

Araştırma Makalesi/ Research Article

Döviz Kurunu Belirleyen Değişkenlerin Tahmini: Doğrusal Zaman Serisi ve Doğrusal Olmayan Yapay Sinir Ağı (YSA) ile Bir Model Önerisi *

Ersin SÜNBÜL ¹ Yasemin KESKİN BENLİ ²

<u>Gönderim Tarihi</u>	<u>Kabul Tarihi</u>
<u>20/04/2025</u>	<u>16/07/2025</u>

Önerilen Atıf / Suggested Citation:

Sünbül, E. & Keskin Benli, Y. (2025). Döviz Kurunu Belirleyen Değişkenlerin Tahmini: Doğrusal Zaman Serisi ve Doğrusal Olmayan Yapay Sinir Ağı (YSA) ile Bir Model Önerisi, Bankacılık ve Finansal Araştırmalar Dergisi, 12(2), 192-209.

Öz

Döviz kurunu belirleyen değişkenlerin neler olduğunun tespit edilmesi politika yapıcılara, sektör temsilcilerine ve araştırmacılara yol göstermesi açısından önemlidir, bu nedenden dolayı çalışmanın amacı, döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenleri belirlemek ve doğrusal ile doğrusal olmayan zaman serisi modelleri kullanarak tahmin gücü yüksek bir model önermektir. Araştırma sorusu ise: Türkiye ekonomisi açısından döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenler nelerdir ve üç modelden hangisinin tahmin gücü yüksektir? Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'ndan alınan verilerle 16 değişken analiz edilmiştir. Döviz kurunu belirleyen çok farklı değişkenler olmakla birlikte çalışmanın kısıtını bu değişkenler oluşturmaktadır. Üç farklı model uygulanmıştır: Geleneksel Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli (%97,2 doğruluk, RMSE 2.7960), VAR-YSA birleşik modeli (%99,6 doğruluk, RMSE 0.3184) ve Çok Aşamalı Veri Temizleme-Nedensellik-YSA modeli (%99,7 doğruluk, RMSE 0.3062). Sonuç olarak, üçüncü model en yüksek tahmin başarısı göstermiştir. Döviz kurunu belirleyen başlıca değişkenler ise tüketici fiyat endeksi, reel faiz oranı, işsizlik oranı, cari açık, gayri safi yurt içi hasıla ve ihracattır.

Anahtar Kelimeler: Döviz Kuru Teorileri, Toda-Yamamoto Nedensellik Analizi, Yapay Sinir Ağı.

Jel Kodları: C13, C45, F47.

Forecasting The Determinants of Exchange Rate: A Model Proposal Using Linear Time Series And Nonlinear Artificial Neural Network (Ann) Approaches

Abstract

Identifying the variables that determine the exchange rate is important for guiding policymakers, sector representatives, and researchers. For this reason, the aim of this study is to identify the most significant variables that determine the exchange rate and to propose a model with high predictive power by using both linear and nonlinear time series models. The research question is: What are the most important determinants of the exchange rate for the Turkish economy, and which of the three models provides the highest forecasting accuracy? Data obtained from the Central Bank of the Republic of Turkey were used to analyze 16 variables. Although there are numerous variables that influence the exchange rate,

* Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret Anabilim Dalı'nda kabul edilen doktora tezinden türetilmiştir.

¹ Dr. Öğretim Üyesi., Ufuk Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, Ankara, Türkiye, ersinsunbul@hotmail.com, [ORCID ID: 0000-0001-6187-2038](https://orcid.org/0000-0001-6187-2038).

² Prof. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, Ankara, Türkiye, yasemin.benli@hbu.edu.tr, [ORCID ID: 0000-0002-8386-2620](https://orcid.org/0000-0002-8386-2620).

these 16 variables constitute the limitation of this study. Three different models were applied: The traditional Artificial Neural Network (ANN) model (97.2% accuracy, RMSE 2.7960), the VAR-ANN hybrid model (99.6% accuracy, RMSE 0.3184), and the Multi-Stage Data Preprocessing-Causality-ANN model (99.7% accuracy, RMSE 0.3062). As a result, the third model demonstrated the highest forecasting performance. The main variables determining the exchange rate were found to be the consumer price index, real interest rate, unemployment rate, current account deficit, gross domestic product, and exports.

Keywords: Theory of Exchange Rate, Toda-Yamamoto Causality Analysis, Artificial Neural Network.

Jel Codes: C13, C45, F47.

Giriş

Liberal ekonomilerde finansal istikrar, hükümet politikaları ile merkez bankası arasındaki etkin koordinasyona dayanmaktadır. Hükümetler, gümrük düzenlemeleri ve bütçe harcamaları gibi mali politikaları yönetirken, merkez bankaları para politikaları aracılığıyla para arzı, para talebi ve faiz oranlarını düzenlemektedir. 1970 sonrasında benimsenen liberal ekonomik yaklaşımlar ve dalgalı döviz kuru rejimleri, özellikle gelişmekte olan ekonomiler açısından istikrarsızlığa yol açarak küresel finansal sistemde köklü değişiklikler meydana getirmiştir. Bilgi teknolojilerindeki ilerlemeler, kontrolsüz parasal genişleme, spekülasyon faaliyetleri ve arbitraj gibi unsurlarla birleşerek bu zorlukları artırmıştır.

Döviz kurlarındaki dalgalanmalar ithalat bağımlılığı yüksek ekonomilerde sanayi ve hizmet üretimini doğrudan etkilemekte ve para biriminin değer kaybına bağlı olarak ekonomik büyümede yavaşlamalara neden olmaktadır. Bu yavaşlamalar, istihdam kayıplarına, enflasyonist baskılara ve devalüasyon süreçlerine yol açarak ekonomik krizlere sebebiyet verebilmektedir (Mishkin, 1996: 20). Bu bağlamda, döviz kurlarını belirleyen faktörlerin belirlenmesi, ekonomik riskleri minimize etmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmanın amacı, döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenleri, doğrusal zaman serisi ve doğrusal olmayan YSA modellerinden yararlanarak önerilen bir model ile tahmin etmektir.

Zaman serisi analizinin temel amacı, gelecekteki eğilimleri öngörmektir. Geleneksel doğrusal yöntemler uzun yıllardır bu amaçla kullanılmakta olup, zaman serilerinin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan özellikler göstermesi, söz konusu yöntemlerin etkinliğini sınırlamaktadır. Bu doğrultuda, doğrusal olmayan YSA gibi yaklaşımlar ön plana çıkmıştır. Son yıllarda, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemleri birleştiren modeller üstün tahmin performansı sergilemektedir. Çalışma, doğrusal zaman serisi yöntemlerini doğrusal olmayan YSA modelleriyle entegre ederek döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenleri tahmine yönelik bir model önermektedir.

Önerilen yöntem aşamaları; İlk aşamada, döviz kurları ile belirlenen değişkenler arasındaki ilişki literatür taraması yoluyla incelenmiştir. İkinci aşamada, değişkenler geleneksel ekonometrik yöntemler kullanılarak mevsimsellik ve durağanlık testlerine tabi tutulmuştur. Son aşamada, belirlenen değişkenler kullanılarak bir YSA modeli oluşturulmuş ve döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenleri tahmin eden modeller belirlenmiştir. Modelin performansını değerlendirmek amacıyla üç model oluşturulmuş ve önerilen üçüncü modelin tahmin gücünün diğer modellere göre yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Değişkenlerin durağanlığı, R-Studio ortamında mevsimsellik ve durağanlık testleri aracılığıyla analiz edilmiş, nedensellik ilişkileri ise Toda-Yamamoto nedensellik analizi yöntemi (Toda ve Yamamoto, 1995) ile değerlendirilmiştir. Döviz kuru tahmininde kullanılacak değişkenler, yalnızca tüm varsayımları sağlayan veriler arasından seçilmiştir. Yapay sinir ağı modelinde Jordan işlevselliği, Stuttgart Sinir Ağı Simülasyonu (SNNS, 2020) aracılığıyla R-Studio'ya entegre edilmiştir. Jordan modeli, çıktı katmanından girdi katmanına geri besleme sağlayan ek bir durum katmanına sahip çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Modelin öğrenme algoritması Rumelhart vd., (1986) tarafından geliştirilmiştir.

1. Döviz Kuru Teorileri

Dış ticaret dengesinin iki temel bileşeni vardır. Bunlar, cari işlemler (mal ve hizmetler) ve sermaye işlemleri. 1970'lerin öncesinde cari hesap, döviz kuru dalgalanmalarının birincil belirleyicisi olarak kabul edilmektedir. Ancak 1973'te Bretton Woods sistemi (altın standardı) terk edildikten sonra, küresel finansal düzen önemli değişikliklere uğramış, özellikle ticaret düzenlemeleri ve sermaye akışları açısından önemli dönüşümler yaşanmıştır. Bunun sonucunda, sermaye hareketleri, döviz kuru teorilerinde baskın belirleyici faktör haline gelmiştir (Seyidoğlu, 2017: 467–491).

Sermaye Hareketleri Modeli, geleneksel döviz kuru teorilerinde sıklıkla göz ardı edilen sermaye akışlarını içeren özgün bir çerçevedir (Öztürk, 2012: 117). Keynesyen Teori'nin gelir-harcama ilişkisine dayanan bu

model, döviz kuru dalgalanmalarını, demeler Dengesi'nin ana bileşeni olan Sermaye Hareketleri Hesabı üzerinden açıklar (Cengiz, 2018: 8; ztrk ve Bayraktar, 2010: 166). Monetarist Yaklaşım'dan türetilen bu model, Mundell-Fleming Modeli gibi diğerk dinamik teorilerin temelini oluşturur. Bu model Robert Mundell ve Marcus Fleming tarafından geliştirilmiştir (Krueger, 1983: 86).

Monetarist Döviz Kuru Modeli, 1960'lardan bu yana akademik tartişmaların odağı olmuştur. Dornbusch (1976), Laffer ve Miles (1982) ve Mundell (1968) gibi araştırmacılar bu modele önemli katkılarda bulunmuşlardır. İlk alışmalar, bu modeli geleneksel döviz kuru teorileriyle karşılaştırarak incelemiştir (Frenkel, 1976; Bilson, 1978; Gorton ve Roper, 1978). nceki modellere kıyasla Monetarist Döviz Kuru Modeli, mal ve hizmetler dışında finansal varlık talebinin de döviz kuru üzerinde etkili olabileceğini göstermiştir. Bu bulgu, Portföy Dengeleme Modeli'nin gelişimine yol açmıştır (ztrk, 2012: 171).

Modern Portföy Dengeleme Modeli, ilk olarak Markowitz'in "Portföy Seçimi" (1952) adlı eserinde tanıtılmıştır. Tobin (1958), bu çerçeveyi likiditeyi en düşük riskli varlık olarak tanımlayarak geliştirmiştir. Bu yenilik, yatırımcılara beklenen getirilerle risklerini karşılaştırma imkânı sunmuştur (Fabozzi, Gupta ve Markowitz, 2002; Omisore, Yusuf ve Christopher, 2012). Tobin (1955: 104-106), Friedman, (1956), Solow, (1956) ve Hicks, (1958) portföy dengesinin gerçek ve nominal faiz oranlarının birleştiğı noktada sağlandığını belirtmişlerdir.

Faiz Oranı Paritesi Modeli, döviz kuru belirlemede önemli bir değişken olarak demeler dengesinin sermaye hareketleri hesabını içerir. Bu model, döviz piyasası, vadeli işlemler ve spekülatif yatırımcı davranışları arasındaki ilişkileri incelemektedir (ztrk, 2012: 130). Model, aynı risk düzeyine sahip varlıkların eşit getiri sağlaması gerektiğini savunur. Bu dengeye olan sapmalar, arbitraj yoluyla düzeltilir (Claassen ve Mil, 1998: 39). Bu modelde önemli katkılar, Aliber (1973), Dooley ve Isard (1980), ve Otani ve Tiwari (1981) gibi araştırmacılara aittir.

Aşırı Tepki Modeli, mal piyasaları ile finansal piyasalar arasındaki etkileşimi incelemektedir Dornbusch, 1976: 1161-1162). Bu model, parasal genişlemenin döviz kuru volatilitesine yol açabileceğini ve bunun ticaret şartlarını etkileyebileceğini vurgulamaktadır. Döviz kuru ayarlamaları, fiyat düzeyinin artmasına neden olacak, bu durum da döviz kuru değişikliklerini daha da artırmaya neden olacaktır.

Piyasa Verimliliğı Modeli, döviz piyasalarının tamamen verimli olduğunu ve tüm paydaşlara doğru bilginin eşzamanlı olarak iletildiğini savunur. Bu nedenle yatırımcılar, mevcut bilgilere dayanarak kararlarını verir ve yeni veriler ortaya çıktıkça bunları ayarlarlar (Tunalı, 2009: 143). Mandelbrot (1966) ve Fama (1991) bu modele öncülük etmiş, spekülatif davranışın rolüne vurgu yapmışlardır. Fama'nın Verimli Piyasa Hipotezi, piyasaların, bilgi ve yatırım maliyetlerinin ihmal edilebilir olduğu durumlarda tamamen verimli olduğunu savunur. Bu model, aynı zamanda Rasyonel Beklentiler Yaklaşımı ve Yeni Bilgi Kaynakları Yaklaşımı'nın temelini atmıştır (ztrk, 2012: 135).

Rasyonel Beklentiler Modeli, Muth (1961) tarafından geliştirilmiş ve piyasa katılımcılarının kararlarını rasyonel ve sayısal verilere dayanarak aldığını ileri srmştir. Sargent ve Wallace (1975) ve Lucas (1973) gibi araştırmacıların sonraki katkıları, bu modele olan güveni pekiştirmiştir. Model, rasyonel olmayan tüm yaklaşımları reddeder ve bunun yerine makroekonomik politika ve iş döngülerini şekillendirmede rasyonelliğın rolünü vurgular. Bu model, uzun vadeli maliye ve ekonomi politikalarının şekillendirilmesinde önemli bir etkiye sahip olmuştur.

Mikro yapı Modeli, döviz piyasasını belirleyen mikroekonomik değişkenleri inceler. Bunlar, anlık arz ve talep, aktörlerin davranışları, bilgi şeffaflığı ve piyasa riski gibi faktörleri içerir (Bulut, 2005: 174; Husted ve Melvin, 2009: 466-467). Lyons (2001), Meese ve Rogoff (1983), ve Flood ve Rose (1995) gibi ampirik araştırmalar, mikroekonomik faktörlerin genellikle kısa vadeli döviz kuru dinamiklerini yönlendirdiğini, oysa makroekonomik göstergelerin uzun vadede daha etkili olduğunu göstermiştir.

Özetle, döviz kuru teorilerinin evrimi, küresel finansal piyasaların giderek artan karmaşıklığını yansıtmaktadır. Her bir model, sermaye akışlarının makro düzeydeki dinamiklerinden piyasa katılımcılarının mikro düzeydeki davranışlarına kadar döviz kuru dalgalanmalarına dair benzersiz içgörüler sunarak, bu dalgalanmaların anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

2. Literatür

II. Dünya Savaşı sonrasında, Bretton Woods Anlaşması, ulusal paraları Amerikan doları ile sabitleyen, doları da altına pariteleyen, bu sayede uluslararası ticareti istikrara kavuşturmayı amaçlayan bir parasal ereve oluşturmuştur. Bu sistem, sabit döviz kuru sağlarken, uluslararası ticaretin istikrarını garanti altına almayı

hedeflemiştir. Ancak 1970'lerdeki enerji krizi, Bretton Woods sisteminin çözülmesine ve döviz kurlarının serbest bırakılmasına yol açarak, küresel finansal dinamiklerde yeni bir dönemin başlangıcını işaret etmiştir.

Dalgalı döviz kuru rejimi altında para birimlerinin değeri, piyasa mekanizmaları tarafından belirlenir. Bu da döviz hareketlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesini, ekonomik planlama açısından kritik hale getirir (Saatçioğlu ve Karaca, 2004: 183). Yerel ticaret yerel paralarla gerçekleştirilirken, uluslararası ticaret işlemleri yabancı para birimlerinin kullanımını gerektirir. Bu durum, döviz kuru mekanizmalarının merkeziliğini vurgular (Erener ve Aypek, 2018: 2).

Döviz kurlarını belirleyen değişkenler aşağıdaki şekilde incelenmiştir.

2.1. Döviz Kuru ve Hisse Senedi Piyasası Etkileşimleri

Monetarist Yaklaşım, döviz kurları ile hisse senedi endeksleri arasında ters bir ilişki olduğunu öne sürerken, Branson (1983) bu değişkenlerin sıklıkla paralel hareket ettiğini savunmaktadır (Dornbusch ve Fischer, 1980). Ampirik alışmalar da bu dinamiği vurgulamaktadır. Ajayi ve Mougou (1996), döviz kuru dalgalanmalarının hisse senedi endekslerini olumsuz etkilediğini bulmuş, Granger vd., (2000) karşılıklı bir ilişki gözlemlemiştir. Büberkökü (1997), bazı gelişmiş ekonomilerde anlamlı bir ilişkiye rastlamamış, İşvire ve Kanada'da döviz kurundan hisse senetlerine doğru tek yönlü nedensellik, Türkiye'de ise hisse senetlerinden döviz kurlarına doğru bir ilişki tespit etmiştir.

2.2. Döviz Kuru ve Enflasyon Dinamikleri

Döviz kurları, hem doğrudan hem de dolaylı kanallar aracılığıyla enflasyonu etkiler. Doğrudan olarak, para biriminin değer kaybı ithal malların maliyetini artırırken; dolaylı olarak, ithal girdilerle üretilen malların ve hizmetlerin fiyatlarını artırır (Terzi ve Kurt, 2008: 3). Ampirik kanıtlar bu bağlantıları desteklemektedir. Hacıevliyagil vd., (2019) ile Erdoğmuş ve Barışık (2020), döviz kurları ile reel faiz oranları arasında karşılıklı ilişkiler tespit etmişken, Kara ve ğn (2005) anlamlı bir korelasyon bulamamıştır.

2.3. Döviz Kurları ve Faiz Oranları

Döviz kurları ile faiz oranları arasındaki ilişkiyi açıklamak için üç farklı yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, döviz kurlarını yabancı yatırımlar ve faiz oranları ile ilişkilendirirken, ikinci yaklaşım nakit akışı ve kredi riski primleri gibi değişkenleri incelemektedir. c yaklaşım ise kamu borcu, enflasyon ve risk primlerini içine almaktadır. Yurdakul vd., (2016) ile Hacıevliyagil vd.,(2019), döviz kurları ile reel faiz oranları arasında anlamlı bir ilişki gözlemlemişlerdir. Benita ve Lauterbach (2004) ile Sharifi-Renani (2007) ise pozitif bir korelasyon bulmuşlardır, ancak, Dritsakı (2011) negatif bir ilişki raporlamıştır. Yalıncaya ve Tunalı (2019), USD swap faiz oranlarındaki değişimlerin USD/TL kurlarında tek yönlü değişimlere yol açtığını, TL swap faiz oranlarındaki değişimlerin ise karşılıklı etkiler yarattığını göstermiştir.

2.4. Sermaye Hareketleri ve Döviz Kurları

Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomilerde, kamu yatırımları genellikle dış borçlanmayı gerektirir ve bu da döviz rezervlerini azaltır. Öte yandan, doğrudan yabancı yatırımlar rezervleri artırır. Barrell, Gottschalk ve Hall (2003) ile Serven (2002) tarafından yapılan çalışmalarda, döviz kurları ile sermaye hareketleri arasında ters bir ilişki tespit edilmiştir, aynı şekilde Caballero (1991) ve Byrne ve Davis (2003) de benzer bulgular elde etmiştir. Bahmani-Oskooee ve Hajilee (2013), 36 ülkeyi inceledikleri çalışmalarında, 13 ülkede ters, 14 ülkede doğrudan ve 9 ülkede anlamlı bir ilişki bulamamışlardır. Karpuz ve Kızıltan (2014), Organ ve Berk (2016) ile Berke (2014), döviz kurları ile yabancı yatırımlar arasında negatif karşılıklı ilişkiler tespit etmişlerdir.

2.5. Dış Ticaret ve Döviz Kurları

demeler dengesi, özellikle cari hesap, döviz kurları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Teorik olarak, cari açıkların dövizle finanse edilmesi döviz kurlarını yükseltirken, fazla veren cari hesaplar aşağı yönlü baskı yapar (Dinler, 2007: 240; Hodge, 2005: 5). Ampirik bulgular da bu görüşü desteklemektedir. Asterious, Masatci ve Pilbeam (2016) ile Bozdan, zenci ve Benli (2018), döviz kurları, ithalat ve ihracat arasında uzun vadeli ilişkiler bulmuşlardır. Sönmez, Akduğan ve Gündüz (2017), reel döviz kuru ile hem tüketim malları ihracatı hem de ara mal ithalatı arasında ilişkiler kurmuşken, Snl (2020), döviz kurları ile ihracat arasında bir ilişki gözlemlemiş ancak ithalat ile bir ilişki bulamamıştır.

2.6. Döviz Kurları ve Bte Açıkları

alışmalar, döviz kurları ile bte açıkları arasında pozitif ve güçlü bir ilişki olduğunu, bte açıklarındaki artışların döviz kurlarını yükselttiğini göstermektedir. Ayrıca, GSYİH'nın döviz kurları üzerinde etkili olduğu ancak ters ilişkinin sıklıkla zayıf olduğu ifade edilmiştir. Yurdakul vd., (2016), büyüme için dış borca aşır

bağımlılığın piyasa kırılganlığını artırdığını ve bu durumun döviz kriziyle sonuçlanabileceğini belirtmişlerdir. Ampirik çalışmalar ise karışık sonuçlar sunmaktadır. McPherson ve Rakovski (2000), GSYİH'dan döviz kurlarına doğru tek yönlü nedensellik bulurken, Khan vd., (2019) ile Özdemir ve Bilgen (2021) karşılıklı ilişkiler tespit etmişlerdir.

2.7. İşsizlik, Altın Rezervleri ve Enerji Fiyatları

Demirgil (2021), döviz kurlarından işsizliğe doğru nedensellik bulmuşken, Ayhan (2019) istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulamamıştır. Ergün (2021), altın rezervlerindeki değişimlerin doğrudan döviz kurları üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Baek ve Kim (2020), Kızılkaya (2021) ve Saidu vd., (2021), petrol fiyatları ile döviz kurları arasında tek yönlü ilişkiler gözlemlemişlerdir.

3. Veri Seti ve Yöntem

3.1. Veri Seti

Veri seti, TCMB, EVDS'den temin edilmiştir ve 2009Q1 ile 2020Q3 dönemini kapsayan 47 gözlem içeren 16 değişkenden oluşmaktadır. Analizde USD/TRY endeksi bağımlı değişken, dış borç, kamu yatırımları, altın rezervleri, döviz rezervleri, reel faiz oranları, ihracat, ithalat, cari işlem dengesi, işsizlik oranı, TÜFE, GSYİH, BIST 100 endeksi, petrol endeksi, altın endeksi ve para arzı bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır. Kamu yatırımları değişkeni yatırım verilerini, ithalat ve ihracat verileri ise dış ticaret hacmini temsil etmektedir.

3.2. Yöntem

İlk olarak, döviz kurlarını belirleyen anahtar değişkenleri belirlemek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. İkinci aşamada, belirlenen değişkenler doğrusal zaman serisi analizine tabi tutulmuş; bu analiz mevsimsel araştırma, durağanlık testi ve değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin belirlenmesini içermektedir. Mevsimsel etkiler giderilmiş, veriler durağan hale getirilmiş ve USD/TRY endeksi ile karşılıklı nedensellik gösteren değişkenler, analiz için belirlenmiştir. Son aşamada üç model oluşturularak modellerin tahmin güçleri karşılaştırılarak döviz kurlarını en yüksek tahmin gücü ile tespit eden yöntem önerisi sunulmuştur.

Çalışmada, tahmin süreci mevsimsellik, durağanlık ve nedensellik analizlerinin yanı sıra Yapay Sinir Ağları (YSA) uygulamasıyla birleştirilmiştir. Verilerin durağanlık ve mevsimsellik gibi dışsal etkilerden temizlenmesi sonrası, Toda-Yamamoto Nedensellik analizi kullanılarak döviz kuru endeksi üzerinde önemli etkisi olan değişkenler belirlenmiştir. Bu analiz sonuçlarına dayanarak, üç farklı veri seti YSA tabanlı tahmin modelleri için oluşturulmuştur. YSA çerçevesi içinde üç farklı model benimsenmiştir. Bunlar;

- Geleneksel YSA modeli,
- VAR-YSA hibrit modeli
- Veri Temizleme Süreci (MSDP) - Nedensellik-YSA hibrit modeli

En etkili modelin seçimi, hata ölçüm kriterlerine dayalı olarak yapılmıştır. Tahmin hatasını minimize etmek maksadıyla; nöron sayısı, algoritma seçimi, eğitim ve test veri setleri, öğrenme iterasyonları gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Tahmin hatalarını minimize eden modeller, optimal modeller olarak belirlenmiştir.

Mevsimsellik analizi, durağanlık testi ve nedensellik analizleri, zaman serisi tahminlerinin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamak amacıyla yapılmıştır. Zaman serisinin durağan yapısının oluşturulması, sağlam ve tutarlı tahmin sonuçları elde etmek için kritik öneme sahiptir. Finansal zaman serisi verileri, genellikle mevsimsel dalgalanmalar, döngüsel desenler ve trendler nedeniyle durağan olmayan davranışlar sergiler, bu da yanıltıcı sonuçlardan kaçınmak için bu etkilerin giderilmesini gerektirir.

Keşifsel veri analizi süreci, zaman serilerinin temel özelliklerini incelemeyi içermektedir. Mevsimsel etkiler, arındırma teknikleriyle giderilmiş ve durağan olmayan seriler, durağanlık sağlamak amacıyla fark alma işlemine tabi tutulmuştur. Bağımlı değişken (USD/TRY endeksi) ile her bir bağımsız değişken arasındaki nedensellik ilişkileri incelenmiş ve anlamlı nedensellik ilişkileri üçüncü modele dahil edilmiştir.

Üçüncü model, veri temizleme süreci ile nedensellik analizini birleştirerek mevsimsel ayarlamaları ve durağanlık dönüşümlerini içermektedir. Bu yaklaşım, verilerdeki durağan olmayan ve mevsimsel etkileri etkili bir şekilde ele alarak daha doğru tahminler sağlamayı amaçlamıştır.

Mevsimsellik testleri, R programlama dilindeki "seastests" paketinden "wo" fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevsimsel etkiler tespit edildikten sonra, bu etkiler, temel eğilimleri ve döngüsel davranışları izole etmek amacıyla mevsimsel düzeltme teknikleriyle giderilmiştir.

Mevsimsel düzeltme işleminin ardından, durağanlık testi Phillips-Perron (PP) testi (Phillips ve Perron, 1988) ile yapılmıştır. Durağan olmayan seriler için, durağanlık sağlanana kadar serilerin farkları alınmıştır. Alternatif birim kök testleri, örneğin Augmented Dickey-Fuller (ADF) testi de sıklıkla kullanılsa da, Phillips-Perron testi finansal veriler bağlamında güvenilirliği nedeniyle tercih edilmiştir.

Durağanlık tüm serilerde doğrulandıktan sonra, nedensellik analizi Toda-Yamamoto Nedensellik Testi kullanılarak yapılmıştır. Bu test, döviz kuru endeksi ile diğer makroekonomik değişkenler arasındaki anlamlı nedensellik ilişkilerini belirlemek için kullanılmış ve güçlü nedensellik ilişkileri gösteren değişkenler üçüncü model için giriş değişkenleri olarak seçilmiştir.

Üçüncü modelin giriş verileri, bu varsayımlara dayalı olarak dikkatle seçilmiştir. Model, mevsimsel ayarlama ve yalnızca anlamlı, nedensel ilişkili değişkenlerin dahil edilmesi ile USD/TRY endeksi tahmininde daha kapsamlı ve hassas bir yaklaşım sunmayı hedeflemektedir.

Veri ön işleme ve değişken seçimi sonrasında, tahminler YSA kullanılarak yapılmıştır. Üç modelde de, R'deki Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS) kütüphanesinden "jordan" fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon, zaman serisi tahmin görevleri için özel olarak tasarlanmış çok katmanlı bir YSA mimarisini uygular. İlk modelde, veri seti 16 değişkenin orijinal değerlerini içermekte olup, USD/TRY endeksi bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Tahmin doğrudan YSA kullanılarak yapılmış ve orijinal veri üzerinde herhangi bir ön işleme yapılmamıştır. İkinci modelde, giriş değişkenleri VAR analizi ile belirlenen gecikme uzunluklarına dayalı olarak yeniden yapılandırılmış ve bir VAR-YSA hibrit modeli oluşturulmuştur. Üçüncü model ise daha önce ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, mevsimsel ve durağanlık dönüşümlerini içeren çok aşamalı bir veri temizleme süreci ile nedensellik analizini birleştiren hibrit bir yapıya sahiptir.

Tüm modellerin performansı, tahmin hatalarının ortalama büyüklüğünü ölçen, Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu kriter, model performanslarının kıyaslanması için net bir ölçüdür.

Sonuç olarak, ileri düzey zaman serisi analiz teknikleri, nedensellik testleri, yapay sinir ağları birleştirilerek döviz kuru tahmini için sağlam ve doğru bir hibrit model oluşturulmuştur. Üçüncü model, mevsimsel ayarlamalar, durağanlık dönüşümleri ve nedensellik analizine odaklanarak, zaman serisi tahminindeki yaygın zorlukları da dikkate alarak, ekonomik ve finansal veri setlerinde uygulanabilecek yeni bir model sunmaktadır.

4. Ampirik Bulgular

4.1. Mevsimsellik Araştırması

Kullanılan analiz yöntemine göre; mevsimsellik içermeyen serilerde hesaplanan istatistiksel değerin 1'e yakın olması beklenmektedir. Ortalama değerden sapma gösteren dönemlerde seride mevsimsellik olduğu sonucuna varılabilir. Mevsimsellik kontrolü için R-Studio'daki "wo" fonksiyonu kullanılmıştır (Ollech ve Webel, 2020). Mevsimsellik test sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Mevsimsellik Test Sonuçları

Değişkenler	Test İstatistiği	p-değeri (Test 1 / Test 2 / Test 3)	Sonuç
USD/TRY Endeksi	0	1 / 1 / 0.9803	Hayır
Dış Borç	0	1 / 1 / 0.9800	Hayır
GSYİH	1	1.7897 / 1.7669 / 4.5320	Mevsimsellik
Cari İşlem Dengesi	0	1 / 1 / 0.6106	Hayır
İthalat	1	0.0123 / 0.0271 / 0.0006	Mevsimsellik
İhracat	1	0.0034 / 0.0191 / 0.0001	Mevsimsellik
Petrol Endeksi	0	1 / 1 / 0.5271	Hayır
Altın Endeksi	0	1 / 1 / 0.4770	Hayır
Altın Rezervleri	0	1 / 1 / 0.9085	Hayır
Para Arzı	0	0.0805 / 1 / 0.8164	Hayır
TÜFE	0	0.0664 / 1 / 0.0121	Hayır
Reel Faiz Oranı	0	1 / 1 / 0.8118	Hayır

Kamu Yatırımları	0	1 / 1 / 0.8326	Hayır
İşsizlik Oranı	1	1.2676 / 2.1097 / 1.5694	Mevsimsellik
BIST 100 Endeksi	0	1 / 1 / 0.5585	Hayır
Döviz Rezervleri	0	1 / 1 / 0.3022	Hayır

Tablo 1'e göre, GSYİH, ithalat, ihracat ve işsizlik oranı verilerinin mevsimsellik içerdiği görülmektedir. Bu dört serinin mevsimsel olarak düzeltilmiş değerleri, sonraki analizlerde kullanılmak üzere seçilmiştir.

4.2. Durağanlık Araştırması

Durağanlık kontrolü için Phillips-Perron Birim Kök Testi tercih edilmiştir. Birim kök testi için kullanılan fonksiyonlar, 1, 2 ve 3 numaralı eşitliklerde sunulmuştur.

$$\Delta Y_t = \gamma Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \gamma Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \gamma Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Bu eşitlikler, birim kök varlığını test etmek için üç farklı modelde kullanılmıştır. Bunlar, sabit terimli ve trendli model (3), sabit terimli model (2), ve sabit terim ve trend içermeyen model (1)'lerdir. İstikrar herhangi bir modelde sağlanmışsa, seri durağan kabul edilmiştir. Varsayımları sağlamayan serinin ilk farkları alınarak birim kök testi tekrarlanmıştır.

Birim kök testi için gecikme "lag" uzunluğu, Akaike Bilgi Kriteri (AIC), Schwarz Bilgi Kriteri (SC) ve Hannan-Quinn Bilgi Kriteri (HQ) gibi bilgi kriterlerine dayalı olarak belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre, dört değişkenin (I(0)) seviyesinde, on iki değişkenin ise (I(1)) seviyesinde durağan olduğu tespit edilmiştir. Değişkenlerin durağanlık düzeylerini değerlendirmek amacıyla uygulanan Phillips-Perron birim kök testi sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Durağanlık Test Sonuçları

Değişken	Test İstatistiği	p-değeri	Sonuç
USD/TRY Endeksi	-7.5063	0.0000	I(1) farkında durağan
Dış Borç	-5.6338	0.0000	I(1) farkında durağan
GSYİH	-6.3766	0.0006	I(1) farkında durağan
Cari İşlem Dengesi	-4.8484	0.0015	I(0) seviyesinde durağan
İthalat	-2.9725	0.0451	I(0) seviyesinde durağan
İhracat	-4.5434	0.0036	I(0) seviyesinde durağan
Petrol Endeksi	-7.4880	0.0000	I(1) farkında durağan
Altın Endeksi	-4.5922	0.0000	I(1) farkında durağan
Altın Rezervleri	-3.3543	0.0013	I(1) farkında durağan
Para Arzı	-5.5129	0.0002	I(1) farkında durağan
TÜFE	-7.7952	0.0000	I(1) farkında durağan
Reel Faiz Oranı	-5.4376	0.0000	I(1) farkında durağan
Kamu Yatırımları	-3.7338	0.0066	I(0) seviyesinde durağan
İşsizlik Oranı	-7.5278	0.0000	I(1) farkında durağan
BIST 100 Endeksi	-7.3429	0.0000	I(1) farkında durağan
Döviz Rezervleri	-5.4647	0.0000	I(1) farkında durağan

Tablo 2'ye göre, Test istatistikleri ve p-değerlerine dayanarak, değişkenlerin seviyesinde mi (I(0)), yoksa farkında mı (I(1)) durağan oldukları belirlenmiştir.

Cari İşlem Dengesi, İthalat, İhracat ve Kamu Yatırımları değişkenleri (I(0)) seviyede durağandır. Bu sonuçlar, değişkenlerin zaman içinde sabit bir ortalama ve varyansa sahip olduğunu ve modelleme süreçlerinde fark alma işlemi gerektirmediğini göstermektedir. Özellikle, ithalat ve ihracat gibi ticaretle ilgili değişkenlerin seviyesinde durağan olması, dış ticaret dinamiklerinin zaman içinde nispeten kararlı olduğuna işaret edebilir.

USD/TRY endeksi, Dış Borç, GSYİH, Petrol Endeksi, Altın Endeksi, Altın Rezervleri, Para Arzı, TÜFE, Reel Faiz Oranı, İşsizlik, BIST 100 Endeksi ve Döviz Rezervleri gibi değişkenler (I(1)) farkta durağan hale gelmektedir. Bu durum, söz konusu değişkenlerin zaman içinde trend veya yapısal kırılmalar içerdiğini ve analizlerde fark alma işleminin gerekli olduğunu gösterir. Özellikle ekonomik büyüklükler (GSYİH, Reel Faiz Oranı, Para Arzı) genellikle uzun vadeli eğilimler gösterdiğinden, birim kök testlerinde fark alma ihtiyacı yaygındır.

Durağanlık analizi sonuçlarına göre ileri modelleme işlemlerinde, (I(1)) düzeyinde olan değişkenler için değişkenlerin birinci farkları, (I(0)) seviyesinde olan değişkenlerin ise orijinal gözlem değerleri kullanılmıştır.

4.3. Nedensellik Analizi

Toda-Yamamoto nedensellik analizi, bazı serilerin (I(0)) seviyesinde, bazılarının ise (I(1)) farkında durağan olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir (Toda ve Yamamoto, 1995). Test, VAR modeline dayanmaktadır. Analizde, on beş bağımsız değişken ile bir bağımlı değişken arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir. Nedensellik analizinin ilk adımı, zaman serisi VAR modeli için optimal gecikme uzunluklarını belirlemektir. Bu amaçla, eşitlik (4) ve (5) kullanılmıştır.

$$Y_t = \omega + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} X_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_{1i} Y_{t-i} + \sum_{j=m+1}^{dmax} \delta_{1j} X_{t-j} + \sum_{j=m+1}^{dmax} \theta_{1j} Y_{t-j} + \varepsilon_{1t} \quad (4)$$

$$X_t = \varphi + \sum_{i=1}^m \alpha_{2i} X_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_{2i} Y_{t-i} + \sum_{j=m+1}^{dmax} \delta_{2j} X_{t-j} + \sum_{j=m+1}^{dmax} \theta_{2j} Y_{t-j} + \varepsilon_{2t} \quad (5)$$

Bu eşitliklerde, m optimal gecikme uzunluğunu, dmax ise optimal eşbütünleşme derecesini ifade etmektedir. Modeldeki hata terimleri ε_{1t} ve ε_{2t} , değişkenlerin sabit varyansa ve sıfır ortalamaya sahip olduğunu varsaymaktadır. Bu da durağanlığı göstermektedir. Nedensellik analizinin doğru sonuçlar verebilmesi için belirli varsayımlar test edilmeli ve gecikme uzunluğu ile eşbütünleşme derecesi doğru bir şekilde belirlenmelidir. Uygun gecikme uzunluğu ve eşbütünleşme katsayısının tespitinde bilgi kriterleri ve birim kök test değerleri kullanılmaktadır.

Optimal gecikme uzunlukları, VAR modeli için kesin bir bilgi sunmaz, yalnızca ön çalışma niteliğindedir. Tahmin edilen VAR modelinin güvenilir olması için Karakteristik Polinom Ters Kök Değerlerinin (CPIRV) birim çember içerisinde bulunması ve modül değerinin 0 ile 1 arasında olması beklenmektedir. Eğer değerler birim çember dışında kalırsa, başlangıçtaki VAR modelindeki gecikme uzunlukları değiştirilerek model yeniden tahmin edilmelidir (Sünbül, 2022). VAR modelinin tüm varsayımlarını sağlayan optimal gecikme uzunlukları ve gecikme katsayıları belirlenmiştir. Buna göre, çoğu değişken için optimal gecikme uzunluklarının düşük değerlerde belirlendiği görülmüş, ancak, "Para Arzı" ve "BIST 100 Endeksi" değişkenleri için modelin anlamsız olduğu tespit edilmiştir. GSYİH, İthalat ve TÜFE gibi değişkenleri için daha yüksek gecikme uzunlukları sırasıyla (3, 3 ve 4 gecikme) tespit edilmiştir. Bu durum, ekonomik göstergelerin daha uzun sürede etkili olduğunu ve gecikmeli tepkiler gösterdiğini ifade edebilir.

İşsizlik oranı değişkeni için 5 gecikmeli model öngörülmüş, işsizlik oranının makroekonomik değişkenler üzerindeki etkisinin uzun vadede belirgin hale geldiği söylenebilir. CPIRV değerlerinin 0 ile 1 arasında olması modelin istikrarını desteklemektedir.

Sonuç olarak, optimal gecikme uzunluklarının belirlenmesi, değişkenlerin dinamik yapısını ortaya koymak açısından önemlidir. Modelin doğruluğunu artırmak için eşbütünleşme testleriyle analizlere devam edilmiştir.

4.3.1. Model spesifikasyon analizleri

Tahmin amacıyla oluşturulan VAR modelinin güvenilir olabilmesi için artıkların seri korelasyon hatası testleri ile incelenmesi gerekmektedir. Bu test kapsamında oluşturulan hipotez aşağıda sunulmuştur.

- H_0 : Modelde otokorelasyon problemi bulunmaktadır ($p < 0,01$; $0,05$ ve $0,10$).

Artıkların otokorelasyon test sonuçları ve değişkenler için farklı gecikme uzunluklarına göre LRE istatistik değeri ve karşılık gelen p-değerleri belirlenmiştir.

Özellikle *GSYİH*, *Kamu Yatırımları* değişkenlerinde farklı gecikme uzunlukları için otokorelasyon problemi tespit edilmiştir. Örneğin, *GSYİH* değişkeni için 1 gecikme ($p=0.0023$) ve 4 gecikme ($p=0.0001$) seviyelerinde sıfır hipotezi red edilememiştir, bu da otokorelasyon sorununun varlığına işaret etmektedir. Dolayısıyla H_0 reddedilene kadar farklı gecikme uzunluklarında test tekrarlanmıştır.

Diğer değişkenler için test sonuçları sıfır hipotezinin red edildiğini göstermekte ve bu değişkenler için otokorelasyon sorununun olmadığına işaret etmektedir.

Son olarak, bağımlı değişken olarak modele dahil edilen *USD/TRY endeksi* ile bağımsız değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi *Düzeltilmiş WALD Testi* yardımıyla belirlenmiştir.

4.3.2. Düzeltilmiş WALD testleri

Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemek amacıyla Toda ve Yamamoto (1995) tarafından geliştirilen *Düzeltilmiş WALD Testi* uygulanmıştır.

Bu test kapsamında kurulan hipotez aşağıda sunulmuştur.

- H_0 : Bağımsız değişken, bağımlı değişkenin nedeni değildir ($p > 0,01; 0,05$ ve $0,10$).

WALD testi analiz sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Toda-Yamamoto Nedensellik Analizi (WALD Test İstatistiği)

Nedensellik Yönü	Test İstatistiği	p-değeri	Nedensellik
Dış Borç $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	0.422	0.5157	Yok
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Dış Borç	0.234	0.6281	Yok
GSYİH $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	1.069	0.0135	Var
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ GSYİH	2.423	0.4893	Yok
Cari İşlem Dengesi $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	6.042	0.0140	Var
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Cari İşlem Dengesi	0.668	0.4137	Yok
İthalat $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	2.709	0.4387	Yok
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ İthalat	8.666	0.0341	Var
İhracat $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	5.977	0.0503	Var
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ İhracat	0.575	0.7501	Yok
Petrol Endeksi $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	0.567	0.4511	Yok
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Petrol Endeksi	0.091	0.7618	Yok
Altın Endeksi $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	1.155	0.2823	Yok
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Altın Endeksi	0.630	0.4272	Yok
Altın Rezervi $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	2.537	0.1111	Yok
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Altın Rezervi	0.157	0.6917	Yok
TÜFE $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	1.975	0.0006	Var
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ TÜFE	8.425	0.0000	Var
Reel Faiz Oranı $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	1.134	0.0034	Var
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Reel Faiz Oranı	4.839	0.0000	Var

Nedensellik Yönü	Test İstatistiği	p-değeri	Nedensellik
Kamu Yatırımları $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	0.853	0.3557	Yok
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Kamu Yatırımları	0.585	0.4441	Yok
İşsizlik Oranı $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	2.366	0.0003	Var
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ İşsizlik Oranı	2.359	0.0003	Var
Döviz Rezervi $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi	0.462	0.4964	Yok
USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Döviz Rezervi	1.550	0.0001	Var

Tablo 3'e göre, bağımsız değişkenlerin USD/TRY endeksi üzerindeki nedensellik ilişkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Analiz sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

GSYİH $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi: GSYİH'nin USD/TRY endeksi üzerinde tek yönlü anlamlı bir nedensellik etkisi olduğu görülmektedir ($p=0.0135 < 0.05$). Bu durum, ekonomik büyümenin döviz kuru üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir.

Cari İşlem Dengesi $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi: Cari açığın USD/TRY endeksi üzerinde anlamlı tek yönlü bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p=0.0140 < 0.05$). Cari açığın artması, döviz kurunda yukarı yönlü bir baskı oluşturabilir.

İhracat $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi: İhracatın döviz kuru üzerinde tek yönlü anlamlı bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır ($p=0.0503 \approx 0.05$). İhracat artışı, döviz arzını artırarak kur üzerinde baskı oluşturabilir.

USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ İthalat: Döviz kurunun ithalat üzerinde tek yönlü anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ($p=0.0341 < 0.05$). Döviz kuru artışı, ithalat maliyetlerini artırarak ithalat hacmini olumsuz yönde etkileyebilir.

USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Döviz Rezervi: USD/TRY endeks değişimlerinin döviz rezervleri üzerinde anlamlı tek yönlü bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p=0.0001 < 0.01$). USD/TRY endeksindeki dalgalanmalar, rezerv birikimi ve kullanım stratejilerini doğrudan etkileyebilir.

TÜFE $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi ve USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ TÜFE: TÜFE'nin USD/TRY endeksi üzerinde güçlü bir nedensellik etkisi vardır ($p=0.0006 < 0.01$). Aynı zamanda USD/TRY endeksinin de TÜFE üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmektedir ($p=0.0000 < 0.01$). Bu çift yönlü nedensellik ilişkisi, enflasyon ile USD/TRY endeksi arasındaki iç içe geçmiş etkileşimi desteklemektedir.

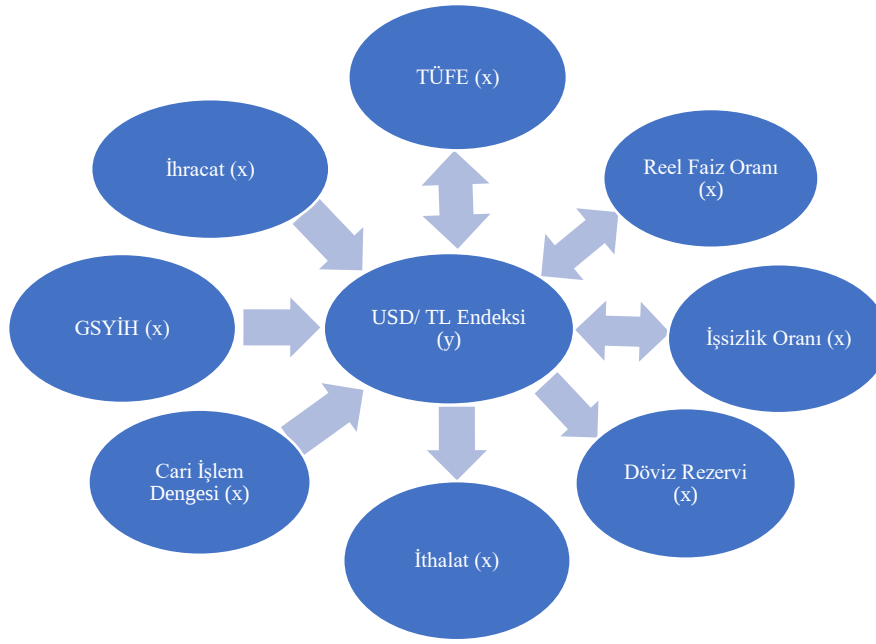
Reel Faiz Oranı $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi ve USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ Reel Faiz Oranı: Reel Faiz oranının USD/TRY endeksi üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ($p=0.0034 < 0.05$). Aynı şekilde, USD/TRY endeksinin de reel faiz oranı üzerinde güçlü bir nedenselliği olduğu tespit edilmiştir ($p=0.0000 < 0.01$).

İşsizlik Oranı $\Rightarrow$ USD/TRY Endeksi ve USD/TRY Endeksi $\Rightarrow$ İşsizlik Oranı: İşsizlik oranının USD/TRY endeksi üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir ($p=0.0003 < 0.01$). Aynı şekilde, USD/TRY endeksinin de işsizlik oranı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir. USD/TRY endeksindeki dalgalanmaların iş gücü piyasası üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu söylenebilir ($p=0.0003 < 0.01$).

Dış Borç, Petrol Endeksi, Altın Endeksi, Altın Rezervi, Kamu Yatırımları gibi değişkenlerin USD/TRY endeksi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmemiştir ($p > 0.05$).

Sonuç olarak, USD/TRY endeksi ile *TÜFE, reel faiz oranı ve işsizlik oranı* arasında güçlü iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmakta ve bu değişkenlerin döviz kuru üzerinde belirleyici faktörler olduğu gözlemlenmektedir. *Petrol endeksi, altın endeksi ve kamu yatırımlarının döviz kuru üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı*, ancak uzun vadede dolaylı etkiler yaratabileceği dikkate alınmalıdır.

Bu bulgular, makroekonomik değişkenler ile USD/TRY endeksi arasındaki ilişkilerin karmaşıklığını göstermekte ve döviz kurundaki dalgalanmaları yönetirken dikkate alınması gereken temel faktörleri ortaya koymaktadır. Nedensellik testi sonuçları özet olarak Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1.Nedensellik Testi Sonuçları

Şekil 1'e göre, $(y \Leftrightarrow x)$ sembolü, y ve x değişkenleri arasında çift yönlü nedenselliği, $(y \Rightarrow x)$ y değişkeninden x değişkenine tek yönlü nedenselliği, $(x \Rightarrow y)$ x değişkeninden y değişkenine tek yönlü nedenselliği ifade etmektedir.

4.4. Yapay Sinir Ağları ile Zaman Serisi Tahmini

YSA, tahmin sürecinde biyolojik öğrenme aktivitelerini taklit eden bilgisayar programlarıdır. Bu süreçler, aynı zamanda makine öğrenimi olarak da bilinmektedir. Makine öğrenimi kavramı ilk olarak 1950'lerde ortaya atılmıştır. 1990 sonrası dönemde makine öğreniminin başarısı, teorik çalışmaları pratik uygulamalara dönüştürmüştür (Fausett, 1994, s. 3; Öztemel, 2003, s. 30). YSA'lar, girdileri kullanarak kendi deneyimlerini oluşturabilir ve bu deneyimlere dayanarak en uygun kararları alabilirler (Fausett, 1994, s. 3).

YSA eğitimi, gözetimli ve gözetimsiz öğrenme olarak iki kategoride incelenmektedir. Gözetimli öğrenmede süreç, ağa hem girdi hem de çıktı değerlerinin tanıtılmasıyla başlar. Ağırlık katsayıları, girdi ve çıktı değerlerini hizalayarak hata oranını en aza indirecek şekilde ayarlanır. Öte yandan, gözetimsiz öğrenmede ağa yalnızca girdi değerleri sunulur ve ağ, en iyi sınıflamayı kendi kendine belirlemelidir. Ağırlıklar, bu sınıflama sürecindeki hatayı minimize edecek şekilde güncellenir (Sabak ve Başar, 2020; Güneri ve Apaydın, 2004: 175).

YSA mimarisinde gizli katmanların ve nöronların sayısı kritik bir rol oynamaktadır. Bu sayıların artması öğrenme süresini uzatabilir, hata oranını artırabilir ve aşırı öğrenmeye (overfitting) neden olabilir. Bu nedenle, optimum performans sağlamak için uygun gizli katman ve nöron sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Gizli katman ve nöron sayısını belirlemede en önemli faktör, giriş ve çıkış katmanlarındaki değişken sayısıdır. Bununla birlikte, optimal sayıya ilişkin evrensel olarak kabul edilen bir kural bulunmamaktadır. Gizli katman ve nöron sayısını belirlemek için kullanılan yöntemlerden birisi Eşitlik (6) ile ifade edilmektedir.

$$H_{max} = \sqrt{(NNHL + NNOL + 10)} \quad (6)$$

Elmas (2018) tarafından, Denklem (6), gizli katmandaki nöron sayısını (NNHL), çıkış katmanındaki nöron sayısını (NNOL) tanımlar. Benli ve Tosunoğlu (2014)'e göre, katman sayısına ilişkin teorik bir kısıtlama bulunmamakta, en uygun tahmin mimarisi nöron sayısının ayarlanmasıyla belirlenmektedir. Ampirik çalışmalar, karmaşık problemlerin çözümünde bir giriş katmanı, iki gizli katman ve bir çıkış katmanının önerildiğini göstermektedir (Esenyel, 2016).

Elmas'a (2018: 73-74) göre, giriş ve çıkış katmanları arasındaki ilişki karmaşıkla gizli katmandaki nöron sayısı artırılmalı, süreçler aşamalara bölünebiliyorsa gizli katman sayısı da artırılmalıdır. Ancak bu kurallar, YSA tahminleri için en iyi performansı garanti etmemektedir. Optimal sonuçlar, genellikle hata ölçüm kriterleri kullanılarak deneme yanılma yöntemiyle belirlenmektedir (Tosunoğlu ve Benli, 2012).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_{test}} \sum_{t=1}^{n_{test}} (x_t - \hat{x}_t)^2} \quad (7)$$

Günay, Eğrioğlu ve Aladağ (2007: 131) YSA ile zaman serisi tahmin sürecini altı aşamada tanımlamıştır. Bu aşamalar aşağıda açıklanmıştır.

- *Normalizasyon*: Giriş değişkenine ait gözlem değerleri (0,1) aralığına normalize edilmelidir.
- *Organizasyon*: Veriler, eğitim, doğrulama ve test setlerine ayrılmalıdır. Hangi gözlem değerlerinin hangi gruba dahil edileceğine oranlarla karar verilmelidir.
- *Modelleme*: YSA mimarisi, aktivasyon fonksiyonu, öğrenme algoritması, performans değerlendirme parametreleri ve ölçüm yöntemleri belirlenmelidir.
- *Model geliştirme*: Optimal performans için uygun ağırlık değerleri belirlenmelidir.
- *Performans ölçümü*: Seçilen ölçüm kriterine göre ağırlık performansı hesaplanmalıdır.
- *Çözüm*: En iyi YSA modeli belirlenmelidir.

Çalışmada çok katmanlı bir YSA mimarisi kullanılmıştır. Modelin öğrenme algoritması Rumelhart ve ark., (1986) tarafından önerilmiştir. Modelde, nöronlar ağırlıklı, tek yönlü bağlantılara sahip paralel dağıtılmış işleme ağı aracılığıyla birbirine bağlanmıştır. Aktivasyon fonksiyonu Eşitlik (8) ile hesaplanmaktadır.

$$x_j = \phi\left(\sum_{i=1}^n w_{ji} x_i + \theta_j\right) \quad (8)$$

Eşitlik (8)'de, birim 'nin aktivasyonunu, birimler arasındaki ağırlıkları, birim 'nin bias değerini ve sinir ağındaki nöron sayısını temsil etmektedir. Parantez içindeki terim, bir nörona gelen net girişi ifade etmektedir. Modelin algoritması, öğrenme aşamasında çıkış katmanında hesaplanan hataları gizli katmandaki ağırlıklara dağıtarak optimize etmektedir.

Bu çalışmada, tahmin için üç farklı Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Her model, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşan üç katmanlı bir mimari kullanmıştır. Her modelde, gizli katmandaki nöron sayısı birden başlanarak giriş katmanındaki değişken sayısına kadar artırılmış ve en iyi tahmin doğruluğu sağlayan model belirlenmiştir. Çalışmanın istatistikleri, bu optimize edilmiş modellerin hesaplanan değerlerini yansıtmaktadır.

Birinci modelde, bağımlı değişken USD/TRY endeksidir. Bağımsız değişkenler ise dış borç, kamu yatırımları, altın rezervi, döviz rezervi, reel faiz oranı, ihracat, ithalat, cari işlem dengesi, işsizlik oranı, TÜFE, GSYİH, BIST 100 endeksi, petrol endeksi, altın endeksi ve para arzıdır. YSA tahmini, değişkenlerin orijinal gözlem değerleri ile yapılmıştır.

İkinci modelde, VAR modeli ile elde edilen gecikme uzunlukları dikkate alınmıştır. USD/TRY endeksinin orijinal gözlem değerleri bağımlı değişken olarak alınmıştır. Bağımsız değişkenler ise dış borç (1 gecikme), kamu yatırımları (1 gecikme), altın rezervi (1 gecikme), döviz rezervi (1 gecikme), reel faiz oranı (2 gecikme), ihracat (2 gecikme), ithalat (3 gecikme), cari işlem dengesi (1 gecikme), işsizlik oranı (5 gecikme), TÜFE (4 gecikme), GSYİH (3 gecikme), petrol endeksi (1 gecikme) ve altın endeksi (1 gecikme) olarak belirlenmiştir.

Üçüncü modelde, birinci modelde yer alan on altı değişkenin mevsimsellik, durağanlık ve nedensellik analizleri sonrasında belirlenen veriler kullanılmıştır. Bağımlı değişken yine USD/TRY endeksi, bağımsız değişkenler ise nedensellik analizi sonrası elde edilen çift yönlü ve tek yönlü nedensellik ilişkisi sonucu elde edilen, TÜFE, reel faiz oranı, işsizlik oranı, cari işlem dengesi, GSYİH ve ihracat değişkenleridir.

YSA tahmini için değişkenlerin gözlem değerleri normalizasyon sürecinde (0,1) aralığına getirilmiş, organizasyon sürecinde veriler %70 eğitim ve %30 test seti olarak bölünmüştür. Modelleme aşamasında, çok katmanlı Jordan YSA mimarisi, Rumelhart öğrenme algoritması ve aktivasyon fonksiyonu Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanmıştır (Rumelhart ve ark., 1986). Model iyileştirme sürecinde, tüm modellerin gizli katmanlarındaki nöron sayısı 1'den 15'e kadar artırılmış ve hata katsayısı gözlemlenmiştir. Bu aşamada,

nöronlar arasında optimal ağırlıklar belirlenmiştir. Performans ölçümü sırasında, en iyi tahmin yapan mimari belirlenmiştir. RMSE'ye göre en iyi tahmin yapan modellerin özet bilgileri Tablo 4'te sunulmuştur.

Table 4. En İyi Model Önerisi

Model	Öğrenme Algoritması	Yapay Sinir Ağı (YSA) Mimarisi	Model Mimarisi	Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE)
1. Model	Rumelhart ve ark. (1986)	Geri Yayılım Jordan	15(Girdi), 1 (Gizli)	2,7960
2. Model			13 (Girdi), 11 (Gizli)	0.3184
3. Model			6(Girdi), 1 (Gizli)	0,3062

Tablo 4'e göre en iyi tahmin üçüncü model tarafından gerçekleştirilmiştir. Üçüncü model, çalışmada önerilen MSDP-Nedensellik-YSA Hibrit Yöntemi'ni temsil etmektedir, %99,7 doğruluk oranı ile en başarılı model olarak öne çıkmaktadır. İkinci model, VAR modeli ve YSA'nın birlikte kullanıldığı yaklaşım, %99,6 doğru tahmin gücüne sahiptir. Birinci model geleneksel YSA modeli olarak %97,2 oranında doğru tahmin yapmıştır. Sonuç olarak üçüncü model, diğerlerine göre daha yüksek oranda tahmin gücüne sahip olarak bulgulanmıştır.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmanın amacı döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenleri, doğrusal zaman serisi ve doğrusal olmayan YSA modellerinden yararlanarak önerilen bir model ile tahmin etmektir. Veri seti, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB), elektronik veri dağıtım sisteminden (EVDS), 2009Q1 ile 2020Q3 arasını kapsayan 47 çeyreklik gözlemi içeren 16 değişkenden oluşmaktadır. USD/TRY endeksi makroekonomik göstergelerle doğrudan ve önemli bir ilişkiye sahip olması nedeniyle bağımlı değişken (1 adet), dış borç, kamu yatırımları, altın rezervleri, döviz rezervleri, reel faiz oranları, ihracat, ithalat, cari işlem dengesi, işsizlik oranı, TÜFE, GSYİH, BIST 100 endeksi, petrol endeksi, altın endeksi ve para arzı (15 adet) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir.

Doğrusal zaman serisi analizleri sonucunda GSYİH, ithalat, ihracat ve işsizlik oranlarında değişkenlerinde mevsimsellik tespit edilmiş, dört değişken seviyede durağan (I(0)), on iki değişken birinci farkı alındığında durağan (I(1)) bulunmuştur. Toda-Yamamoto Nedensellik Testi sonuçlarına göre, döviz kuru ile TÜFE, reel faiz oranı ve işsizlik oranı arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Literatürde döviz kuru tahminine yönelik yapılan çalışmalar genellikle geleneksel ekonometrik yöntemler veya tek başına yapay sinir ağı ile sınırlı kalmıştır. Örneğin, Saatçioğlu ve Karaca (2004) dalgalı kur rejimlerinde tahmin zorluklarına dikkat çekmiş, ancak bu çalışmada olduğu gibi hibrit bir modelleme yaklaşımı sunmamışlardır. Benzer şekilde, Ajayi ve Mougoué (1996) döviz kuru-hisse senedi ilişkisini incelemiş, ancak veri ön işleme tekniklerinin tahmin doğruluğuna etkisini bu çalışmadaki kadar yüksek bir başarı oranıyla ortaya koymamışlardır. Bu çalışmanın önerdiği MSDP-Nedensellik-YSA hibrit modeli (%99,7), literatürdeki benzer çalışmaların çoğunda görülen %90-95 bandındaki doğruluk oranlarını aşarak önemli bir metodolojik ilerleme sağlamıştır.

Döviz kuru belirleyicileri konusunda ise çalışmanın bulguları, Terzi ve Kurt (2008) ile Hacıevliyagil vd. (2019) çalışmalarının sonuçlarını destekler niteliktedir. Ancak, Toda-Yamamoto nedensellik testi ile tespit edilen çift yönlü ilişkiler (özellikle döviz kuru-TÜFE-reel faiz-işsizlik arasında), literatürdeki tek yönlü nedensellik iddialarına (Kara ve Ögünç, 2005) kıyasla döviz kuru dinamiklerinin daha karmaşık yapısını ortaya koymaktadır. Ayrıca, Yalçınkaya ve Tunalı (2019)'nın swap faizleri üzerine çalışması faiz-kur ilişkisini incelemiş olsa da, bu çalışmanın reel faiz oranı ve diğer makroekonomik değişkenleri bir arada ele alan hibrit modeli, ilişkilerin daha bütüncül bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır.

Çalışmada, döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenlerin tahmini amacıyla üç model oluşturulmuş, modellerin RMSE ve tahmin güçleri belirlenmiştir.

Birinci modelde, bağımlı değişken USD/TRY endeksidir. Bağımsız değişkenler dış borç, kamu yatırımları, altın rezervi, döviz rezervi, reel faiz oranı, ihracat, ithalat, cari işlem dengesi, işsizlik oranı, TÜFE, GSYİH, BIST 100 endeksi, petrol endeksi, altın endeksi ve para arzıdır. YSA tahmini, değişkenlerin orijinal gözlem değerleri ile yapılmıştır.

İkinci modelde, VAR modeli ile elde edilen gecikme uzunlukları dikkate alınmıştır. USD/TRY endeksinin orijinal gözlem değerleri bağımlı değişken olarak alınmıştır. Bağımsız değişkenler dış borç (1 gecikme), kamu

yatırımları (1 gecikme), altın rezervi (1 gecikme), döviz rezervi (1 gecikme), reel faiz oranı (2 gecikme), ihracat (2 gecikme), ithalat (3 gecikme), cari işlem dengesi (1 gecikme), işsizlik oranı (5 gecikme), TÜFE (4 gecikme), GSYİH (3 gecikme), petrol endeksi (1 gecikme) ve altın endeksi (1 gecikme) olarak belirlenmiştir.

c modelde, birinci modelde yer alan on altı değişkenin mevsimsellik, durağanlık ve nedensellik analizleri sonrasında belirlenen veriler kullanılmıştır. Bağımlı değişken yine USD/TRY endeksi, bağımsız değişkenler nedensellik analizi sonrası elde edilen çift yönlü ve tek yönlü nedensellik ilişkisi sonucu elde edilen, TÜFE, reel faiz oranı, işsizlik oranı, cari işlem dengesi, GSYİH ve ihracat değişkenleridir.

Döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenlerin tahmini amacıyla önerilen c model, MSDP-Nedensellik-YSA hibrit modeli, döviz kurunu belirleyen değişkenleri %99,7 doğruluk oranı ile tahmin ederek en başarılı model olarak öne çıkmıştır (RMSE: 0.3062). İkinci model, VAR-YSA'nın birlikte kullanıldığı hibrit model %99,6 doğruluk oranına sahiptir (RMSE 0.3184). Birinci model geleneksel YSA modeli %97,2 oranında doğru tahmin yapmıştır (RMSE 2.7960). Önerilen c model, döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenleri diğer modellere göre daha yüksek başarı oranı ile tahmin etmiştir.

Literatürde, veri ön işleme yöntemlerinin tahmin doğruluğunu iyileştirdiği yönünde birçok çalışma bulunsa da, bu çalışmanın özellikle c model, MSDP-Nedensellik-YSA hibrit modeli ile elde edilen %99,7 doğruluk oranı, literatürde genellikle daha düşük doğruluk oranlarına sahip araştırmalara kıyasla önemli bir fark yaratmaktadır. Bu bulgu, veri ön işleme aşamasının döviz kuru tahmininde kritik bir faktör olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır.

Türkiye ekonomisi açısından döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenlerin TÜFE, reel faiz oranı, işsizlik oranı, cari işlem dengesi, GSYİH ve ihracat olduğu bulgulanmıştır. Literatürde de benzer bulgulara rastlanmaktadır, ancak bu çalışmalarda ortaya çıkan döviz kuru ile TÜFE, reel faiz oranı ve işsizlik oranı arasındaki çift yönlü nedensellik ilişkisi, döviz kuru dinamiklerinin karmaşıklığını ve bu ilişkilerin makroekonomik değişkenlerle nasıl i içe geçtiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada hem önerilen modelin sağladığı yüksek tahmin gücü hem de döviz kurunu belirleyen en önemli değişkenlerin tespiti ile politika yapıcılara, sektör temsilcilerine ve araştırmacılara yol göstermesi bakımından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada nerilen c modelin diğer makroekonomik değişkenler için de uygulanabilir olması nedeniyle alternatif tahmin modellerinin geliştirilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Gelecek araştırmalarda, veri seti daha uzun zaman dilimlerini kapsayacak şekilde genişletilerek önerilen modelin farklı bağlamlarda uygulanabilirliği incelenebilir. Ayrıca, çeşitli yapay zeka ve makine öğrenimi modelleri ile bu önerilen model performansı karşılaştırılarak bulguların sağlamlığını ve genelleştirilebilirliğini belirlemek mümkün olabilir.

Kaynaklar

- Ajayi, R. A., & Mougou, M. (1996). On the dynamic relation between stock prices and exchange rates. *Journal of Financial Research*, 19(2), 193-207. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6803.1996.tb00593.x>
- Aliber, R. Z. (1973). The interest rate parity theorem: A reinterpretation. *Journal of Political Economy*, 81(6), 1451-1459.
- Asterious, D., Masatci, K., & Pilbeam, K. (2016). Exchange rate volatility and international trade: International evidence from the MINT countries. *Economic Modelling*, 58, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.05.006>
- Ayhan, F. (2019). Türkiye ekonomisinde işsizliğin belirleyicisi olan temel makroekonomik değişkenlerin tespitine ilişkin bir uygulama. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 25, 235-252. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.567458>
- Baek, J., & Kim, H. Y. (2020). Sahra altı Afrika lkelerinde ham petrol fiyatları ile döviz kurları arasındaki ilişki zerine: Doğrusal olmayan bir ARDL yaklaşımı. *Uluslararası Ticaret ve Ekonomik Kalkınma Dergisi*, 29(1), 119-130. <https://doi.org/10.1080/09638199.2019.1638436>
- Bahmani-Oskooee, M., & Hajilee, M. (2013). Exchange rate volatility and its impact on domestic investment. *Research in Economics*, 67(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rie.2012.08.002>

- Barrell, R., Gottschalk, S. D., & Hall, S. G. (2007). Foreign direct investment (FDI) and exchange rate uncertainty in imperfectly competitive industries. In *Exchange rates, prices, and world trade* (ss. 77-99). Physica-Verlag HD. https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1925-0_5
- Benita, G., & Lauterbach, B. (2007). Politika faktörleri ve döviz kuru oynaklığı: Panel veri ve belirli bir ülke analizi. *Uluslararası Finans ve Ekonomi Araştırma Dergisi*, 7(7), 7-23.
- Benli, Y. K., ve Tosunoğlu, N. G. (2014). Avrupa Birliği üyesi ülkelerin Morgan Stanley Capital International endekslerinin değerlendirilmesi ve yapay sinir ağları ile öngörüsü. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(2), 72-87.
- Berke, B. (2014). Döviz kurlarına mikro yapı yaklaşımı: Bir yazın incelemesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(2), 27-56. <https://doi.org/10.17065/huiibf.06200>
- Bilson, J. F. (1978). The monetary approach to the exchange rate: Some empirical evidence. *IMF Staff Papers*, 25(1), 48-75. <https://doi.org/10.2307/3866655>
- Bozdan, D., Özenci, İ., ve Benli, Y. K. (2018). Döviz kuru ile ihracat ve ithalat arasındaki ilişkinin analizi: Ampirik bir çalışma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(25), 638-649. <https://doi.org/10.20875/makusobed.457585>
- Branson, W. H. (1983). A model of exchange-rate determination with policy reaction: Evidence from monthly data (NBER Working Paper No. 1135). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w1135>
- Bulut, E. (2005). *Döviz ekonomisi (Piyasanın mikro yapısı)*. Platin Yayınları.
- Büberkökü, Ö. (2013). The relationship between stock prices and exchange rates: Evidence from developed and developing countries. *The ISE Review*, 13(52), 1-16.
- Byrne, J. P., & Davis, E. P. (2003). Panel estimation of the impact of exchange rate uncertainty on investment in the major industrial countries. Brunel University Research Archive. <http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/947>
- Caballero, R. J. (1991). On the sign of the investment-uncertainty relationship. *American Economic Review*, 81(1), 279-288. <https://www.jstor.org/stable/2006800>
- Cengiz, Ç. (2018). Döviz kurunun belirlenmesine yönelik teorik yaklaşımlar. *Sakarya İktisat Dergisi*, 7(4), 1-17.
- Claassen, E. M. (1998). *Global monetary economics*. Oxford University Press.
- Demirgil, B. (2021). Makroekonomik değişkenler ile işsizlik ilişkisi: Türkiye üzerine ekonometrik bir analiz. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(1), 13-21. <https://doi.org/10.46482/ebyuibfdergi.863713>
- Dinler, Z. (2007). *İktisat*. Ekin Kitabevi.
- Dooley, M. P., & Isard, P. (1980). Capital controls, political risk, and deviations from interest-rate parity. *Journal of Political Economy*, 88(2), 370-384.
- Dornbusch, R. (1976). Expectations and exchange rate dynamics. *Journal of Political Economy*, 84(6), 1161-1176. <https://doi.org/10.1086/260506>
- Dornbusch, R., & Fischer, S. (1980). Exchange rates and the current account. *American Economic Review*, 70(5), 960-971. <https://www.jstor.org/stable/1805775>
- Dritsakis, N. (2011). Demand for money in Hungary: An ARDL approach. *Economics and Finance Review*, 1(5), 1-12.
- Elmas, Ç. (2018). *Yapay zekâ uygulamaları*. Seçkin Yayınları.
- Erdoğan, M., ve Barışık, S. (2020). Net döviz gelirinin ulusal para arzı üzerindeki etkisi: Türkiye örneği. *Journal of International Management, Educational and Economics Perspectives*, 8(1), 1-17.
- Erener, C., ve Aypek, N. (2018). Döviz kuru hareketlerinin Türkiye'nin dış borç stoku üzerindeki etkisinin analizi. *Journal of Banking and Financial Research*, 5(2), 15-30.

- Ergün, T. H. (2021). Testing the gold reserve and exchange rate relations in Turkey with Fourier approach. *Journal of the Human and Social Science Researches*, 10(2), 1728-1742. <http://www.itobiad.com/tr/pub/issue/62559/826859>
- Esenyel, N. M. (2016). *Döviz kurunun tahmin edilmesinde istatistiksel yöntemlerin karşılaştırmalı analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Fabozzi, F. J., Gupta, F., & Markowitz, H. M. (2002). The legacy of modern portfolio theory. *The Journal of Investing*, 11(3), 7-22. <https://doi.org/10.3905/joi.2002.319510>
- Fama, E. F. (1991). Efficient capital markets: II. *The Journal of Finance*, 46(5), 1575-1617. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1991.tb04636.x>
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of neural networks: Architectures, algorithms and applications*. Prentice Hall.
- Flood, R. P., & Rose, A. K. (1995). A survey of empirical research on nominal exchange rates. *CIDER Working Papers*, 95-051.
- Frenkel, J. A. (1976). A monetary approach to the exchange rate: Doctrinal aspects and empirical evidence. *Scandinavian Journal of Economics*, 78(2), 200-224. <https://doi.org/10.2307/3439924>
- Friedman, M. (1956). The quantity theory of money: A restatement. In M. Friedman (Ed.), *Studies in the quantity theory of money* (ss. 3-21). University of Chicago Press.
- Girton, L., & Roper, D. (1978). A monetary model of exchange market pressure applied to the postwar Canadian experience. *American Economic Review*, 67(4), 537-548. <https://www.jstor.org/stable/1813387>
- Granger, C. W. J., Huang, B. N., & Yang, C. W. (2000). A bivariate causality between stock prices and exchange rates: Evidence from recent Asian flu. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 40(3), 337-354.
- Günay, S., Eğrioglu, E., ve Aladağ, H. (2007). *Tek değişkenli zaman serileri analizine giriş*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Güneri, N., ve Apaydın, A. (2004). Öğrenci başarılarının sınıflandırılmasında lojistik regresyon analizi ve sinir ağları yaklaşımı. *Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1, 170-188.
- Hacıevliyagil, N., Şit, A., ve Doğan, B. (2019). Türkiye ile BRICS ülkelerinde enflasyon, faiz oranları ve para arzı ile döviz kuru ilişkisinin karşılaştırması. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-15.
- Hicks, J. R. (1958). The future of the rate of interest. *Transactions of the Manchester Statistical Society*, 1-14.
- Hodge, D. (2005). The effect of exchange rate volatility on trade and employment: A brief review of literature. Human Sciences Research Council. <http://www.hsrb.ac.za/en/research-data/ktree-doc/1308>
- Husted, S., & Melvin, M. (2009). *International economics* (8. baskı). Pearson.
- Kara, H., ve Ögünç, F. (2005). Exchange rate pass-through in Turkey: It is slow, but is it really low? *The Central Bank of The Republic of Turkey Research Department Working Paper*, 5(10), 1-17.
- Karpuz, F., ve Kızıltan, A. (2014). Türkiye’de kısa vadeli yabancı yatırımlar ile reel döviz kuru arasındaki ilişki. *Ekev Akademi Dergisi*, 18(60), 1-20.
- Khan, M. K., Teng, J. Z., & Khan, M. I. (2019). Co-integration between macro-economic factors and the exchange rate USD/CNY. *Financial Innovation*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0133-3>
- Kızılkaya, F. (2021). Relationship between oil prices and real-exchange rate in Turkey: An investigation using asymmetric Fourier causality analysis. *Istanbul Journal of Economics*, 71(2), 549-568. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-1019608>
- Krueger, A. O. (1983). *Exchange rate determination*. Cambridge University Press.
- Laffer, A. B., & Miles, M. A. (1982). *International economics in an integrated world*. Scott, Foresman and Company.
- Lucas, R. E. (1973). Some international evidence on output-inflation tradeoffs. *American Economic Review*, 63(3), 326-334.

- Lyons, R. K. (2001). *The microstructure approach to exchange rates*. The MIT Press.
- Mandelbrot, B. (1966). Forecasts of future prices, unbiased markets, and "Martingale" models. *The Journal of Business*, 39(1), 242-255. <https://www.jstor.org/stable/2351745>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- McPherson, M. F., & Rakovski, T. (2000). Exchange rates and economic growth in Kenya: An econometric analysis (African Economic Policy Discussion Paper No. 18).
- Meese, R. A., & Rogoff, K. (1983). Empirical exchange rate models of the seventies: Do they fit out of sample? *Journal of International Economics*, 14(1-2), 3-24. [https://doi.org/10.1016/0022-1996\(83\)90017-X](https://doi.org/10.1016/0022-1996(83)90017-X)
- Mishkin, S. F. (1996). Understanding financial crises: A developing country perspective (NBER Working Paper No. 5600).
- Mundell, R. A. (1968). *International economics*. The Macmillan Company.
- Muth, J. F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica*, 29(3), 15-335.
- Ollech, D., & Webel, K. (2020). A random forest-based approach to identifying the most informative seasonality test (Deutsche Bundesbank Discussion Paper No. 55/2020).
- Omisore, I., Yusuf, M., & Christopher, N. (2012). The modern portfolio theory as an investment decision tool. *Journal of Accounting and Taxation*, 4(2), 19-28. <https://doi.org/10.5897/JAT11.036>
- Organ, İ., ve Berk, E. (2016). Kısa vadeli sermaye hareketlerinin döviz kuru ilişkisi ve Türkiye için Tobin vergisi tartışması. *EconWorld Working Paper*. <https://doi.org/10.22440/EconWorld.WP.2016.005>
- Otani, I., & Tiwari, S. (1981). Capital controls and interest rate parity: The Japanese experience, 1978-81. *IMF Staff Papers*, 28(4), 793-815. <https://doi.org/10.2307/3866820>
- Özdemir, A., ve Bilgen, A. (2021). Döviz kuru oynaklığının ekonomik büyüme üzerine etkileri: Türkiye örneği. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 543-559.
- Öztemel, E. (2003). *Yapay sinir ağları*. Papatya Yayınları.
- Öztürk, N. (2012). *Dış ticaret, kuram politika uygulama*. Ekin Yayınları.
- Öztürk, N., ve Bayraktar, Y. (2010). Döviz kurlarını açıklamaya yönelik yeni yaklaşımlar. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 11(1), 1-20.
- Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning internal representations by error propagation (Tech. Rep. No. 8506). University of California, San Diego.
- Saatçioğlu, C., ve Karaca, O. (2004). Döviz kuru belirsizliğinin ihracata etkisi: Türkiye örneği. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 5(2), 183-195.
- Sabak, S., ve Başar, D. B. (2020). Enflasyonu etkileyen faktörlerin ülkeler bazında yapay sinir ağları analizi ile incelenmesi. *Working Paper Series*, 1(1), 27-38. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4387930>
- Saidu, M. T., Naseem, N. A. M., Law, S. H., & Yasmin, B. (2021). Exploring the asymmetric effect of oil price on exchange rate: Evidence from the top six African net oil importers. *Energy Reports*, 7, 3478-3488.
- Sargent, T. J., & Wallace, N. (1975). "Rational" expectations, the optimal monetary instrument, and the optimal money supply rule. *Journal of Political Economy*, 83(2), 241-254.
- Serven, L. (2002). Real exchange rate uncertainty and private investment in developing countries (World Bank Policy Research Working Paper No. 2823).
- Seyidoğlu, H. (2017). *Uluslararası iktisat, teori politika ve uygulama* (21. Baskı). Yılmaz Basın Yayın.
- Sharifi-Renani, H. (2007). Demand for money in Iran: An ARDL approach. *MPRA Paper No. 8224*.
- SNNS. (2020). *Stuttgart Neural Network Simulator. User Manual Version 4.2*. <http://www.ra.cs.uni-tuebingen.de/SNNS/welcome.html>

- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Sönmezler, G., Akduğan, U., ve Gündüz, O. (2017). Türkiye’de cari açık sorununun reel döviz kuru ve ihracatın ithalata bağımlılığı açısından değerlendirilmesi. *Maliye Finans Yazıları*, 108(1), 105-122.
- Sünbül, E. (2020). The volume of foreign trade and relations of currency ARDL bound testing analysis (Turkey example). *Economics Business and Organization Research*, 1(1), 466-477. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ebor/issue/58610/850941>
- Sünbül, E. (2022). VAR analysis on the relationship between consumer price index, real interest, and exchange rate: The case of Turkey. *International Journal of Empirical Economics*, 1(2), 2250008. <https://doi.org/10.1142/S2810943022500081>
- Terzi, H., ve Kurt, S. (2008). Türkiye’de dolarizasyon sürecinde döviz kuru ve enflasyon ilişkisi. *Ekonomik Yaklaşım Dergisi*, 18(64), 1-22.
- Tobin, J. (1955). A dynamic aggregative model. *Journal of Political Economy*, 63(2), 103-115.
- Tobin, J. (1958). Liquidity preference as behavior toward risk. *The Review of Economic Studies*, 25(2), 65-86. <https://doi.org/10.2307/2296205>
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250.
- Tosunoğlu, N., ve Benli, Y. K. (2012). Morgan Stanley Capital International Türkiye endeksinin yapay sınır ağları ile öngörüsü. *Ege Akademik Bakış*, 12(4), 541-547.
- Tunalı, Ç. B. (2009). İktisatta beklentiler ve beklentilerin modellenmesi. *İktisat Fakültesi Mecmuası*, 59(1), 135-168.
- Yalçınkaya, Y., ve Tunalı, H. (2019). 2017-2018 döviz kuru türbülansı ve Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası’nın yeni para politikası araçları. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 17-36. <https://doi.org/10.30784/epfad.511381>
- Yurdakul, F., Er, H., ve Cevher, E. (2016). Döviz kuru modellemesi ve Türkiye üzerine bir uygulama. Gazi Kitabevi, Ankara.