli Katman Aktivasyon Fonksiyonları	Hiperbolik Tanjant, Sigmoid, Adım, ReLU (Mengi ve Metlek, 2020)	Hiperbolik Teğet
	2veGizli Katman	1-250	10
	2veGizli Katman Aktivasyon Fonksiyonları	Hiperbolik Tanjant, Sigmoid, Adım, ReLU	Sigmoid
Çıkış Katmanı	Çıktı	1	1
	Tekrar Sayısı	100-10.000	1.000
	Hata oranı sayısı	0,0001 – 0,01	0,01

Veriler 1-10 katman sayısı aralığında test edildiğinde, eğitim süresinin uzadığı, buna rağmen sistem performansının düştüğü görülmüştür. Bu nedenle çalışmada optimum değerlere sahip iki katmanlı bir yapı tercih edilmiştir.

**Şekil 4:**MLF-ANN Modeli Tasarlandı

Tasarlanan iki katmanlı MLF-ANN modelinin matematiksel ifadesi Bölüm 3.2'de kullanılan notasyonla Denklem 12'de gösterilmiştir.

$$= \sum_{i=1}^{10} h_{100} = 1 \left(\sum_{i=1}^{100} + \right) + \quad (12)$$

Denklem 12, çalışmada kullanılan çok katmanlı geri beslemeli yapay sinir ağı modelinin ileri hesaplamasını genel hatlarıyla formüle eder. Çalışmamızda kullanılan verilerin %80'i eğitim verisi, %20'si ise test verisi olarak ayrılmıştır. Alt endeksler *ben* Denklem 12'de o anda ağa verilen eğitim ve test verilerinin değerleri gösterilmektedir. S&P 500 Tahvil endeksi giriş verilerini S&P Yeşil Tahvil endeksi değeri 1 gün sonra X_{ben} ile tahmin eden sistemin çıktısını temsil eder. Y_{ben} , Son 5 güne ait giriş verileri (X_{ben}) ile S&P Yeşil Tahvil endeksi değerini tahmin eden sistemin çıktısı ($t-7$ ile $t-5$) S&P 500 Tahvil endeksinin ortalama değeri. w_{ben} Bu denklemde ağırlık katsayıları temsil edilir. Hesaplamanın başlangıcında, bu ağırlık katsayıları sistem tarafından rastgele atanır. Ağ ileri yönde çalıştırıldığında, ağın bulması gereken değerler gerçek değerlerle karşılaştırılır. Aradaki fark bir hata olarak kabul edilir. Bu hataya neden olan temel etken, rastgele belirlenen ağırlık katsayılarıdır. Elde edilen hata değeri, geri yayılım algoritması kullanılarak bu ağırlık katsayılarını etkiler ve yeni ağırlık katsayıları hesaplanır. Daha sonra ağ yeniden başlatılır. 1000 yineleme sonunda elde edilen optimum ağırlık katsayıları Denklem 12'de kullanılır. Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra, bu sefer daha önce görmediği veriler, yani test verileri (%20) giriş olarak verilir ve sistem ileri yönde tekrar çalıştırılarak sistemin genel başarısı ölçülür. Burada, Denklem 7-11'de sunulan hata fonksiyonları sistemin başarısını ölçmek için kullanılır.

4. Bulgular

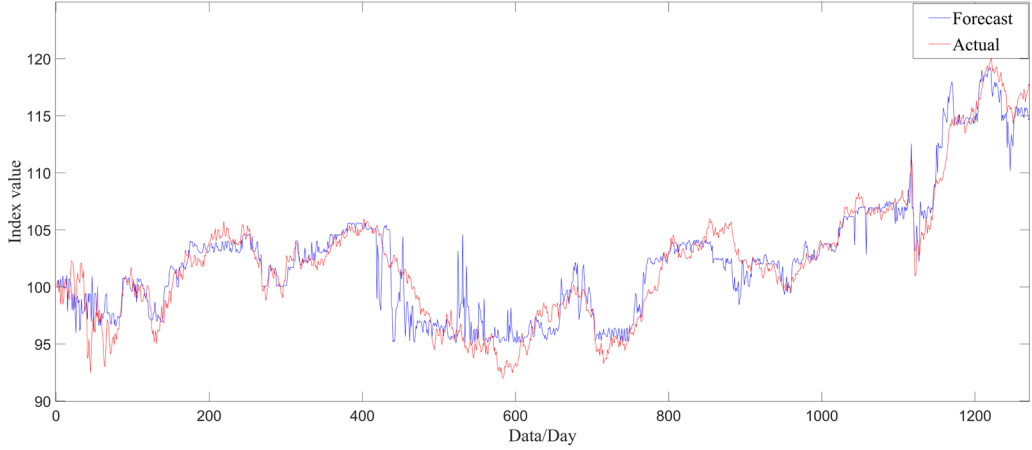
MLF-ANN modeli, S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ni tahmin etmek için tasarlanmıştır. Modelin tahmin başarısı Denklem 6-10 ile ölçülmüş ve performans sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6: Performans Sonuçları

Hata Fonksiyonu	Hata Değeri / Oranı
Ortalama Mutlak Hata (MAE) Ortalama	1.2552
Karesel Hata (MSE) Ortalama Karesel Hatanın	3.0700
Kökü (RMSE) Ortalama Mutlak Yüzde Hatası	1.7522
(MAPE) Regresyon Belirleme Katsayısı (R ₂)	0,0113
	0,9893

Tablo 6'da regresyon belirleme katsayısının (R) sonuçları tahmin edilen ve gerçekleşen yeşil endeks değerleri arasında %98,79'luk güçlü bir regresyon ilişkisi ortaya koymaktadır. Ayrıca, hata

Fonksiyon sonuçları, tasarlanan modelin hata payının oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Literatürde, MAPE değeri %10'un altında olan modellerin tahmin performansı "çok iyi" olarak tanımlanmaktadır (Yakut vd., 2014). Tasarlanan modelin MAPE değeri %10'un oldukça altında olan %1,13 olduğundan, modelin tahmin performansının oldukça iyi olduğu söylenebilir.



Şekil 5: Tahmini ve Gerçekleşen S&P Yeşil Tahvil Endeksi Grafiği

Şekil 5'te kırmızı çizgiler S&P Yeşil Tahvil endeksinin gerçek değerlerini, mavi çizgiler ise tasarlanan MLF-ANN modeliyle hesaplanan tahmini değerleri büyük oranda örtüşmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

İklim değişikliği tehdidine rağmen artan çevresel farkındalık, son on yılda iklim projelerine olan talebin artmasına yol açmıştır. İklim projelerinin kendine özgü özellikleri, finansmanları için özel sermaye piyasası araçlarının geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu araçlar arasında en yaygın kullanılanı yeşil tahvillerdir. Yeşil tahviller, iklim projelerinin uzun vadeli finansmanında sabit getirili araçların güven faktörünü çevre bilinciyle bütünleştirmektedir (Çetin, 2021).

Yeşil tahvil ve geleneksel tahvil piyasaları arasında güçlü bir fiyat bağlantısı olduğunu gösteren bazı çalışmalar mevcuttur (Broadstock ve Cheng, 2019; Reboredo, 2018). Bu çalışmalara dayanarak, bu makale yapay sinir ağları ile yeşil tahvil endeksini tahmin etmek için geleneksel tahvil endeksini bir öngörücü olarak kullanmak üzere tasarlanmıştır. Çalışmada, S&P yeşil tahvil endeksi uluslararası yeşil tahvil piyasasının bir göstergesi olarak kullanılmış ve S&P 500 tahvil endeksi geleneksel tahvil piyasasını temsil etmek için kullanılmıştır. Finansal zaman serilerinin çok değişkenli doğrusal olmayan yapısı nedeniyle, varlık fiyatını tek bir girdiyle yüksek doğrulukla tahmin etmek çok zordur. Ancak, bu çalışmada tek bir girdi

değişken (S&P 500 Tahvil Endeksi) kullanıldı ve S&P yeşil tahvil endeksi %1,13 MAPE ve %98,93 R ile tahmin edildi. Benzer şekilde, Ngwakwe (2021), S&P yeşil tahvil endeksini %1,31 MAPE ve 0,771395 R ile tahmin etti. Doğrusal Regresyon modeli kullanılarak elde edilen bulgular. Karşılaştırmalı olarak, bu çalışmada tasarlanan YSA modeli ile elde edilen tahmin performansı, Ngwakwe'nin çalışmasıyla elde edilen değerlerden daha düşük hata oranı ve daha yüksek regresyon belirleme katsayısı olarak daha doğrudur.

YSA modellerinde yüksek tahmin performansı, ağırlık bu verileri ezberlemiş olma olasılığını değerlendirmeyi gerektirir. Tasarlanan modelde, veriler k-kat 5 değerine göre bölünerek çapraz doğrulama uygulanmış ve böylece ağırlık ezberleme olasılığı önlenmiştir. Bu durumda, ağırlık yüksek tahmin performansı, girdi değişkeninin S&P 500 tahvil endeksi olarak seçilmesindeki başarıya ve tasarlanan MLF-YSA ağırlık mimarisinin verilere uygunluğuna bağlı olmalıdır. Yeşil tahvil endeksi değerinin yüksek doğrulukla tahmin edilmesinde, modelin seçilmesi ve tasarlanmasındaki başarının yanı sıra, girdi parametresinin seçimi de önemli bir role sahiptir. Daha önce belirtildiği gibi, yeşil tahvil piyasasının fiyat hareketleri ile geleneksel tahvil piyasası arasında güçlü bir bağlantı vardır (Broadstock ve Cheng, 2019; Reboredo ve diğerleri, 2020; Reboredo ve Ugolini, 2020). Bu tahvilin varlığı, öncelikle yeşil tahvillerin temel özelliklerinin geleneksel tahvillerle büyük ölçüde aynı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Zira, her iki tahvil piyasası da kupon ödeme süresi ve yöntemi, ikincil piyasanın varlığı, yüksek likidite ve sabit getirili yatırım araçları sunma gibi benzer özelliklere sahiptir. Yeşil tahvillerin en belirgin özelliği, ihracçıya sağlanan fonun emisyonları azaltmak için çevre dostu bir proje finansmanında kullanılması zorunluluğudur.

İkinci olarak, her iki tahvil piyasası da büyük ölçüde aynı makroekonomik faktörlerden etkilenmektedir, ancak aralarında farklılıklar vardır. Nitekim Broadstock ve Cheng (2019) da çalışmalarında, yeşil ve siyah tahvil piyasası arasındaki tahvilin belirleyicilerinin VIX, EPU, ADS ve petrol fiyatları gibi makroekonomik faktörler olduğunu ortaya koymuştur.

Son olarak, araştırmada kullanılan veri seti, S&P tarafından yayınlanan S&P yeşil tahvil ve S&P 500 tahvil endeksi değerlerinden oluşmaktadır. S&P'nin bu endeksleri fiyatlandırmada kullandığı metodoloji de benzerdir (Standard and Poors, 2021b, 2021a).

Genel olarak, bu bulgular bizi iki önemli sonuca götürmektedir. İlk olarak, YSA modeli yeşil tahvil endeksi değerini tahmin etmek için etkili bir modeldir. İkinci olarak, geleneksel tahvil, kurumsal yeşil tahvil endeksi değerlerinin belirleyicisidir. Özellikle, 9.953 kurumsal yeşil tahvilden oluşan S&P yeşil tahvil endeksi değerlerinin belirleyicisi S&P 500 tahvil endeksidir. Böylesine büyük ölçekli bir endeksin tahmin edilmesi, yeşil tahvil piyasalarındaki belirsizliği azaltacak ve yatırımcılar ile piyasa yapımcılar için bir kıyaslama sağlayacaktır. Dahası, yatırımcılara kâr en üst düzeye çıkarma veya zararı en aza indirme gibi önemli avantajlar sunar.

Gelecekteki çalışmalarda, yeşil tahvil endeksi değerleri farklı yapay zekâ ve derin öğrenme modelleriyle tahmin edilebilir. Tahmin doğruluğunu artırmak için modele farklı girdi değişkenleri eklenebilir.

Yazar Katkısı

Yazar, aşağıdaki hususlarda tek başına sorumluluğun kendisine ait olduğunu beyan eder: çalışmanın tasarlanması ve yürütülmesi, veri toplanması, sonuçların analizi ve yorumlanması, makalenin hazırlanması.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Mali Destek

Yazar bu makalenin araştırılması, yazılması ve/veya yayınlanması için hiçbir maddi destek almamıştır.

Referanslar

- Açar, F. (2021). Ekolojik İktisat Teorisi Açısından Yeşil Tahvilin Değerlendirilmesi. *Bilimsel Finans Dergisi ve Finans Hukuku Çalışmaları*, 1(1), 50–63. <https://journals.academicianstudies.com/SJFFLS/article/view/59/43>.
- Almeida, C., Ardison, K., Kubudi, D., Simonsen, A. ve Vicente, J. (2018). Segmentlere Göre Tahvil Getirilerinin Tahmini Vade Yapısı Modelleri*. *Finansal Ekonometri Dergisi*, 16(1), 1–33. <https://doi.org/10.1093/jjfinec/nbx002>.
- Aruoba, SB, Diebold, FX ve Scotti, C. (2009). İş koşullarının gerçek zamanlı ölçümü. *Dergisi İşletme ve Ekonomi İstatistikleri*, 27(4), 417–427. <https://doi.org/https://doi.org/10.1198/jbes.2009.07205>.
- Bahrammirzaee, A. (2010). Finansta Yapay Zeka Uygulamalarının Karşılaştırmalı Bir İncelemesi: Yapay Zeka Yapay Sinir Ağları, Uzman Sistemler ve Hibrit Akıllı Sistemler. *Sinirsel Hesaplama ve Uygulamaları*, 19(8), 1165–1195. <https://doi.org/10.1007/s00521.010.0362-z>.
- Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G. ve Wurgler, J. (2018). *İklim değişikliğine yanıtın finansmanı: ABD yeşil tahvillerinin fiyatlandırılması ve mülkiyeti* (No. 25194; NBER Çalışma Belgeleri Serisi). Ulusal Ekonomik Araştırma Bürosu. <https://doi.org/10.3386/w25194>.
- Baker, SR, Bloom, N. ve Davis, SJ (2016). Ekonomik politika belirsizliğinin ölçülmesi. *Üç Aylık Dergi Ekonomi*, 131(4), 1593–1636. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/qje/qjw024>.
- Baysan, Y. (2019). *Yeşil krediler ve iklim finansmanı*. Marmara Üniversitesi (Türkiye).
- Broadstock, DC ve Cheng, LTW (2019). Siyah ve yeşil tahvil fiyatı arasındaki zamanla değişen ilişki Kriterler: İlk on yılın makroekonomik belirleyicileri. *Finans Araştırma Mektupları*, 29, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.02.006>.
- CBI. (2016). *Yeşil Tahviller 2016'nın Önemli Noktaları* İklim Tahvilleri Girişimi. <https://www.climatebonds.net/resources/raporlar/yeşil-tahviller-öne-çikanlar-2016>.
- CBI. (2020). *Yeşil Tahviller Küresel Piyasa Durumu 2020*. İklim Tahvilleri Girişimi. <https://www.climatebonds.net/kaynaklar/raporlar/sürdürülebilir-borç-küresel-devlet-piyasası-2020>.
- Çetin, DT (2021). Çevre dostu proje finansmanında yeşil kredi ihracı dost proje finansmanı). A.Ç. Ceylan, F. Özbay, Z. Özomay ve MB Kurt (Eds.), *Sosyal ve Beşerî Bilimlerde Araştırma ve Değerlendirmeler* (1., s. 237–252). Gece Kitaplığı.

- Debrah, C., Chan, APC ve Darko, A. (2022). Yeşil binalarda yeşil finansman açığı: Kapsam incelemesi ve gelecekteki araştırma ihtiyaçları. *Bina ve Çevre*, 207, 108443. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108443>.
- Deschryver, P. ve De Mariz, F. (2020). Yeşil tahvil piyasasının geleceği ne olacak? Politika yapıcılar, Şirketler ve yatırımcılar yeşil tahvil piyasasının potansiyelini ortaya çıkarabilir mi? *Risk ve Finansal Yönetim Dergisi*, 13(3), 61. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jrfm13030061>.
- Diriöz, AO (2021). AB Yeşil Mutabakat Kapsamında Yeşil Ekonomiye Dönüşüm Süreci, Türkiye-AB İlişkilerine Olası Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Uluslararası Suçlar ve Tarih*, 22, 107–130. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ustich/issue/66006/1017855>.
- Ehlers, T. ve Packer, F. (2017). Yeşil Tahvil Finansmanı ve Sertifikasyonu. *BIS Üç Aylık İncelemesi*, 89–104. <https://ssrn.com/abstract=3042378>.
- Engle, R. (2002). Dinamik koşullu korelasyon: Çok değişkenli genelleştirilmiş otoregresif korelasyonun basit bir sınıfı koşullu heteroskedastisite modelleri. *İşletme ve Ekonomi İstatistikleri Dergisi*, 20(3), 339–350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1198/073.500.102288618487>.
- Fang, Z., Xie, J., Peng, R. ve Wang, S. (2021). İklim Finansı: Hava Kirliliği ve Finans Piyasasının Haritalanması Zaman Serisi. *Ekonometri*, 9(4), 43. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/econometrics9040043>.
- Febi, W., Schäfer, D., Stephan, A. ve Sun, C. (2018). Likidite riskinin yeşil tahvillerin getiri farkı üzerindeki etkisi tahviller. *Finans Araştırma Mektupları*, 27, 53–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.02.025>.
- Feng, X., Shi, H., Wang, J. ve Wang, S. (2021). Yeşil akıllı finansal sistem inşa paradigmasına dayalı Derin öğrenme ve eşzamanlılık modelleri üzerine. *Eşzamanlılık ve Hesaplama: Uygulama ve Deneyim*, 33 (12), e5784. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cpe.5784>.
- Guan, H., Dai, Z., Zhao, A. ve He, J. (2018). Yüksek dereceli bulanık tahmin modeline dayalı yeni bir hisse senedi tahmin modeli. dalgalanma eğilimleri ve geri yayımlı sinir ağı. *PLoS One*, 13(2), e0192366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192366>.
- Hachenberg, B. ve Schiereck, D. (2018). Yeşil tahvillerin fiyatları geleneksel tahvillerden farklı mıdır? *Dergisi Varlık Yönetimi*, 19(6), 371–383. <https://doi.org/10.1057/s41260.018.0088-5>.
- Han, Y., Li, P. ve Wu, S. (2020). Yeşil Tahvil Portföy Çeşitlendirmesini İyileştiriyor mu? Çin'den Kanıtlar. *Çin'den Kanıtlar (1 Temmuz 2020)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3639753>.
- Hong, H., Karolyi, GA ve Scheinkman, JA (2020). İklim finansmanı. *Finansal Çalışmaların İncelenmesi*, 33(3), 1011–1023. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz146>.
- Hyndman, C. (2021). *Derin sinir ağları ile arbitrajsız getiri eğrisi ve tahvil fiyatı tahmini*. Concordia Üniversitesi. <https://www.fields.utoronto.ca/talk-media/1/43/98/slides.pdf>.
- ICMA. (2018, Haziran). *Yeşil Tahvil İlkeleri: Yeşil Tahvil İhracına İlişkin Gönüllü Süreç Yönergeleri*. Uluslararası Sermaye Piyasası Birliği. <https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelinesand-handbooks/green-bond-principles-gbp/#translations>.
- Ismail, M., Jubley, NZ ve Ali, ZM (2018). Yapay zekâ kullanılarak Malezya döviz kurunun tahmini sinir ağı ve ARIMA zaman serisi. *AIP Konferans Bildirileri*, 2013(1), 20022. <https://doi.org/10.1063/1.5054221>.
- Kamalov, F. (2020). Yapay sinir ağları kullanarak önemli hisse senedi fiyat değişikliklerinin tahmini. *Sinirsel Hesaplama ve Uygulamalar*, 32(23), 17655–17667. <https://doi.org/10.1007/s00521.020.04942-3>.
- Kandır, SY ve Yakar, S. (2017a). Yenilenebilir enerji yatırımları için yeni bir finansal araç: Yeşil krediler. *Maliye Dergi*, 172, 85–110. <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TWpjME56RTJOZ09/yenilenebilir-enerjiyatirimlari-icin-yeni-bir-finansal-arac-yesil-tahviller>.

- Kandır, SY ve Yakar, S. (2017b). Yeşil Tahvil Piyasaları: Türkiye'de Yeşil Tahvil Piyasasının Geliştirilebilmesi İçin Öneriler. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 159-175. <https://dergipark.org.tr/en/pub/cusosbil/issue/31880/350030>.
- Kapoor, A., Teo, E.-Q., Azhgaliyeva, D. ve Liu, Y. (2020). *Yeşil Tahvillerin Finansman Mekanizması Olarak Uygulanabilirliği ASEAN'da Yeşil Binalar için*. <http://hdl.handle.net/11540/12535>.
- Karpf, A. ve Mandel, A. (2018). ABD belediye tahvil piyasasında 'yeşil' etiketin değişen değeri. *Doğa İklim Değişikliği*, 8(2), 161-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41558.017.0062-0>.
- Löffler, KU, Petreski, A. ve Stephan, A. (2021). Yeşil tahvil ihracının itici güçleri ve bu konuda yeni kanıtlar. "greenium." *Avrasya Ekonomi İncelemesi*, 11(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s40822.020.00165-y>.
- Ma, Q. (2020). Hisse Senedi Fiyat Tahmini için ARIMA, ANN ve LSTM'nin Karşılaştırılması. *E3S Web Konferansları Cilt. 218 ISEESE 2020*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202.021.801026>.
- Maheswari, BU, Sujatha, R., Fantina, S. ve Mansurali, A. (2021). ARIMA ve ANN Karşılaştırması - Karşılaştırmalı Bir Çalışma Hisse Senedi Fiyatını Belirlemek İçin Tahmini Modelleme Teknikleri. *İkinci Uluslararası Bilgi Yönetimi ve Makine Zekası Konferansı Bildirileri*, 315-323. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9689-6_35.
- Mengi, DF ve Metlek, S. (2020). Türkiye'nin Akdeniz Bölgesine ait rüzgâr ekserjisinin çok dağıtımı yapay sinir ağı ile modellenmesi. *Uluslararası Mühendislik ve Yenilikçi Araştırma Dergisi*, 2(2), 102-120. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijeir/issue/55163/730320>.
- Ngwakwe, C. (2021). Kurumsal Yeşil Yatırım Tahvillerinin Tahmini - Örneklem Dışı Bir Yaklaşım. *The Muhasebe ve Yönetim Dergisi*, 11(1). <https://dj.univ-danubius.ro/index.php/JAM/article/view/368/1187>.
- Nunes, M., Gerding, E., McGroarty, F. ve Niranjan, M. (2018). Sabit Getirili Yapay Sinir Ağları Getiri Eğrisi Tahmini Piyasaları. *SSRN 3144622'de mevcuttur*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3144622>.
- Nunes, M., Gerding, E., McGroarty, F. ve Niranjan, M. (2019a). Çoklu görev ve tek görev karşılaştırması Yapay sinir ağları ile verim eğrisi tahmini için öğrenme. *Uygulamalı Uzman Sistemler*, 119, 362-375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.012>.
- Nunes, M., Gerding, E., McGroarty, F. ve Niranjan, M. (2019b). Uzun ve kısa vadeli hafızanın avantajı Tahvil getirisi tahmini için bellek ağları. *SSRN 3415219'da mevcuttur*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3415219>.
- OECD. (2017). *Yeşil Tahviller: Düşük Karbonlu Geçiş İçin Tahvil Piyasalarını Harekete Geçirmek* (Yeşil Finans ve Yatırım). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü. <https://doi.org/10.1787/978.926.4272323-en>.
- Park, D., Park, J. ve Ryu, D. (2020). Hisse senedi ve yeşil tahvil piyasaları arasındaki oynaklık taşmaları. *Sürdürülebilirlik*, 12(9), 3722. <https://doi.org/10.3390/su12093722>.
- Pham, L. (2016). Yeşile yönelmek riskli mi? Yeşil tahvil piyasasının oynaklık analizi. *Sürdürülebilirlik Dergisi Finans ve Yatırım*, 6(4), 263-291. <https://doi.org/10.1080/20430.795.2016.1237244>.
- Reboredo, JC (2018). Yeşil tahvil ve finans piyasaları: Eş hareket, çeşitlendirme ve fiyat taşması etkileri. *Enerji Ekonomisi*, 74, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.05.030>.
- Reboredo, JC ve Ugolini, A. (2020). Yeşil tahvil ve finans piyasaları arasındaki fiyat bağlantısı. *Ekonomik Modelleme*, 88, 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.09.004>.
- Reboredo, JC, Ugolini, A. ve Aiube, FAL (2020). Yeşil tahvillerin ve varlık sınıflarının ağ bağlantılılığı. *Enerji Ekonomisi*, 86, 104629. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104629>.

- Sigo, MO (2018). Büyük veri analitiği - hisse senedi fiyat eğilimlerini tahmin etmede yapay sinir ağının uygulanması Hindistan. *Muhasebe ve Finansal Araştırmalar Akademisi*, 22(3). <https://ssrn.com/abstract=3665321>.
- Standard and Poors'un (2021a). S&P 500 Tahvil Endeksi Metodolojisi. *Standard and Poors'un Küresel*. <https://www.spglobal.com/spdji/en/documents/methodologies/methodology-sp-500-bond-index.pdf>.
- Standard and Poors'un (2021b). S&P Yeşil Tahvil Endeksleri Metodolojisi. *Standard and Poors'un Küresel*. <https://www.spglobal.com/spdji/en/documents/methodologies/methodology-sp-green-bond-indices.pdf>.
- Tang, DY ve Zhang, Y. (2020). Hissedarlar yeşil tahvillerden faydalıyor mu? *Kurumsal Finans Dergisi*, 61, 101427. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2018.12.001>.
- Tealab, A., Hefny, H. ve Badr, A. (2017). Yapay sinir ağı kullanılarak doğrusal olmayan zaman serilerinin tahmini. *Geleceğin Bilgisayarı ve Bilişim Dergisi*, 2(1), 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.05.001>.
- Turguttopbaş, N. (2020). Sürdürülebilirlik, Yeşil Finans ve İlk Türk Yeşil Tahvil İhracı. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 12(22), 267–283. <https://doi.org/https://doi.org/10.14784/marufacd.688425>.
- UNFCCC. (2021). *Paris Anlaşması* Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. <https://unfccc.int/süreç-ve-toplantılar/paris-anlaşması/paris-anlaşması-nedir>.
- Wegener, C., von Spreckelsen, C., Basse, T. ve von Mettenheim, H. (2016). Devlet tahvili getirilerinin tahmin edilmesi eşbütünlüşmeyi göz önünde bulunduran sinir ağları ile. *Tahmin Dergisi*, 35(1), 86–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/for.2385>.
- Yakut, E., Elmas, B. ve Selahattin, Y. (2014). Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1), 139–157. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduibfd/issue/20816/222712>.
- Zerbib, OD (2017). Yeşil tahvil primi. *SSRN 2890316'da mevcuttur*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2890316>.

Sürdürmek

Dilşad Tülgen ÇETİN (Doktora)Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi'nde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi'nden işletme lisans derecesine, Gazi Üniversitesi'nden finans alanında yüksek lisans derecesine ve Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi'nden doktora derecesine sahiptir. İslami finans, sukuk piyasaları, yeşil/iklim finansmanı, finansal tahmin modelleri ve finans alanında yapay zeka uygulamaları konularında araştırmalar yürütmektedir.