



Türkiye'nin Seçilmiş Makro Finans Değişkenleri Üzerine Nedensellik Analizi: Yapay Sinir Ağları ve Doğrusal Nedensellik Yöntemleri

Orhan ÖZAYDIN*

ÖZ

Türkiye'nin makro finans değişkenleri üzerine yapılan araştırmalarda, doğrusal ve doğrusal olmayan Granger nedensellik analizlerinin sıkça kullanıldığı gözlemlenmektedir. Finansal verilerin genellikle doğrusal olmayan yapıya sahip olması sebebiyle, çeşitli doğrusal olmayan nedensellik testleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Son yıllarda ise yapay sinir ağları algoritmalarının bu testlerde kullanılmaya başlandığı ve finansal serilerde doğrusal olmayan nedensellik ilişkilerini ortaya çıkarmada etkili olduğu ve yapay sinir ağlarının finansal analizlerde etkili bir araç olabileceği vurgulanmıştır. Bu çalışmada Türkiye'nin seçilmiş makro finans değişkenleri olan Bist100, 5 yıllık kredi temerrüt takasları, 2 yıllık Tahvil ve USDTRY arasındaki nedensellik ilişkileri, günlük, haftalık ve aylık frekanslarda, doğrusal ve yapay sinir ağı Granger nedensellik modelleri kullanılarak incelenmiştir. Yapay sinir ağı modellerinin genel olarak daha kapsamlı ve anlamlı sonuçlar ürettiği bulgulara tespit edilmiştir. Yapay sinir ağlarının finansal piyasalardaki karmaşık nedensellik ilişkilerin anlaşılmasında etkili bir araç olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Granger, Nedensellik, Borsa, Kredi Temerrüt Takasları

JEL Sınıflandırması: G00, G12, G17

Causality Analysis on Selected Macro Financial Variables of Türkiye: Artificial Neural Networks and Linear Causality Methods

ABSTRACT

Research on Türkiye's macro-financial variables has frequently used linear and nonlinear Granger causality analyses. Since financial data generally have a non-linear structure, various non-linear causality tests have been developed and applied. In recent years, it has been emphasized that artificial neural network algorithms have started to be used in these tests and that they are effective in revealing non-linear causality relationships in financial series and that artificial neural networks can be an effective tool in financial analyses. In this study, the causality relationships between Türkiye's selected macro-financial variables BIST100, 5-year credit default swaps, 2-year bonds and USDTRY are analyzed using linear and artificial neural network Granger causality models at daily, weekly and monthly frequencies. The findings indicate that artificial neural network models generally produce more comprehensive and significant results. It is seen that artificial neural networks are an effective tool in understanding the complex causality relationships in financial markets.

Keywords: Artificial Neural Networks, Granger, Causality, Stock Market, Credit Default Swaps

JEL Classification: G00, G12, G17

Geliş Tarihi / Received: 13.03.2024 Kabul Tarihi / Accepted: 22.03.2024

Bu eser Creative Commons Atıf-Gayriticari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



* Dr. Öğr. Üyesi, Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, orhanozaydin@gmail.com, ORCID:0000-0003-2585-1437

1. GİRİŞ

Günümüzde, ekonomik karar alma süreçlerinde veri analizi ve tahmin modellerinin kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Özellikle makroekonomik finansal değişkenlerin arasındaki nedensellik ilişkilerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, ekonomik politika oluşturucuları ve yatırımcılar için kritik bir öneme sahiptir. Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomilerde, piyasalardaki değişkenlik sıklıkla karmaşıktır ve bu değişkenliğin etkilerini anlamak ve öngörmek daha zor olmaktadır. Türkiye'nin makroekonomik değişkenleri üzerine yapılan nedensellik araştırmalarında, doğrusal Granger (1969) ve -bazıları Granger'dan üretilen-doğrusal olmayan nedensellik analizleri literatürde görülmektedir. Finans verilerinin genel olarak doğrusal bir yapıya sahip olmaması nedeniyle, Granger nedensellik testlerinin yanı sıra Hacker-Hatemi-J (2006) Toda Yamamoto (1995), Diks-Panchenko (2006), Kraskov vd. (2004), Nishiyama vd. (2011) gibi doğrusal olmayan nedensellik testlerinin de geliştirildiği ve finans veri setlerine uygulandığı literatürde belirtilmektedir (Yıldırım ve Adalı, 2017; Bektur ve Malcıoğlu, 2017; Gök, 2021). Ayrıca, son yıllarda yapay sinir ağları algoritmalarının nedensellik testlerinde kullanılmaya başlandığı, özellikle çok katmanlı algılayıcılar ve makine öğrenimi temelli modellerin finansal serilerde doğrusal olmayan nedensellik ilişkilerini ortaya çıkarma konusunda etkili olduğu ifade edilmektedir (Eğrioğlu vd., 2023). Bu bağlamda, literatürde Türkiye'nin çeşitli makroekonomik göstergeleri üzerine yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan nedensellik analizlerinin yanı sıra, yapay sinir ağlarının kullanıldığı nadir çalışmaların da mevcut olduğu görülmüştür.

Makro finans, varlık fiyatlarının değişimlerinin analizini ele almaktadır (Cochrane, 2017). Türkiye'nin makro finans değişkenleri arasından seçilmiş Bist100, CDS_5y (5 yıllık kredi temerrüt takası), Tahvil_2y (2 yıllık tahvil) ve USDTRY (ABD Doları/Türk Lirası döviz kuru) arasındaki nedensellik ilişkileri incelenmek üzere bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA) ve doğrusal Granger nedensellik yöntemleri incelenerek, karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın diğer önemli katkısı, veriler günlük, haftalık ve aylık olmak üzere 3 farklı zaman aralığında çalışılmıştır. Çalışma bulgularında, YSA modellerinin genellikle daha kapsamlı ve daha anlamlı sonuçlar sağladığı görülmüş, finansal piyasalarda BIST100 endeksi, kredi temerrüt takası, tahvil ve döviz kuru arasındaki karmaşık ilişkilerin anlaşılmasına yönelik olarak YSA'nın etkili bir analiz aracı olduğunu anlaşılmıştır. Ayrıca, doğrusal ve YSA modelleri arasındaki uygulamadaki farkların, finansal piyasalardaki nedensellik ilişkilerinin daha derinlemesine anlaşılmasına katkıda bulunabileceği vurgulanmıştır.

Çalışmada ilk olarak, literatürde yer alan nedensellik analizi ve yapay sinir ağları konuları kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve önceki araştırmaların bulguları özetlenmiştir. Metodoloji bölümünde, araştırmada kullanılacak veri seti ve analiz yöntemleri açıklanmıştır. Bulgular bölümünde, yapılan analizlerin sonuçları sunulmuş ve YSA ile doğrusal Granger nedensellik yöntemleri arasındaki farklar vurgulanmıştır. Son olarak, sonuçlar bölümünde, elde edilen bulguların önemi ve çalışmanın genel katkıları tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR

Türkiye'nin makroekonomik değişkenleri üzerine doğrusal ve doğrusal olmayan Granger nedensellik analiz yöntemleri ile yapılan araştırmalar literatürde sıkça görülmektedir. Finans verileri genel olarak doğrusal bir yapıya sahip değildir. Literatürde doğrusal Granger (1969) nedensellik testi yanında doğrusal olmayan Hacker-Hatemi-J (2006) Toda Yamamoto (1995), Diks-Panchenko (2006), Kraskov vd. (2004), Nishiyama vd. (2011) nedensellik testleri geliştirilmiş ve finans veri setlerine uygulanmıştır. Granger nedensellik testi, durağan iki zaman serisi arasındaki istatistiksel olarak nedensellik ilişkisini bir değişkenin diğerini tahmin edip etmediğini tespit etmek üzerine çalışan bir modeldir. Eğer bir değişken, diğerinin geçmiş

değerlerini tahmin edebiliyorsa, Granger nedensellik ilişkisi varlığından bahsedilebilir. Doğrusal Granger (1969) testi için serilerin durağan hale getirilmesi gerekirken, bu zorunluluğu ortadan kaldıran Toda-Yamamoto (1995) testi serilerin kendi seviyesi (I(0)) durumunda nedenselliğin varlığını tespit edilebilmektedir. Hacker-Hatemi-J (2006) yöntemi, temelinde bir doğrusal regresyon modeli olmasına rağmen doğrusal olmayan özelliklere de izin verebilmektedir. Özellikle Toda-Yamamoto (1995) modelinde az gözlem sayılarında asimptotik dağılımları incelerken zayıf sonuçlara karşı model önerisinde bulunmuştur. Gözlem sayısının çok olduğu durumlarda Diks-Panchenko (2006) ve Kraskov vd. (2004) modelleri genellikle literatürde kullanıldığı görülmüştür. Nishiyama vd. (2011) özellikle finansal serilerde kullanılmak üzere doğrusal olmayan nedensellikler için parametrik olmayan bir nedensellik testi önermiştir.

Bu modellerin yanında son yıllarda kodlamanın araştırmacılar arasında yayılmasıyla yapay sinir ağları algoritmaları nedensellik testlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Nogueira (2022), makine öğrenimi sayesinde yapay sinir ağları modelleri gibi gelişmiş algoritmaların optimizasyon sonuçları, nedensellik ilişkilerini öğrenmek ve test etmek için faydalı olabileceğini ifade etmektedir. Tank vd. (2018) değişkenler arasında doğrusal olmayan Granger nedensellik tespiti için seyrek bir sinir ağı modeli oluşturmuştur. Etkileşimleri tespit etmek için çok katmanlı algılayıcılar kullanan bir yöntemin doğrusal olmayan Granger nedensel bağlantıları tutarlı bir şekilde seçebildiğini göstermektedir. Hmamouche (2020), klasik nedensellik testinin uygulanması üzerine ileri beslemeli yapay sinir ağlarına dayalı doğrusal olmayan bir versiyonunu R'da uygulamıştır.

Türkiye'nin çeşitli makro ekonomik göstergeleri üzerine doğrusal ve doğrusal olmayan nedensellik analizleri literatürde görülmektedir (Tablo 1). Fakat yapay sinir ağlarının kullanıldığı nadir çalışmalar mevcuttur. Eğrioğlu vd. (2023), 2013 ile 2021 yılları arasındaki Türkiye'nin makroekonomik göstergeleri üzerinde tek çarpanlı sinir modeli yapay sinir ağı temelli yeni bir doğrusal olmayan nedensellik testi gerçekleştirmişlerdir. Granger doğrusal nedensellik testleri ile karşılaştırıldığında, çok katmanlı algılayıcıya dayalı olan doğrusal olmayan nedensellik testi daha küçük p değerleri üreterek daha ayrıntılı sonuçlara ulaşılmıştır. Yıldırım ve Adalı (2017), Ocak 2005 ile Ağustos 2017 tarihleri arasındaki aylık Bist100 endeksi ve USDTRY döviz kuru arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan nedensellik testlerini incelemişlerdir. Yapılan doğrusal Granger ile Toda Yamamoto ve Diks-Panchenko doğrusal olmayan nedensellik testleri sonucunun hepsinde BIST100, USDTRY'nin nedeni olduğu görülmüştür. Bektur ve Malcıoğlu (2017), 12.10.2000 ile 17.02.2017 tarihleri arasındaki günlük BIST100 endeksi ve CDS arasındaki ilişkiyi asimmetrik Hacker-Hatemi-J (2006) nedensellik testi ile analiz etmişler ve CDS'nin BIST100'ün nedeni olduğu sonucuna varılmışlardır. Gök (2021), BIST100 endeksi, CDS ve tahvil arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan Granger nedensellik ilişkilerini, Hacker and Hatemi-J (2012) simetrik nedensellik testi ve Nishiyama et al. (2011) doğrusal olmayan Granger Nedensellik testi ile incelemiştir. Her iki test sonucunda tahvilin BIST100'ün nedeni olduğu sonucuna varılırken, ek olarak Nishiyama testinde CDS, Bist100'ün nedenidir sonucu çıkmıştır.

Literatürde, Bist100, USDTRY, Tahvil, CDS verileri üzerine doğrusal Granger nedensellik testini uygulayan araştırmalar çokça mevcuttur. Güney ve Iğın (2019), 2007-2018 yılları arasındaki aylık veriler üzerinde yaptığı doğrusal Granger analizinde, USDTRY'nin, faizin ve Bist100'ün nedeni olduğu sonuçlarına ulaşılmışlardır. Şentürk ve Dücan (2014), Türkiye'de döviz kuru, faiz oranı ve borsa getirisi arasındaki doğrusal nedensellik ilişkilerini Ocak 1997 ile Mayıs 2013 tarihleri arasındaki aylık ortalama veriler üzerinde incelemişlerdir. Yapılan analizde, USDTRY'nin ve faizin Bist100'ün nedeni olduğu bulmuşlardır. Gülhan (2020), altın fiyatları ile VIX endeksi, Bist100 endeksi, döviz kuru ve petrol fiyatları arasındaki ekonometrik ilişkiyi doğrusal Granger testi ile analiz etmiştir. Aralık 2015 ile Ocak 2020 tarihleri arasındaki haftalık veriler üzerinde yapılan çalışmada, USDTRY'nin Bist100'ün Granger nedeni olduğu sonucuna varmıştır. Münyas (2020), kredi temerrüt takasları ve euro ve usd döviz kuru ilişkisinin 2005-2019 yılları arasındaki günlük veriler üzerinde doğrusal Granger yöntemi ile analiz etmiştir. Sonuç

olarak, USDTRY'nin CDS'nin nedeni olduğu ve CDS'nin de USDTRY'nin nedeni olduğu bulunmuştur. Gök ve Kara (2021), 2005-2020 yılları arasında Türkiye'de CDS, faiz ve döviz kuru arasındaki nedensellik analizini Granger Coherence Test ile incelemişlerdir. Bu test ile özellikle zaman ve frekans bileşenlerinin karmaşık etkileşimlerini anlamak isteyen araştırmacılara daha fazla bilgi sunabilmek amaçlanmıştır. Covid-19 periyodunu içeren zaman aralığında, sadece faiz oranı ve döviz kuru arasında geçerli tek yönlü nedensellik bulgusuna rastlanmıştır. Değirmenci ve Pabuççu (2016), Borsa İstanbul ve risk primi arasındaki etkileşimi VAR ve NARX modelleri kullanarak incelemişlerdir. Fakat nedensellik ilişkisi testi için doğrusal Granger modeli kullanmışlardır. 2010–2015 yılları arasındaki günlük veriler üzerinde yapılan analizde, Bist100 ile CDS karşılıklı birbirlerinin nedeni olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 1: Türkiye'nin Seçilmiş Makro Ekonomik Göstergeleri Üzerine Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Nedensellik Analizlerini Kapsayan Literatür Özeti

Yazar	Konu ve Başlık	Değişkenler	Model	Nedensellik Bulgusu
Yıldırım ve Adalı, 2017	Türkiye'de hisse fiyatı ve gerçek döviz kuru etkileşimlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan nedensellik testleri	Bist100, USDTRY, aylık, Ocak 2005 - Ağustos 2017	Doğrusal Granger Toda Yamamoto Diks ve Panchenko doğrusal olmayan Granger	BIST100 -> USDTRY BIST100 -> USDTRY BIST100 -> USDTRY
Eğrioğlu ve diğerleri, 2023	Türkiye'nin makroekonomik göstergeleri için tek çarpanlı sinir modeli yapay sinir ağı temelli yeni doğrusal olmayan nedensellik testi	2013 ile 2021 yılları arası Türkiye'nin GSYH vb. makroekonomik değişkenler	Granger doğrusal nedensellik (1969), doğrusal olmayan Granger nedensellik (Kraskov vd. 2004), tek çarpanlı sinir modeli Yapay Sinir Ağı (YSA), MLP temelinde Granger nedensellik testi	Test sonuçları, çok katmanlı algılayıcıya dayalı olan doğrusal olmayan nedensellik testi ile doğrusal nedensellik testleri benzer bulgular göstermekte, ancak önerilen doğrusal olmayan yöntem, daha küçük p değerleri üretmiştir.
Gök ve Kara, 2021	CDS, faiz ve döviz kuru arasında nedensellik testi: Granger uyum analizi ile yeni bulgular	CDS, Faiz, USDTRY, haftalık ve aylık ortamlar, 2005-2020	Granger Coherence Test	COVID-19 periyodunu içeren zaman aralığında, sadece faiz oranı ve döviz kuru arasında geçerli tek yönlü nedensellik bulgusuna rastlanmıştır.
Bektur ve Malcıoğlu, 2017	Kredi temerrüt takasları ile Bist 100 endeksi arasındaki ilişki: Asimetrik nedensellik analizi	12.10.2000-17.02.2017 tarihleri arasındaki günlük, Bist100, CDS	Lineer Hacker-Hatemi-J (2006)	CDS -> BIST100
Gök, 2021	Hisse senedi endeksleri ve finansal değişkenler arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan Granger nedensellik ilişkisi	Bist100, CDS, 2010-09-20 ve 2019-08-02 arası günlük	Lineer Hacker and Hatemi-J (2012) Simetrik Nedensellik Testi Non lineer Nishiyama vd. (2011) Doğrusal olmayan Granger Nedensellik	Tahvil -> Bist100 Tahvil->Bist100 CDS -> Bist100

Güney ve İlgin, 2019	Yatırım araçlarının Bist-100 endeksi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi	Bist100, USDTRY, Mevduat Faizi, aylık, 2007-2018	Doğrusal Granger	USDTRY->BIST100 FAİZ->BIST100 BIST100 -> FAİZ
Şentürk ve Dücan, 2014	Türkiye'de döviz kuru-faiz oranı ve borsa getirisi ilişkisi: ampirik bir analiz	Bist100, USDTRY, Faiz, aylık ortalama, 1997:01-2013:05	Doğrusal Granger	USDTRY->BIST100 FAİZ-> USDTRY
Gülhan, 2020	Altın fiyatları ile VIX endeksi, Bist 100 endeksi, döviz kuru ve petrol fiyatları ilişkisi	Bist100, USDTRY haftalık, 13.12.2015 ile 12.01.2020	Doğrusal Granger	USDTRY -> BIST100
Münyas, 2020	Kredi temerrüt takasları ve euro ve usd döviz kuru ilişkisinin değerlendirilmesi: Türkiye örneği	CDS, USDTRY, günlük, 2005-2019	Doğrusal Granger	USDTRY->CDS CDS -> USDTRY
Değirmenci ve Pabuçcu, 2016	Borsa İstanbul ve risk primi arasındaki etkileşim: VAR ve NARX modeli	Bist100, CDS, günlük, 2010-2015	Doğrusal Granger	BIST100->CDS CDS -> BIST100

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1. Veri

Çalışma için Borsa İstanbul 100 Endeksi (Bist100), ABD dolar kuru (USDTRY), 2 yıllık Türkiye tahvil borçlanma senedi faizleri (Tahvil_2y) ve Türkiye 5 yıllık kredi temerrüt takasları (CDS_5y) veri setleri kullanılmış, bu veriler 31 Aralık 2019 ile 28 Şubat 2023 tarihleri arasında günlük gün sonu olarak investing.com sitesinden alınmıştır. Seviye verileri, günlük gün sonu, haftalık ortalama ve aylık ortalama olmak üzere üç ayrı veri grubunda ele alınmıştır. Seviyedeki veriler üzerine getiri dönüşümleri yapılmıştır (Denklem 1). Getiri dönüşümü, bir yüzde fark dönüşümü olması sebebiyle birim kök testlerinde verilerin durağan sonuçlar vermesinde yararlı olmuştur. Seriler arasında doğrusal ve doğrusal olmayan YSA modellerde Granger nedensellikler araştırılmıştır.

$$\text{Getiri (i)} = \text{Veri(i)} / \text{Veri(i-1)} - 1 \quad (1)$$

Veri(i): [Bist100, USDTRY, Tahvil_2y, CDS_5y]

3.2. Metot

Yüzde farkı alınmış günlük, haftalık ve aylık verilere öncelikle birim kök testleri uygulanmış ve durağanlıkları test edilmiştir. Durağan serilere hem doğrusal Granger nedensellik testi hem de R Nlnts paketinde Granger nedensellik testinden uyarlanmış doğrusal olmayan nedensellik modeli R istatistik kodlama programında uygulanmıştır. Günlük, haftalık ve aylık olarak bulunan bulgular sonucunda değişkenler arasındaki nedensellikler ağ bağlantı şemasıyla görselleştirilmiştir. Test istatistik sonuçlarından elde edilen bulguların istatistiksel olarak güvenilir olduğu p değerleri gözlemlenerek analiz edilmiştir. Daha düşük p değerleri, istatistiksel analizin gücünü ve sonuçların güvenilirliğini arttırmaktadır. Dolayısıyla, doğrusal ve YSA ile yapılan nedensellik testlerin p değerleri karşılaştırılarak düşük p değerli modeller araştırılmıştır. Doğrusal ve YSA modelleri sonucunda nedensellik ilişkisi çıkan değişkenlerin niceliği karşılaştırılmıştır.

i) Doğrusal Granger

Granger nedensellik testi (Granger, 1980), iki seri arasındaki istatistiksel nedenselliği test eden matematiksel bir sistem oluşumdur. Bir X değişkeninin başka bir Y değişkenine neden olup olmadığını test etmek için, Y, hem kendi geçmişi ile hem de bu geçmişi artı X değişkeninin geçmişi kullanarak tahmin edilir. Bu iki durum arasındaki farkı değerlendirerek eklenen değişkenin hedef değişkenin tahminleri daha iyi istatistiksel sonuçlar vermesi durumunda X, Y'nin nedenidir denir.

Biçimsel olarak, iki VAR (p) (Vektör Oto Regresif) modeli ele alınmaktadır. İlk hedef değişkenin Y'nin önceki değerlerini, ikincisi ise Y'yi tahmin etmek için hem X'in hem de Y'nin geçmiş değerlerini kullanır:

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i Y_{t-i} + U_t \quad (2)$$

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^p \beta_i X_{t-i} + U_t \quad (3)$$

Burada p gecikme parametresidir, $[\alpha_0, \dots, \alpha_p]$ ve $[\beta_0, \dots, \beta_p]$ modellerin parametreleridir ve U beyaz gürültü hata terimidir.

Nedenselliğin niceliğini ölçmek için Denklem 2 ve Denklem 3'ün hatalarının varyanslarını Granger nedensellik endeksi (GCI) kullanılabilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$GCI = \log \left(\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \right) \quad (4)$$

Burada σ_1^2 ve σ_2^2 sırasıyla Denklem 2 ve Denklem 3'ün hatalarının varyanslarıdır. Bu varyanslar arasındaki farkın istatistiksel anlamlılığını değerlendirmek için, istatistiğin aşağıdaki gibi olduğu Fisher testi kullanılabilir:

$$F = \frac{(RSS_1 - RSS_2)/p}{RSS_2/(n-2p-1)} \quad (5)$$

RSS_1 ve RSS_2 sırasıyla Denklem 2 ve Denklem 3'e ilişkin artık kareler toplamıdır ve n gecikmeli değişkenlerin boyutudur. İki hipotez göz önünde bulundurulmalıdır:

$$H_0: \forall i \in \{1, \dots, p\}, \beta_i = 0,$$

$$H_1: \exists i \in \{1, \dots, p\}, \beta_i \neq 0$$

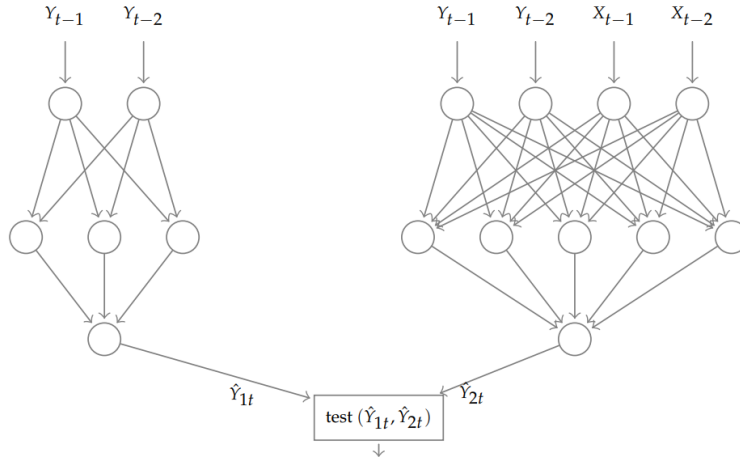
H_0 , X'in Y'ye neden olmadığı hipotezidir. H_0 altında F, serbestlik derecesi (p, n - 2p - 1) olan Fisher dağılımını takip eder.

ii) Yapay Sinir Ağı ile Doğrusal Olmayan Granger Nedensellik Testi

Özü itibarıyla yapısında doğrusallık olmayan yapay sinir ağlarını (YSA) modellerinin zaman içinde değişen, doğrusal olmayan zaman serileri için nedensellikleri incelenirken kullanılması, oluşturulan modelin isabetli olması adına faydalı olmaktadır (Hmamouche, 2020; Tank, 2018). YSA modelinde, VARNN modelini kullanarak Granger nedensellik testinin genişletilmiş bir versiyonunun uygulanması önerilmiştir. Bir hedef değişken Y ve k tahmin edici değişken $\{Y_1, \dots, Y_k\}$ içeren çok değişkenli bir zaman serisinden oluşan bir veri kümesinde VARNN (p) modeli, Y'nin gelecekteki değerlerini tahmin etmek için tahmin edici değişkenlerin ve hedef değişkenin (Y) önceki p değerini dikkate alan çok katmanlı bir algılayıcı (MLP: multi-layer perceptron) sinir ağı modelidir. Bu model, verileri gecikme parametresine göre bir denetimli öğrenme formunda yeniden düzenlemektedir. Ağın ağırlıklarını güncellemek için kullanılan optimizasyon algoritması Stokastik Gradyan İnişi (SGD) algoritmasına dayanmaktadır. SGD kullanılırken öğrenme oranını güncellemek için Adam algoritması da kullanılabilir.

(Kingma ve Ba, 2015). Ψ_{nn} ağ fonksiyonu ve U_t hata terimlerinin temsil edildiği VARNN (p)'nin global fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Y_t = \Psi_{nn}(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}, \dots, Y_{k(t-1)}, \dots, Y_{k(t-p)}) + U_t \quad (6)$$



Her iki modelin tahminleri arasındaki farkı değerlendirilir

Şekil 1: Granger nedensellik testi için YSA modelinin görseli (Hmamouche, 2020)

Granger nedenselliğine benzer şekilde, X'ten Y'ye nedenselliği test etmek için iki tahmin modeli göz önünde bulundurulur, ilki hedef zaman serisinin geçmiş değerlerini dikkate alır ve ikincisi hedef ve tahmin edici zaman serilerinin geçmiş değerlerini alır.

$$Y_t = \Psi_{1nn}(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}) + U_t \quad (7)$$

$$Y_t = \Psi_{2nn}(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}, \dots, X_{t-1}, \dots, X_{t-p}) + U_t \quad (8)$$

Burada Ψ_{1nn} ve Ψ_{2nn} , VARNN modeli kullanılarak sırasıyla Denklem 7 ve Denklem 8'nin ağ fonksiyonlarıdır. Bu iki model arasındaki farkı, hatalarının artık kareler toplamını karşılaştırarak değerlendirme yapılır. H_0 boş hipotezi (X'in Y'ye neden olmadığı hipotez) incelemek için Fisher testi kullanılır.

Şekil 1, nedensellik modelinin kullanılan yapısının bir örneğini göstermektedir. Klasik testten farkı, iki VAR modeli (tek değişkenli ve iki değişkenli) kullanmak yerine, iki VARNN modeli kullanılmasıdır. VARNN modellerinde VAR modelinden daha fazla parametre olması sebebiyle, Fisher testinin istatistiğinin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu durumda, test istatistiği aşağıdaki gibidir:

$$F = \frac{(RSS_1 - RSS_2)/(d_2 - d_1)}{RSS_2/(n - d_2)} \quad (9)$$

Burada d_1 ve d_2 tek değişkenli ve iki değişkenli modelin parametre sayısıdır ve seçilen yapıya (katman ve nöron sayısı) bağlıdır.

4. BULGULAR

Bist100, 2 yıllık tahvil, USDTRY ve 5 yıllık kredi temerrüt takaslarının getiri serilerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2’de görülmektedir. Bu değişkenler için her biri üç farklı frekansta günlük kapanış, haftalık ortalama ve aylık ortalama olmak üzere istatistiki analizleri yapılmıştır. Finansal serilerde sıklıkla görünen basıklık değerlerinin yüksek çıkması bu seriler için de geçerli olduğu görülmektedir.

Tablo 2: Serilerin Tanımlayıcı İstatistikleri

Seriler		N	Min.	Ort.	Med.	Mak.	Std.	Var.	Çarp.	Bas.
Günlük Kapanış	CDS_5y	820	-0,1222	0,0015	0,0001	0,5129	0,0354	0,0013	4,1	58,1
Günlük Kapanış	Tahvil_2y	820	-0,2093	0,0002	0,0000	0,1683	0,0235	0,0006	0,1	21,0
Günlük Kapanış	Bist100	820	-0,0979	0,0020	0,0026	0,0988	0,0179	0,0003	-0,9	9,2
Günlük Kapanış	USDTRY	820	-0,5194	0,1010	0,0007	1,2047	0,4918	0,2418	0,9	2,7
Haftalık Ortalama	CDS_5y	164	-0,2136	0,0066	0,0001	0,3603	0,0678	0,0046	1,5	9,1
Haftalık Ortalama	Tahvil_2y	164	-0,2473	0,0009	0,0004	0,2022	0,0502	0,0025	-0,5	9,7
Haftalık Ortalama	Bist100	164	-0,1285	0,0099	0,0124	0,0875	0,0376	0,0014	-0,9	5,0
Haftalık Ortalama	USDTRY	164	-0,2192	0,0067	0,0046	0,1411	0,0328	0,0011	-2,0	22,1
Aylık Ortalama	CDS_5y	38	-0,2071	0,0292	0,0071	0,6798	0,1631	0,0266	1,7	7,9
Aylık Ortalama	Tahvil_2y	38	-0,2251	0,0038	0,0087	0,2683	0,1085	0,0118	-0,1	3,3
Aylık Ortalama	Bist100	38	-0,1919	0,0418	0,0353	0,2189	0,0849	0,0072	-0,1	3,3
Aylık Ortalama	USDTRY	38	-0,1119	0,0288	0,0278	0,2151	0,0633	0,0040	0,9	4,9

Granger nedensellik testlerinin uygulanabilmesi için öncelikle serilerin durağanlıkları incelenmelidir. Seviyedeki veriler modele dahil edilmeden önce birinci dereceden getiri farkları alınarak durağan olması sağlanmıştır. Tüm serilere Genelleştirilmiş Dickey-Fuler ve Philips-Perron birim kök testleri uygulanmıştır. İstatistik sonuçlarına göre tüm serilerde birim kök bulunmamaktadır, serilerin durağan olduğu görülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3: Genelleştirilmiş Dickey-Fuler ve Philips-Perron Birim Kök Testleri Sonuç Tablosu

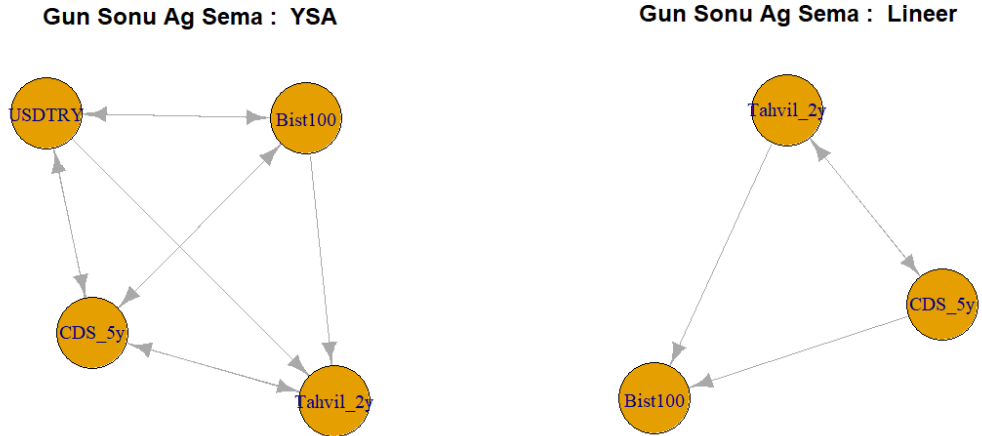
Seriler	ADF ve PP Testi t istatistiği tablosu								
		ADF trendsiz	ADF kesisim	ADF trendli	PP trendli				
Günlük Kapanış	CDS_5y	-19,1521	***	-19,1871	***	-19,2029	***	-26,0654	***
Günlük Kapanış	Tahvil_2y	-18,0744	***	-18,0648	***	-18,1485	***	-28,7147	***
Günlük Kapanış	Bist100	-17,7878	***	-18,0784	***	-18,225	***	-28,5967	***
Günlük Kapanış	USDTRY	-28,8374	***	-33,8333	***	-33,8126	***	-74,9641	***
Haftalık Ortalama	CDS_5y	-7,51382	***	-7,58873	***	-7,64749	***	-10,1227	***
Haftalık Ortalama	Tahvil_2y	-7,50023	***	-7,4851	***	-7,68011	***	-9,55276	***
Haftalık Ortalama	Bist100	-7,81672	***	-8,38094	***	-8,76462	***	-9,86904	***
Haftalık Ortalama	USDTRY	-7,35244	***	-7,77095	***	-7,73671	***	-11,3278	***
Aylık Ortalama	CDS_5y	-4,24991	***	-4,34643	***	-4,47976	***	-4,43144	***
Aylık Ortalama	Tahvil_2y	-3,86229	***	-3,81387	***	-4,15529	***	-4,97219	***
Aylık Ortalama	Bist100	-3,12139	***	-3,80067	***	-4,27012	***	-3,88162	**
Aylık Ortalama	USDTRY	-3,09713	***	-3,86364	***	-3,76563	**	-4,81777	***

Tüm değişkenler için günlük gün sonu, haftalık ortalama ve aylık ortalama serileri arasındaki nedensellik ilişkisini incelemek üzere doğrusal Granger ve doğrusal olmayan YSA Granger testleri uygulanmıştır. YSA testlerinde ağırlıkların güncellemek için Adam optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Granger için oluşturulan VARNN modellerindeki her iki ağ için en fazla 2 katmanlı modeller incelenmiştir. İncelenen bu modeller bağlamında, günlük kapanış serilerinden oluşturulan Bist100, CDS_5y, Tahvil_2y ve USDTRY arasındaki nedensellik ilişkileri Tablo 4'te değerlendirilmiştir. Günlük serilerin sonuçlarına genel itibarıyla bakıldığında hem doğrusal hem de YSA nedensellik modellerindeki olasılık anlamlılık değerleri %1 seviyesinde çıkmıştır. Modeller arasında anlamlılık açısından önemli bir fark görülmemektedir. Sebep-sonuç değişkenleri arasında elde edilen istatistiksel anlamlı sonuçların sayısına bakıldığında, YSA modelleriyle yapılan testlerde doğrusal (lineer) modele göre daha fazla anlamlı ilişkiler görülmüştür. Tahvilin Bist100'ün nedeni olduğu ilişki, doğrusal modellerde görünmesine rağmen YSA modellerinde bu tür bir ilişki sonucu çıkmamıştır. Değişkenlerin nedensellik yönleri ağ şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Doğrusal modellerde 4 nedensellik ilişkisi bulunmuşken, YSA modeli bulgularında 10 nedensellik ilişkisi görülmektedir.

Tablo 4: Günlük Serilerde YSA ve Doğrusal Granger Nedensellik Test Sonuçları

Sebepe Değiş.	Etki Değiş.	Test	GCI	F Testi İstatistik	
Bist100	CDS_5y	YSA	0,0309	8,4661	***
Bist100	Tahvil_2y	YSA	0,0302	8,2819	***
Bist100	USDTRY	YSA	0,0000	2,5229	***
Tahvil_2y	CDS_5y	YSA	0,1394	121,9004	***
CDS_5y	Bist100	YSA	0,0182	4,9569	***
CDS_5y	USDTRY	YSA	0,0737	20,6151	***
CDS_5y	Tahvil_2y	YSA	0,0328	13,5548	***
USDTRY	Tahvil_2y	YSA	0,0065	2,6668	*
USDTRY	Bist100	YSA	0,0211	17,3716	***
USDTRY	CDS_5y	YSA	0,0327	8,9707	***
Tahvil_2y	Bist100	Doğrusal	0,0059	4,8023	**
Tahvil_2y	CDS_5y	Doğrusal	0,0178	14,7065	***
CDS_5y	Tahvil_2y	Doğrusal	0,0083	6,8042	***
CDS_5y	Bist100	Doğrusal	0,0108	8,8667	***

* %10 anlamlılık, ** %5 anlamlılık, *** %1 anlamlılık seviyesini göstermektedir.



Şekil 2: Günlük Serilerde Değişkenlerin Nedensellik İlişkilerini Gösterir Ağ Şemaları
(Yazar tarafından üretilmiştir)

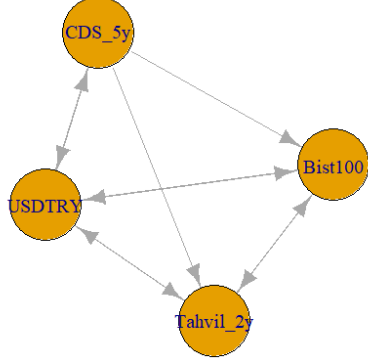
Haftalık ortalama serilerinden oluşturulan değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal ve YSA Granger nedensellik modelleri kullanılarak Tablo 5'te değerlendirilmiştir. Doğrusal modellerde bulunan nedensellik ilişkileri YSA modellerinde de görülmektedir. Doğrusal modellerinin test sonuçlarına göre olasılık anlamlılık değeri %5 ve %10 çıkmışken YSA nedensellik modelleri test sonuçlarında genel itibarıyla olasılık anlamlılık değerleri %1 seviyesinde çıkmıştır. Olasılık değerleri açısından YSA modellerinin daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Sebep-sonuç değişkenleri arasında elde edilen istatistiksel anlamlı sonuçların sayısına bakıldığında, YSA modelleriyle yapılan testlerde doğrusal modele göre daha fazla anlamlı nedensellik ilişkileri görülmüştür. Değişkenlerin nedensellik yönleri ağ şeması Şekil 3'te gösterilmiştir. Doğrusal modellerde 2 nedensellik ilişkisi bulunmuşken YSA modelinde 10 nedensellik ilişkisi görülmektedir.

Tablo 5: Haftalık Serilerde YSA ve Doğrusal Granger Nedensellik Test Sonuçları

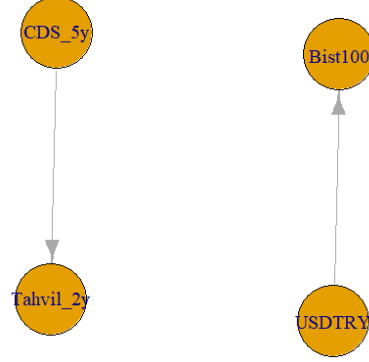
Sebep Değiş.	Etki Değiş.	Test	GCI	F Testi İstatistik	
Bist100	Tahvil_2y	YSA	0,0000	0,1319	***
Bist100	USDTRY	YSA	0,0000	0,6613	***
Tahvil_2y	Bist100	YSA	0,0000	0,7164	***
Tahvil_2y	USDTRY	YSA	0,0000	4,0060	***
CDS_5y	Bist100	YSA	0,1026	6,5222	***
CDS_5y	Tahvil_2y	YSA	0,1376	8,8980	***
CDS_5y	USDTRY	YSA	0,1680	11,0387	***
USDTRY	Bist100	YSA	0,0000	2,3360	***
USDTRY	Tahvil_2y	YSA	0,0000	0,3202	***
USDTRY	CDS_5y	YSA	0,0000	0,6919	***
CDS_5y	Tahvil_2y	Doğrusal	0,0306	2,8871	*
USDTRY	Bist100	Doğrusal	0,0511	3,1960	**

* %10 anlamlılık, ** %5 anlamlılık, *** %1 anlamlılık seviyesini göstermektedir.

Hafta Ortalama Ağ Sema : YSA



Hafta Ortalama Ağ Sema : Lineer

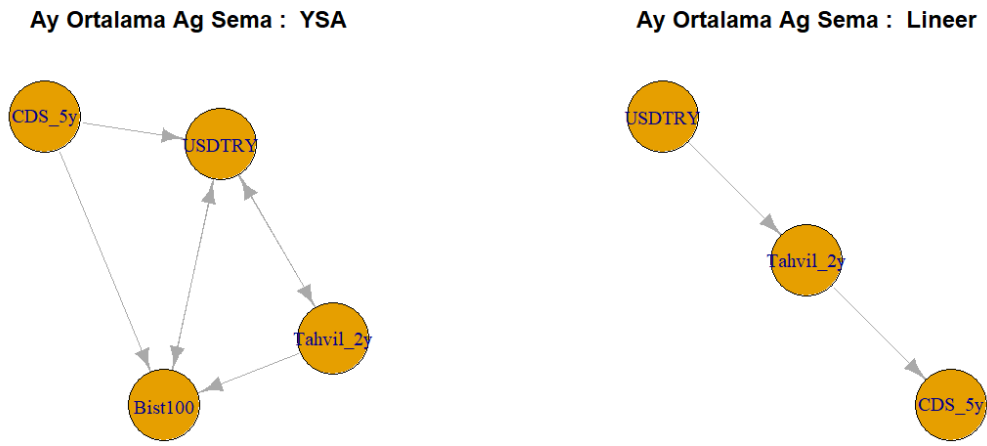


Şekil 3: Haftalık Serilerde Değişkenlerin Nedensellik İlişkilerini Gösterir Ağ Şemaları
(Yazar tarafından üretilmiştir)

Aylık ortalama serilerinden oluşturulan değişkenler arasındaki ilişkiler doğrusal ve YSA Granger nedensellik modelleri kullanılarak Tablo 6'da değerlendirilmiştir. Doğrusal modellerinin test sonuçlarına göre USDTRY'nin Tahvilin Granger nedeni olduğunu gösterir olasılık anlamlılık değeri %5 çıkmışken YSA nedensellik modelleri test sonuçlarında olasılık anlamlılık değerleri %1 seviyesinde daha düşük çıkmıştır. Olasılık değerleri açısından YSA modelleri daha iyi sonuçlar vermiştir. Sebep-sonuç değişkenleri arasında elde edilen istatistiksel anlamlı sonuçların sayısına bakıldığında, YSA modelleriyle yapılan testlerde doğrusal modele göre daha fazla anlamlı bulgular görülmüştür. Değişkenlerin nedensellik yönleri ağ şeması Şekil 4'te gösterilmiştir. Doğrusal modellerde 2 nedensellik ilişkisi bulunmuşken YSA modelinde 7 nedensellik ilişkisi görülmektedir. Doğrusal modellerde görülen nedensellik ilişkileri arasında Tahvilin CDS'in nedeni olduğu ilişki YSA modellerinde çıkmamıştır.

Tablo 6: Aylık Serilerde YSA ve Doğrusal Granger Nedensellik Test Sonuçları

Sebebe Değiş.	Etki Değiş.	Test	GCI	F Testi İstatistik	
Bist100	USDTRY	YSA	0,0000	0,0037	***
Tahvil_2y	Bist100	YSA	0,0000	0,4655	***
Tahvil_2y	USDTRY	YSA	0,0000	0,9291	***
CDS_5y	Bist100	YSA	0,0000	0,5954	***
CDS_5y	USDTRY	YSA	0,0000	0,0103	***
USDTRY	Bist100	YSA	0,0000	0,1327	***
USDTRY	Tahvil_2y	YSA	0,0000	0,2413	***
Tahvil_2y	CDS_5y	Doğrusal	0,2330	4,7225	**
USDTRY	Tahvil_2y	Doğrusal	0,1867	3,6957	**



Şekil 4: Aylık Serilerde Değişkenlerin Nedensellik İlişkilerini Gösterir Ağ Şemaları

(Yazar tarafından üretilmiştir)

Bulgular, her üç zaman aralığı için değerlendirilmiş ve hem doğrusal hem de YSA modelleri arasında benzer olasılık anlamlılık değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, YSA modellerinin genelinde olasılık istatistik değerinin daha düşük olduğu, bu modellerin daha fazla anlamlı sonuçlar ürettiği belirlenmiştir. Günlük seriler için, doğrusal modellerde 4 nedensellik ilişkisi bulunurken, YSA modellerinde bu sayı 10'a çıkmıştır. Haftalık seriler için doğrusal modellerde 2 nedensellik ilişkisi bulunurken, YSA modelinde bu sayı 10'a yükselmiştir. Aylık seriler için doğrusal modellerde 2 nedensellik ilişkisi bulunurken, YSA modelinde bu sayı 7'ye çıkmıştır. Özellikle YSA modellerinde, değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin daha kapsamlı olduğu ve anlamlı sonuçların daha fazla elde edildiği gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ

Günümüzde, ekonomik karar alma süreçlerinde veri analizi ve tahmin modellerinin kullanımı önemli hale gelmiştir. Özellikle gelişmekte olan ekonomilerde, piyasalardaki karmaşıklık nedeniyle makroekonomik değişkenler arasındaki nedensellik ilişkilerinin doğru belirlenmesi zorlu bir süreçtir. Literatürde, Türkiye'nin makroekonomik değişkenleri üzerine yapılan nedensellik araştırmalarında hem doğrusal Granger hem de doğrusal olmayan nedensellik analizleri bulunmaktadır. Son yıllarda ise yapay sinir ağları algoritmalarının, finansal serilerde doğrusal olmayan nedensellik ilişkilerini ortaya çıkarma konusunda etkili olduğu ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin seçilmiş makro finans göstergelerinden Borsa İstanbul 100 endeksi, 5 yıllık kredi temerrüt takası, 2 yıllık tahvil getirileri ve ABD Doları/Türk Lirası döviz kuru arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla doğrusal ve Yapay Sinir Ağı (YSA) Granger nedensellik modelleri kullanılmıştır. Günlük, haftalık ve aylık olarak farklı frekanslarla oluşturulan serilerde, YSA modelleri doğrusal modellere göre daha kapsamlı nedensellik ilişkilerini ortaya çıkarmıştır. Özellikle, günlük serilerde doğrusal modellerde 4 nedensellik ilişkisi bulunurken, YSA modellerinde bu sayı 10'a çıkmıştır. Haftalık serilerde doğrusal modellerde 2 nedensellik ilişkisi bulunurken, YSA modelinde bu sayı 10'a yükselmiştir. Aylık serilerde de doğrusal modellerde 2 nedensellik ilişkisi bulunurken, YSA modelinde bu sayı 7'ye çıkmıştır. Bu durum, YSA modellerinin finansal piyasalarda karmaşık ilişkilerin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına katkı sağladığını göstermektedir.

Sonuç olarak, finansal piyasalardaki nedensellik ilişkilerini anlamak için Yapay Sinir Ağı Granger nedensellik modellerinin etkili bir analiz aracı olduğu ve doğrusal ve YSA modelleri arasındaki farkların bu ilişkilerin daha derinlemesine anlaşılmasına katkı sağlayabileceği görülmektedir. Çalışmanın bulguları, finansal analistlere ve karar alıcılara, Türkiye'nin finans piyasa dinamiklerini daha iyi anlamaları için YSA modellerini kullanma önerisi sunmaktadır. Bunun yanında durağan olmayan makro ekonomik verilerin ve hisse senedi fiyatlarının tahmin edilmesi ile risk yönetimi modellerinin geliştirilmesi gibi alanlarda yapay sinir ağları yöntemi araştırmalarda kullanılabilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

Yazarların Makaleye Katkı Oranları

Çalışmanın tamamı yazar tarafından oluşturulmuştur

Çıkar Beyanı

Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Bektur, Ç., ve Malcıoğlu, G. (2017). Kredi Temerrüt Takasları ile Bist 100 Endeksi Arasındaki İlişki: Asimetrik Nedensellik Analizi. *AlBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 73-83.
- Cochrane, J.H., (2017). Macro-Finance. *Review of Finance*, 21(3), 945–985, doi:<https://doi.org/10.1093/rof/rfx010>
- Değirmenci, N., ve Pabuççu, H. (2016). Borsa İstanbul ve Risk Primi Arasındaki Etkileşim: VAR ve NARX Modeli. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(35), 248-261.
- Diks, C., Panchenko, V. (2006). A new statistic and practical guidelines for nonparametric Granger causality testing. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 30(9-10), 1647-1669.
- Eğrioğlu, E., Bas, E., Cansu, T., ve Kara, M. A. (2023). A New Nonlinear Causality Test Based On A Single Multiplicative Neuron Model Artificial Neural Network: A Case Study For Türkiye's Macroeconomic Indicators. *Granular Computing*, 8(1), 391–396.
- Gök, R., ve Kara, E. (2021). Testing For Causality Among CDS, Interest, And Exchange Rates: New Evidence From The Granger Coherence Analysis. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 16(2), 427 – 445. doi: 10.17153/oguibf.854172
- Gök, R. (2021). Linear And Nonlinear Granger Causality Relationship Between Stock Indices And Financial Variables. *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, 655, 9-38.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438. Doi: <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Güney, S., ve Ilgın, K. S. (2019). Yatırım Araçlarının Bist-100 Endeksi Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 53, 226-245.
- Gülhan, Ü. (2020). Altın Fiyatları ile VIX Endeksi, Bist 100 Endeksi, Döviz Kuru Ve Petrol Fiyatları İlişkisi: Ekonometrik Bir Analiz. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 11(2), 576-591
- Hacker, R. S., Hatemi-J, A. (2006). Tests for causality between integrated variables using asymptotic and bootstrap distributions: Theory and application. *Applied Economics Letters*, 38(13), 1489-1500.
- Hmamouche, Y., (2020). NlinTS: An R Package For Causality Detection in Time Series. *The R Journal*, 12(1).
- Kingma, D. ve Ba, J. (2015) Adam: A Method for Stochastic Optimization. *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR 2015)*.
- Münyas, T. (2020). Evaluation of The Relationship Between Credit Default Swaps and EURO and USD Exchange Rates: The Case of Türkiye. *Business and Management Studies: An International Journal*, 8(2), 1113-1130. doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v8i2.1439>
- Nishiyama, Y., Hitomi, K., Kawasaki, Y., ve Jeong, K., (2011). A consistent nonparametric test for nonlinear causality—Specification in time series regression. *Journal of Econometrics*, Elsevier, vol. 165(1), pages 112-127.
- Nogueira, A.R., Pugnana, A., Ruggieri, S., Pedreschi, D. ve Gama, J., (2022). Methods and tools for causal discovery and causal inference. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 12(2). doi: 10.1002/widm.1449
- Şentürk, M., ve Dücan, E. (2014). Türkiye'de Döviz Kuru-Faiz Oranı ve Borsa Getirisi İlişkisi: Ampirik Bir Analiz. *Business and Economics Research Journal*, 5(3), 67-80.
- Tank, A., Covert I.C., Foti N.J., Shojaie, A. ve Fox, E.B., (2018). An Interpretable and Sparse Neural Network Model for Nonlinear Granger Causality Discovery. arXiv:1711.08160 2 [stat.ML] (online), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1711.08160>.
- Toda, H. Y., Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225-250. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
- Yıldırım, G., ve Adalı, Z. (2018). Linear and Non-Linear Causality Tests of Stock Price and Real Exchange Rate Interactions in Türkiye. *Fiscaeconomia*, 2(1), 99-118. <https://doi.org/10.25295/fsecon.370719>

Extended Summary

Causality Analysis on Selected Macro Financial Variables of Türkiye: Artificial Neural Networks and Linear Causality Methods

The motivation behind this study is the increasing use of data analysis and forecasting models in economic decision-making processes. Moreover, it is foreseen that artificial neural networks can be an effective analysis tool in causality analyses on Türkiye's macroeconomic variables. The hypothesis of the study is that artificial neural networks and linear Granger causality methods will be effective for analysing the relationships between Türkiye's macro financial variables. By comparing these methods, it is hypothesised that causality relationships in financial markets will be better understood.

In emerging economies such as Türkiye, market volatility is often complex and the effects of this volatility are more difficult to understand and predict. In causality studies on Türkiye's macroeconomic variables, linear Granger (1969) and nonlinear causality analyses - some of which are derived from Granger - are found in the literature. Since financial data generally do not have a linear structure, in addition to Granger causality tests, non-linear causality tests such as Hacker-Hatemi-J (2006) Toda Yamamoto (1995), Diks-Panchenko (2006), Kraskov et al. (2004), Nishiyama et al. (2011) have been developed and applied to financial data sets (Yıldırım & Adalı, 2017; Bektur & Malcıoğlu, 2017; Gök, 2021). In addition, it is stated that artificial neural network algorithms have started to be used in causality tests in recent years, and especially multilayer perceptrons and machine learning-based models are effective in revealing non-linear causality relationships in financial series (Eğrioğlu et al., 2023). In this context, in addition to linear and non-linear causality analyses on various macroeconomic indicators of Türkiye in the literature, there are rare studies using artificial neural networks.

Studies have emphasised that artificial neural networks are rarely used. Eğrioğlu et al. (2023) conducted a new non-linear causality test on Türkiye's macroeconomic indicators and it is stated that this test provides more detailed results. In other studies, causality relationships between variables such as BIST100 index, USDTRY exchange rate and CDS have been analysed and different results have been obtained. For example, Yıldırım and Adalı (2017) state that USDTRY is the cause of BIST100, while Bektur and Malcıoğlu (2017) conclude that CDS is the cause of BIST100. Gök (2021), on the other hand, argued that bonds are the cause of BIST100. These studies show that different methods are used to understand Türkiye's economic dynamics and the results of these methods vary.

In this study, Borsa Istanbul 100 Index (BIST100), US dollar exchange rate (USDTRY), 2-year Turkish bond yields (Bond_2y) and 5-year Turkish credit default swaps (CDS_5y) data sets are used. These data were obtained from investing.com on a daily end-of-day basis between 31 December 2019 and 28 February 2023. Level data are analysed in three separate data groups: daily end-of-day, weekly average and monthly average. The data were analysed by making return transformations. Granger causality is investigated in linear and nonlinear artificial neural network (ANN) models.

Firstly, unit root tests were applied to the data and their stationarity was tested. Both linear Granger causality test and non-linear causality models were applied to stationary series. The findings are presented with a network linkage diagram to visualise the causality between variables. The results obtained are statistically analysed and their reliability is evaluated. As a result of the comparisons between linear and ANN models, the quantification of the causality relationship was evaluated.

The Granger causality test is a mathematical system that tests for causality between two series. This test is used to determine whether one variable is causal to another variable. As a result of the test, the causality between the variables is measured.

ANN models have been used to examine causality for time-varying non-linear time series. The VARNN model is a multilayer perceptron neural network model and predicts future values by considering the previous values of the predictor variables and the target variable in the dataset. This model rearranges the data according to the lag parameter and uses optimisation algorithms to update the weights of the network.

In this study, linear and Artificial Neural Network (ANN) Granger causality models are used to examine the relationships between selected macro-financial indicators of Türkiye such as Borsa Istanbul 100 index, 5-year credit default swap, 2-year bond yields and US Dollar/Turkish Lira exchange rate. In daily, weekly and monthly series with different frequencies, ANN models revealed more comprehensive causal relationships than linear models. In particular, while 4 causal relationships were found in linear models in daily series, this number increased to 10 in ANN models. While 2 causal relationships were found in linear models in weekly series, this number increased to 10 in ANN models. In the monthly series, while 2 causal relationships were found in the linear models, this number increased to 7 in the ANN model. This shows that ANN models contribute to a more detailed understanding of complex relationships in financial markets.

In conclusion, it is seen that Artificial Neural Network Granger causality models are an effective analysis tool for understanding the causal relationships in financial markets and the differences between linear and ANN models can contribute to a deeper understanding of these relationships. The findings of the study suggest that financial analysts and decision makers should use ANN models to better understand Türkiye's financial market dynamics.