

## Yeşil Tahvil ve Pay Piyasası Arasındaki İlişkinin Zaman Serisi Analizleri ile Araştırılması\*

Tuğba NUR\*\*

İlhan EGE\*\*\*

### ÖZET

Çalışmada 2010-2020 döneminde S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak endekslere ilişkin volatilitelere tahminlemesi gerçekleştirilmiş olup, endekslerde farklı tarihlerde volatilitelere kümelendiği gözlemlenmiş ve endeksler arasında volatilitelere yayılımının olmadığı tespit edilmiştir. Ardından endeksler arasındaki eşbütünleşme ve nedensellik ilişkisi araştırılmış olup, endeksler arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi ve S&P500 Endeksi'nden S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne doğru tek yönlü Granger nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir. Etki-tepki analiz sonuçlarına göre ise S&P500'de meydana gelen bir şokun S&P Yeşil Tahvil endeksinde negatif yönlü kalıcı bir etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil Tahvil, Pay Piyasası, Volatiliteler, Eşbütünleşme Analizi, Etki-Tepki Analizi

**JEL Sınıflandırması:** Q50, C32

### Investigation of the Relationship Between Green Bonds and Equity Market with Time Series Analysis

#### ABSTRACT

In the study, it is aimed to investigate the short and long-term relationship between the S&P500 and S&P Green Bond Indexes in the period of 2010-2020. In this context, first of all, volatility estimation of the indexes is carried out, and it is observed that there is volatility clustering in the indexes at different dates and it is determined that there is no volatility spillover between the indexes. Then, the cointegration and causality relationship between the indexes is investigated and it is determined that there was a long-term cointegration relationship between the indexes and a one-way Granger causality relationship from the S&P500 Index to the S&P Green Bond Index. According to the results of the impact-response analysis, it is concluded that a shock in the S&P500 has a negative permanent effect on the S&P Green Bond Index.

**Keywords:** Green Bond, Equity Market, Volatility, Cointegration Analysis, Impulse-response Analysis

**Jel Classification:** Q50, C32

\* Makale Gönderim Tarihi: 28.11.2021, Makale Kabul Tarihi: 14.03.2022, Makale Türü: Nicel Araştırma

\*\* Dr. Öğr. Üyesi, Şırnak Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, nurtugba.91@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0974-4896.

\*\*\* Prof. Dr., Mersin Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, ilhanege@mersin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5765-1926.

## 1. GİRİŞ

Yeşil tahviller, fiyatlandırma ve derecelendirme açısından geleneksel şirket ve devlet tahvillerine benzeyen ancak gelirinin yenilenebilir kaynaklar, su ve enerji verimliliği, biyoenerji ve düşük karbonlu taşımacılık gibi çevre dostu projeleri finanse etmek için kullanılan nispeten yeni sabit getirili varlık sınıfı olan tahvilleri ifade etmektedir. Finansal kaynakları çevre dostu projelere yönlendirdikleri ve sürdürülebilirlik odaklı finans topluluğu için yerleşik finansal araçlar haline geldikleri için yeşil tahvillere olan yatırımcı ilgisi giderek artmaktadır (Banga, 2019: 18; Reboredo, 2018: 38). Yeşil tahviller, uzun vadeli finansman açısından istikrarlı ve sürdürülebilir yatırımlar olarak kabul edilmektedir. Uzun vadeli ve büyük projeleri finanse etmek için yatırımcılara avantaj sağlamaktadır. Yeşil tahvillerin ihraç yöntemleri geleneksel devlet tahvillerine benzediği için portföylere dahil edilmesi nispeten kolaydır (Park, vd. 2020: 2).

2015 Paris Anlaşması kapsamındaki taahhütleri yerine getirmek için devletlerin uygun fiyatlı ve güvenilir kaynaklara erişmek istemeleri ve yatırımcıların iş modellerini sadece finansal değerler değil sosyal ve çevresel değerler yaratacak şekilde uyarlamaya gitmeleri yeşil tahvillere olan önemi hem politika yapımcılar hem de yatırımcılar açısından artırmaktadır. Avrupa Yatırım Bankası, 2007'de 1 milyar ABD doları değerinde bir iklim farkındalığı tahvili ihraç eden ilk çok taraflı kalkınma kurumu olmuştur. Bir yıl sonra, Dünya Bankası, iklim değişikliğini azaltma ve uyum projelerini finanse etmek için ikinci bir yeşil tahvil çıkarmıştır. Yeşil tahvil piyasası, 2007'deki ilk ortaya çıkışından bu yana, %50'nin üzerinde bileşik yıllık büyüme oranında genişlemiş ve tüm dünyadaki çevre projeleri için finansman sağlamıştır. Yatırımcılar iklim değişikliğinin yeni bir yatırım getirisi olduğunu fark etmiş ve yeşil tahvillere olan ilgiyi artırmışlardır (Banga, 2019: 18; Pham, 2016: 264). Bu kapsamda çalışmada 2010-2020 döneminde S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri için aşağıdaki araştırma sorularının yanıtlanması amaçlanmaktadır.

- S&P500 Endeksi'ne kıyasla S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nin volatilitesi nasıl bir davranış sergiliyor?
- S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında herhangi bir yayılım etkisi var mı?
- S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında eşbütünleşme ilişkisi var mı?
- S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında nedensellik ilişkisi var mı?
- S&P 500 Endeksi'nde meydana gelecek bir standart sapmalık şoka karşı S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nin vereceği tepki ne kadardır?
- S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nde meydana gelecek bir standart sapmalık şoka karşı S&P 500 Endeksi'nin vereceği tepki ne kadardır?

Menkul kıymet borsaları, yeşil tahvil için gerekli şartları yerine getiren tahviller için liste ve piyasaları oluşturabilmektedirler. Bu kapsamda S&P Yeşil Tahvil Endeksi, 2014 yılında hesaplanmaya başlanmış olup, yaklaşık 150 yeşil tahvilin işlem gördüğü bir endekstir. Yeşil tahviller ve geleneksel tahviller benzer özelliklere sahip olmaları nedeniyle piyasa katılımcıları da benzerlik göstermektedir (Kandır ve Yakar, 2017: 164). Yeşil tahvil piyasasının hızla gelişen bir piyasa olması, gelirinin uzun vadeli çevre dostu projelere yönlendirilmesi nedeniyle yatırımcı ilgisi artan yeşil tahvillerin risk ve getiri özelliklerinin

belirlenmesi, katılımcılarının geleneksel piyasa ile benzerlik göstermesi doğrultusunda geleneksel piyasa ile olan kısa ve uzun dönemli ilişkisinin tespit edilmesi önem arz etmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Nispeten yeni bir varlık olan yeşil tahvillere ilişkin çalışmalar son zamanlarda artmıştır. İlk yapılan çalışmalarda çoğunlukla teorik bilgilere yer verilmiş olup, volatilité yapısı ve sınırlı sayıda diğér piyasalarla olan ilişkisi incelenmiştir. Bu kapsamda Pham (2016), tarafından yapılan çalışma literatürde yeşil tahvil piyasasında volatilité ve yayılımı inceleyen ilk çalışmadır. Çalışmada 2010-2015 yılları arasında S&P Yeşil Tahvil Endeksleri'nin günlük kapanış fiyatları kullanılarak GARCH modeli ile endekslerin volatilité yapısının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda etiketli yeşil tahvil piyasasında volatilité kümelenmelerinin daha yoğun olduğu, etiketlenmemiş yeşil tahvil piyasasında ise volatilité kümelenmelerinin daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yeşil tahvil piyasasında volatilité yapısını inceleyen bir diğér çalışma Park vd., (2020) tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında S&P500 ile S&PGBI Yeşil Tahvil Endeksleri'nin 2010-2020 döneminde volatilité yapısı ve aralarındaki yayılımı GARCH modeli ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda yeşil tahvil piyasasının pozitif geri dönüş şoklarına duyarlı olduğu ve her iki endeks arasında düşükte olsa bir yayılım etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Literatürde yeşil tahvil piyasasının teorik altyapısı ve volatilité yapısı dışında diğér piyasalarla olan ilişkisini inceleyen çalışmalara kronolojik sıralamaya göre aşağıda yer verilmektedir.

Robaredo (2018), tarafından yapılan çalışmada 2014-2017 döneminde MSCI (Morgan Stanley Capital International) Yeşil Tahvil, S&P Dow Jones Yeşil Tahvil, Solactive Yeşil Tahvil ve Bank of America Merrill Lynch Yeşil Tahvil Endeksleri ile finansal piyasalar arasındaki ilişki incelenmiştir. Analiz sonucunda yeşil tahvil piyasalarının sabit getirili piyasalarda meydana gelen şoklardan, finansal piyasalarda meydana gelen şoklara göre daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir.

Broadstock ve Cheng (2019), çalışmalarında 2008-2018 döneminde yeşil ve siyah tahvil (geleneksel tahvil) piyasaları arasındaki korelasyon ilişkisinin belirleyicilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda finansal piyasalardaki volatilité, ekonomik politika belirsizliği, günlük ekonomik aktivite, petrol fiyatları ve yeşil tahvillere ilişkin olumlu ve olumsuz haberlerin yeşil ve siyah tahvil piyasaları arasındaki ilişkiyi etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Baulkaran (2019), çalışmasında yeşil tahvil ihracı duyurusuna pay senedi piyasasının tepkisini olay çalışması yöntemiyle araştırmıştır. Analiz sonucunda kümülatif anormal getiriler anlamlı ve pozitif bulunmuştur. Yeşil tahvil ihracını, hissedarların değér artışı (yeşil tahvil ihraç duyurusu durumunda yatırımcılar bu durumu olumlu bir haber olarak değérlendirmekte ve menkul kıymete ilişkin fiyatın yükselmesiyle değér artış kazancı elde edilebilmesi) olarak gördüğü, yeşil tahvil ihracından elde edilen fonların karlı yeşil projeler için veya bir risk azaltma aracı olarak kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Reboredo ve Ugolini (2020), çalışmalarında 2014-2019 döneminde VAR modeli kullanılarak yeşil tahvil piyasası ve finansal piyasalar arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Analiz kapsamında MSCI (Morgan Stanley Capital International) Yeşil Tahvil, S&P Dow Jones Yeşil Tahvil, Solactive Yeşil Tahvil ve Bank of America Merrill Lynch Yeşil Tahvil Endeksleri incelenmiştir. Analiz sonucunda yeşil tahvil piyasalarının döviz piyasalarıyla yakından ilişkili olduğu, pay senedi ve enerji piyasalarıyla zayıf bir şekilde ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Pham ve Nguyen (2021), çalışmalarında pay senedi, petrol ve ekonomik politika belirsizliğinin yeşil tahvil piyasasını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. 2014-2020 dönemi için dört ana yeşil tahvil piyasası ile VIX (Volatility Index), OVX (Oil Volatility Index) ve EPU (Economic Policy Uncertainty Index) endekslerine ilişkin yapılan araştırma sonucunda belirsizliğin düşük olduğu dönemlerde yeşil tahvil piyasası ile VIX, OVX ve EPU endeksleri arasındaki ilişkinin düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Lee vd., (2021), çalışmalarında ABD’de petrol fiyatı, jeopolitik riskler ve yeşil tahvil endeksi arasındaki nedensellik ilişkisini 2013-2019 dönemi için Granger nedensellik analizi ile araştırmışlardır. Analiz sonucunda jeopolitik riskten petrol fiyatına tek yönlü, petrol fiyatı ile yeşil tahvil endeksi arasında ise çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Gao vd., (2021), çalışmalarında 2016-2020 döneminde Çin yeşil tahvil piyasası ile finansal piyasalar arasındaki volatilité yayılımını DCC-GJRGARCH (Dinamik Koşullu Korelasyon-GJRGARCH) modeli ile araştırmışlardır. Analiz sonucunda yeşil tahvil piyasası ile geleneksel tahvil piyasası arasında çift yönlü volatilité yayılımı, yeşil tahvil piyasası ile finansal ve emtia piyasaları arasında tek yönlü volatilité yayılımı tespit edilmiştir.

Pham ve Nguyen (2021), çalışmalarında yeşil tahvillerin farklı bir varlık sınıfını temsil edip etmediğini tespit edebilmek için yeşil tahvil piyasası ile pay ve enerji piyasaları arasındaki zaman-frekans ilişkisini 2014-2019 döneminde incelemişlerdir. Araştırma sonucunda yeşil tahvil piyasası ile pay ve enerji piyasaları arasındaki ilişkinin kısa zaman dilimlerinde gerçekleştiği ve şokların bir haftadan az süren bir etkiyle piyasalar arasında yayılım gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yeşil tahvil ile ilgili Türkiye’de yapılan çalışmalar incelendiğinde Kandır ve Yakar (2017), çalışmalarında yeşil tahvil piyasasından, gelişiminden ve Türkiye’de yeşil tahvillerden daha fazla yararlanılabilmesi için öneriler sunmuşlardır. Özkan (2019), çalışmasında Türkiye’de ilk yeşil tahvilin 2016 yılında ihraç edilmesine rağmen piyasanın gelişiminin istenilen düzeyde olmadığını ve geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunmuştur. Benzer şekilde Sarıgül ve Topcu (2020) ve Menteşe (2021) çalışmalarında Türkiye’de gerçekleşen yeşil tahvil ihracı ve yeşil tahvil piyasasının geliştirilmesi için tartışma ve önerilerde bulunmuşlardır. Menteşe (2021) çalışmasında yeşil tahvil ihracına olan teşviklerin artması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yeşil tahvil ve pay piyasaları arasındaki ilişkiyi araştıran çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Reboredo (2018) ve Gao vd., (2021) çalışmalarında yeşil tahvil ile pay piyasaları arasındaki ilişki tespit ederken, Reboredo ve Ugolini (2020), Pham ve Nguyen (2021), yeşil tahvil ve pay piyasaları arasında zayıf yönlü bir ilişki tespit etmişlerdir. Yeşil tahvil ve pay piyasaları arasındaki ilişkiyi araştıran çalışma sayısının sınırlı olması nedeniyle

çalışmada S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasındaki ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın dönemi ve yönteminin diğer çalışmalardan farklı olması nedeniyle çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı ve özgünlük sunacağı düşünülmektedir.

### 3. METODOLOJİ

Çalışmada Eylül 2010- Eylül 2020 döneminde S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma dönemi, verilerin ulaşılabildiği Eylül 2010- Eylül 2020 tarihleri olarak belirlenmiştir. Çalışmada araştırma soruları kapsamında kurgulanan hipotezler aşağıdaki gibidir.

Hipotez 1-H<sub>1</sub>: S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri'nin volatilitite yapıları benzer davranış sergilemektedir.

Hipotez 2-H<sub>1</sub>: S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında volatilitite yayılımı vardır.

Hipotez 3-H<sub>1</sub>: S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi vardır.

Hipotez 4-H<sub>1</sub>: S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında nedensellik ilişkisi vardır.

Hipotez 5-H<sub>1</sub>: S&P 500 Endeksi'nde meydana gelecek bir standart sapmalık şoka karşı S&P Yeşil Tahvil Endeksi negatif tepki vermektedir.

Hipotez 6-H<sub>1</sub>: S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nde meydana gelecek bir standart sapmalık şoka karşı S&P 500 Endeksi negatif tepki vermektedir.

Bu kapsamda ilk olarak serilerin volatilitite modellemesi ve aralarındaki volatilitite yayılımının araştırılabilmesi için değişkenlere ilişkin fiyat serileri kullanılarak aşağıdaki formül ile sürekli getiriler hesaplanmıştır

$$R_t = \ln \left( \frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \quad (1)$$

Bu kapsamda ilik olarak endeksler için oluşturulan getiri serilerinin durağanlıkları ADF ve PP testleri ile araştırılmıştır. ADF testine ilişkin denklemler Eşitlik 2,3 ve 4'te, PP testine ilişkin denklem ise Eşitlik 5'te gösterilmektedir.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + e_t \quad \varepsilon_t \sim WN(0, \sigma^2) \quad (2)$$

$$\Delta y_t = c + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + e_t \quad \varepsilon_t \sim WN(0, \sigma^2) \quad (3)$$

$$\Delta y_t = c + \gamma y_{t-1} + \delta_2 t \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + e_t \quad \varepsilon_t \sim WN(0, \sigma^2) \quad (4)$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \rho Y_{T-1} + \mu_T \quad (5)$$

Durağanlık araştırıldıktan sonra en uygun ARMA başlangıç modeli Schwarz bilgi kriteri esas alınarak oluşturulmuştur. ARMA modeline ilişkin denklem Eşitlik 6'da gösterilmektedir.

$$X_t = e_t + \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^p \Omega_i e_{ti} \quad (6)$$

En uygun başlangıç modelinin tespit edilmesinden sonra modelin değişen varyans, otokorelasyon ve doğrusal olmayan unsurlar içerip içermediği araştırılmış olup, model bu sorunları içerdiği için volatilité tahminlemede ARMA model yerine ARCH/GARCH modellerine ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Çalışmada çeşitli derecelerde simetrik ve asimetrik modeller denenmiş olup anlamlılık ve parametre kısıtlarını aşan EGARCH ve IGARCH modellerine ilişkin denklemler sırasıyla Eşitlik 7 ve 8'de gösterilmektedir.

$$\log(h_t) = \alpha_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j \log(h_{t-j}) + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left| \frac{u_{t-i}}{\sqrt{h_{t-i}}} \right| + \sum_{k=1}^r \gamma_k \frac{u_{t-k}}{\sqrt{h_{t-k}}} \quad (7)$$

$$h_t = \alpha_0 + \beta_1 h_{t-1} + (1 - \beta_1) \varepsilon_t^2 \quad \varepsilon_t = z_t h_t^{1/2} \quad (8)$$

Volatilité tahminlemeden sonra endeksler arasındaki volatilité yayılımı CCC-MGARCH modeli ile araştırılmıştır. Modele ilişkin denklem Eşitlik 9'da gösterilmektedir.

$$h_t = a_0 + A_1 \varepsilon_t^{(2)} + B_1 h_{t-1} \quad (9)$$

Volatilité yayılımının incelenmesinden sonra çalışmada fiyat serilerinin logaritması kullanılarak S&P500 ile S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasındaki uzun dönemli eşbütünlüme ve nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Son aşamada ise etki-tepki ve varyans ayrıştırma analizleri yapılmıştır. Uzun dönemli eşbütünlüme ilişkisine yönelik denklem Eşitlik 10'da nedensellik ilişkisine yönelik denklemler ise Eşitlik 11 ve 12'de gösterilmektedir.

$$S\&P500_t = \alpha_t + \beta_{i1} S\&PGBI_t + u_t \quad (10)$$

$$\Delta S\&P500_t = \alpha_0 + \sum_{j=1}^k \alpha_{1j} \Delta S\&P500_{t-j} + \sum_{j=1}^k \alpha_{2j} \Delta S\&PGBI_{t-j} + \varepsilon_{1t} \quad (11)$$

$$\Delta S\&PGBI_t = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_{1j} \Delta S\&PGBI_{t-j} + \sum_{j=1}^k \beta_{2j} \Delta S\&P500_{t-j} + \varepsilon_{2t} \quad (12)$$

VAR modeli üzerinden etki-tepki analizi gerçekleştirilmiş olup, etki-tepki analizine ilişkin denklem Eşitlik 13'te, varyans ayrıştırması analizine ilişkin denklemler ise Eşitlik 14 ve 15'te gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} S\&P500_t \\ S\&PGBI_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S\&P500_{t-1} \\ S\&PGBI_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix} \quad (13)$$

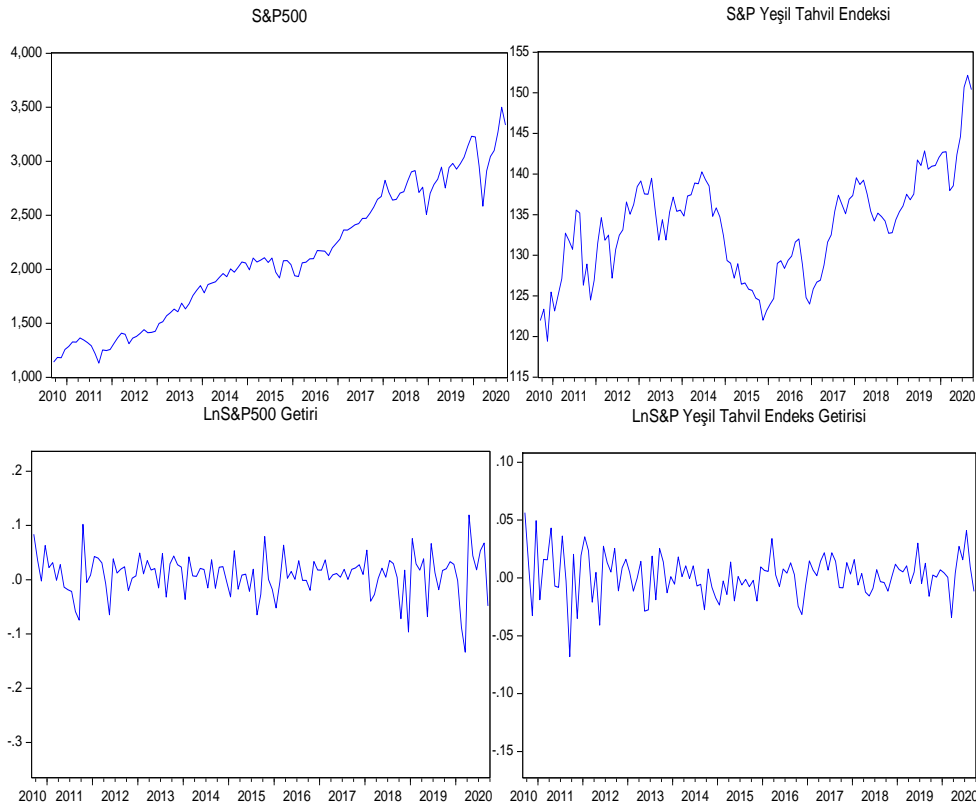
$$\frac{\sigma_{S\&P500}^2 [\Phi_{11}^2(0) + \Phi_{11}^2(1) + \dots + \Phi_{11}^2(n-1)]}{\sigma_{S\&PGBI}^2(n)} \quad (14)$$

$$\frac{\sigma_{S\&PGBI}^2[\Phi_{12}^2(1)+\Phi_{12}^2(1)+\dots+\Phi_{12}^2(n-1)]}{\sigma_{S\&P500}^2(n)} \quad (15)$$

Bu kapsamda yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgulara ilerleyen bölümlerde yer verilmektedir.

### 3.1. Volatilite Yapısı ve Volatilite Yayılımına İlişkin Analiz Sonuçları

Çalışmada S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri'ne ilişkin volatilite tahminlemesinin yapılabilmesi için ilk olarak endekslere ilişkin aylık fiyat serileri kullanılarak sürekli getiriler hesaplanmıştır. Ardından serilerin durağanlıkları araştırılmıştır. Endekslere ilişkin fiyat ve getiri grafikleri Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Serilere İlişkin Fiyat ve Getiri Grafikleri

Serilere ilişkin fiyat grafikleri incelendiğinde her iki endekste de fiyat grafiklerinde artan ve azalan bir trend olduğu, getiri grafiklerinin ise sabit bir ortalama değer etrafında dalgalanma gösterdiği söylenebilmektedir. Getiri grafiklerinin sabit bir ortalama değer etrafında dalgalanma göstermesi her iki endeks serisinin de durağan olduğunu göstermekle birlikte bu gözlemin birim kök testleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Tablo 1'de endekslere ilişkin ADF ve PP birim kök testlerine ilişkin analiz sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 1. Birim Kök Test Sonuçları

S&P500 Endeksi							
	Test	Fark	%	Kritik Değ.	t-ist.	Olas. Değ.	Karar
Sabit	ADF	Düzy	%1	-3,485	-11,998	0,000	I(0)
			%5	-2,885			
			%10	-2,579			
	PP	Düzy	%1	-3,485	-14,316	0,000	I(0)
			%5	-2,885			
			%10	-2,579			
S&P Yeşil Tahvil Endeksi							
	Test	Fark	%	Kritik Değ.	t-ist.	Olas. Değ.	Karar
Sabit ve Trend	ADF	Düzy	%1	-4,036	-11,956	0,000	I(0)
			%5	-3,447			
			%10	-3,148			
	PP	Düzy	%1	-4,036	-14,418	0,000	I(0)
			%5	-3,447			
			%10	-3,148			
S&P Yeşil Tahvil Endeksi							
	Test	Fark	%	Kritik Değ.	t-ist.	Olas. Değ.	Karar
Sabit	ADF	Düzy	%1	-3,485	-12,039	0,000	I(0)
			%5	-2,885			
			%10	-2,579			
	PP	Düzy	%1	-3,485	-12,136	0,000	I(0)
			%5	-2,885			
			%10	-2,579			
Sabit ve Trend	ADF	Düzy	%1	-4,036	-11,989	0,000	I(0)
			%5	-3,447			
			%10	-3,148			
	PP	Düzy	%1	-4,036	-12,086	0,000	I(0)
			%5	-3,447			
			%10	-3,148			

Tablo 1’de yer alan ADF ve PP test sonuçları incelendiğinde her iki seri için de olasılık değerlerinin kritik değerden (0,05) küçük gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bu doğrultuda her iki seri içinde sıfır hipotezi (birim kök vardır) reddedilmekte ve serilerin durağan olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Varsayımlardan bir diğeri olan normal dağılım ve tanımlayıcı istatistiklere ilişkin bilgilere Tablo 2’de yer verilmektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

	LNRSP500	LNRSPGBI
Ortalama	0,009558	0,002197
Medyan	0,015213	0,003354
Maksimum	0,119421	0,056411
Minimum	-0,133668	-0,068011
Std, Sap.	0,038832	0,018825
Çarpıklık	-0,603524	-0,213526
Basıklık	4,667341	4,349972
Jarque-Bera	21,36148	10,10751
Olasılık	0,000023	0,006385
Gözlem	121	121

Serilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde her iki seriye ilişkin gerçekleşen J-B olasılık değerinin kritik değer olan 0,05'ten küçük olduğu gözlemlenmekte ve serilerin normal dağılım sergilediğini ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Serilerin normal dağılım sergilemediği tespit edildikten sonra en uygun ARMA başlangıç modeli Schwarz Bilgi Kriteri dikkate alınarak belirlenmiştir. Schwarz Bilgi Kriterine göre 3. gecikmeye kadar hesaplanan kombinasyonlar Tablo 3'te gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Schwarz Bilgi Kriterine göre ARMA(p/q) seçimi

S&P500 Endeksi					S&P Yeşil Tahvil Endeksi				
p/q	0	1	2	3	p/q	0	1	2	3
0	<b>-3,627</b>	-3,559	-3,537	-3,509	0	<b>-5,075</b>	-5,001	-4,962	-4,922
1	-3,557	-3,582	-3,542	-3,503	1	-5,001	-4,962	-4,922	-4,884
2	-3,527	-3,542	-3,503	-3,464	2	-4,962	-4,922	-4,957	-4,918
3	-3,492	-3,503	-3,464	-3,427	3	-4,923	-4,886	-4,876	-4,881

Schwarz Bilgi Kriterine göre ARMA (0,0) modeli her iki seri içinde en düşük katsayıya sahip olduğu için en uygun model olarak belirlenmiştir. En uygun başlangıç modeli belirlendikten sonra diğer varsayımlar olan değişen varyans, otokorelasyon sorunları ve serilerde doğrusal olmayan unsurların olup olmadığı araştırılmıştır. ARCH LM değişen varyans test sonuçları, hata terimleri korelogramları ve BDS doğrusallık test sonuçları Tablo 4'te gösterilmektedir.

**Tablo 4.** ARCH LM Değişen Varyans, Hata Terimleri Korelogramları ve BDS Doğrusallık Test Sonuçları

S&P500 Endeksi				
ARMA (0,0) Gecikme	Göz. R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Anlamlılık	F İstatistiği	F İst. Anlamlılık
5	29,460	0,0000	7,489	0,0000
10	31,713	0,0004	3,999	0,0001
20	42,816	0,0022	2,943	0,0003
ARMA (0,0) Gecikme	AC	PAC	Q-İstatistik	Olasılık
5	0,072	0,091	28,521	0,000
10	0,094	0,047	30,207	0,001
20	-0,009	0,027	42,556	0,002
Boyut	BDS İst.	Std. Hata	z- İstatistik	Olasılık
2	0,037847	0,008724	4,338350	0,0000
3	0,059988	0,013957	4,298056	0,0000
4	0,072136	0,016735	4,310584	0,0000
5	0,082011	0,017564	4,669152	0,0000
6	0,079296	0,017059	4,648351	0,0000
S&P Yeşil Tahvil Endeksi				
ARMA (0,0) Gecikme	Göz. R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Anlamlılık	F İstatistiği	F İst. Anlamlılık
5	13,854	0,0166	2,983	0,0145
10	26,646	0,0030	3,158	0,0015
20	36,462	0,0136	2,259	0,0056
ARMA (0,0) Gecikme	AC	PAC	Q-İstatistik	Olasılık
5	0,119	0,085	16,481	0,006
10	0,143	0,104	29,683	0,001

20	0,136	0,079	48,379	0,000
<b>Boyut</b>	<b>BDS İst.</b>	<b>Std. Hata</b>	<b>z- İstatistik</b>	<b>Olasılık</b>
2	0,011956	0,007684	1,556066	0,1197
3	0,034594	0,012279	2,817309	0,0048
4	0,041267	0,014704	2,806567	0,0050
5	0,058896	0,015411	3,821557	0,0001
6	0,060256	0,014946	4,031510	0,0001

Her iki seriye ilişkin ARCH LM değişen varyans test sonuçları incelendiğinde 20. gecikme değeri ve sonrası için hesaplanan olasılık değerlerinin kritik değer olan 0,05'ten küçük olduğu gözlemlenmekte ve serilere ilişkin hata teriminin sabit varyansa sahip olduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Serilere ilişkin hata terimleri korelogramları incelendiğinde ise 20. Gecikme değeri ve sonrası için hesaplanan Q istatistiği olasılık değerlerinin kritik değer olan 0,05'ten küçük gerçekleştiği gözlemlenmekte ve "otokorelasyon yoktur" şeklinde ifade edilen sıfır hipotezi reddedilmektedir.

Bir diğer varsayım olan seride doğrusal olmayan unsurların varlığı BDS doğrusallık testi ile incelenmiştir. Test sonuçları incelendiğinde her iki seride de BDS test olasılık değerlerinin kritik değer olan 0,05'ten küçük olduğu gözlemlenmekte ve serilerin doğrusal unsurlar içermediğini ifade eden sıfır hipotezi reddedilmektedir. Serilerde otokorelasyon, değişen varyans sorunları ve doğrusal olmayan unsurların varlığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla serilerde oynaklık tahminlemesi için ARMA modeli yerine ARCH/GARCH modellerinin kullanılması gerekmektedir. Anlamlılık, parametre kısıt koşulları, p ve q değerleri dikkate alınarak serilerde oynaklık tahminlemesi yapılabilmesi için belirlenen modeller Tablo 5'te gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Volatilite Tahmin Modelleri Sonuçları

Endeks	Modeller	Katsayılar							
		$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\gamma_1$
S&P500	ARCH (p=1)	0,0009	0,3096	-	-	-	-	-	-
S&P Yeşil Tahvil	ARCH (p=1)	0,0002	0,1714	-	-	-	-	-	-
$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{t-i}^2$									
S&P500	EGARCH (p=1, q=1)	-4,279	0,449	-	-	0,414	-	-	-0,315
	EGARCH (p=1, q=2)	-8,282	0,365	-	-	0,496	-0,663	-	-0,539
$\log(h_t) = \alpha_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j \log(h_{t-j}) + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left  \frac{u_{t-i}}{\sqrt{h_{t-i}}} \right  + \sum_{k=1}^r \gamma_k \frac{u_{t-k}}{\sqrt{h_{t-k}}}$									
S&P500	IGARCH (p=1, q=1)	-	0,1123	-	-	0,8876	-	-	-
S&P Yeşil Tahvil	IGARCH (p=1, q=1)	-	0,085	-	-	0,9141	-	-	-
$h_t = \alpha_0 + \beta_1 h_{t-1} + (1 - \beta_1) \varepsilon_t^2 \quad \varepsilon_t = z_t h_t^{1/2}$									

Serilere ilişkin volatilite tahminlemesi için Tablo 5'te yer alan modeller dışında yer alan diğer modeller çeşitli derecelerde denenmiştir. Olasılık değerlerinin anlamsız çıkması ya da negatif katsayı taşımamasından dolayı analize dahil edilmemiştir. Tablo 5'te yer alan modeller olasılık değerleri anlamlı bulunan ve sonuçların geçerli olabilmesi için kısıtları aşan modellerdir. Her iki endeks içinde volatilite yapısını ortaya çıkarmak amacıyla Tablo 5'te yer alan modellerin değişen varyans ve otokorelasyon sorunlarını çözüp çözmediği ARCH-LM ve

hata terimleri korelogramları ile incelenmiştir. Testlere ilişkin sonuçlar Tablo 6'da gösterilmektedir.

**Tablo 6.** ARCH LM Değişen Varyans, Hata Terimleri Korelogramları Test Sonuçları

<b>S&amp;P500 Endeksi</b>				
<b>ARCH (1) Gecikme</b>	<b>Göz. R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Anlamlılık</b>	<b>F İstatistiği</b>	<b>F İst. Anlamlılık</b>
5	10,591	0,0601	2,210	0,0582
10	12,935	0,2273	1,319	0,2307
20	26,472	0,1508	1,420	0,1374
<b>ARCH (1) Gecikme</b>	<b>AC</b>	<b>PAC</b>	<b>Q-İstatistik</b>	<b>Olasılık</b>
5	0,128	0,181	7,6707	0,175
10	0,005	-0,044	9,6567	0,471
20	-0,011	0,062	20,970	0,399
<b>EGARCH (1,1) Gecikme</b>	<b>Göz. R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Anlamlılık</b>	<b>F İstatistiği</b>	<b>F İst. Anlamlılık</b>
5	7,006	0,2201	1,414	0,2247
10	13,772	0,1836	1,416	0,1839
20	24,239	0,2321	1,263	0,2288
<b>EGARCH (1,1) Gecikme</b>	<b>AC</b>	<b>PAC</b>	<b>Q-İstatistik</b>	<b>Olasılık</b>
5	0,131	0,150	5,6123	0,346
10	0,001	0,009	13,229	0,211
20	0,015	0,082	26,197	0,159
<b>EGARCH (1,2) Gecikme</b>	<b>Göz. R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Anlamlılık</b>	<b>F İstatistiği</b>	<b>F İst. Anlamlılık</b>
5	5,996	0,3066	1,199	0,3143
10	13,347	0,2049	1,366	0,2066
20	20,240	0,4430	1,002	0,4689
<b>EGARCH (1,2) Gecikme</b>	<b>AC</b>	<b>PAC</b>	<b>Q-İstatistik</b>	<b>Olasılık</b>
5	0,021	-0,020	4,8750	0,431
10	0,045	-0,031	9,8276	0,456
20	-0,004	0,051	15,232	0,763
<b>IGARCH (1,1) Gecikme</b>	<b>Göz. R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Anlamlılık</b>	<b>F İstatistiği</b>	<b>F İst. Anlamlılık</b>
5	13,063	0,0228	2,791	0,0206
10	14,467	0,1527	1,498	0,1509
20	18,271	0,5696	0,883	0,6076
<b>IGARCH (1,1) Gecikme</b>	<b>AC</b>	<b>PAC</b>	<b>Q-İstatistik</b>	<b>Olasılık</b>
5	-0,029	0,074	12,029	0,034
10	-0,033	-0,077	14,406	0,155
20	-0,085	-0,011	22,246	0,327
<b>S&amp;P Yeşil Tahvil Endeksi</b>				
<b>ARCH (1) Gecikme</b>	<b>Göz. R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Anlamlılık</b>	<b>F İstatistiği</b>	<b>F İst. Anlamlılık</b>
5	14,102	0,0150	3,044	0,0130
10	21,798	0,0162	2,443	0,0119
20	34,610	0,0223	2,085	0,0113
<b>ARCH (1) Gecikme</b>	<b>AC</b>	<b>PAC</b>	<b>Q-İstatistik</b>	<b>Olasılık</b>
5	0,131	0,157	15,478	0,009
10	0,137	0,085	25,258	0,005
20	0,099	0,067	33,962	0,026
<b>IGARCH (1,1) Gecikme</b>	<b>Göz. R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Anlamlılık</b>	<b>F İstatistiği</b>	<b>F İst. Anlamlılık</b>
5	5,031	0,4121	0,997	0,4228
10	17,155	0,0710	1,828	0,0651
20	21,375	0,3754	1,073	0,3926
<b>IGARCH (1,1) Gecikme</b>	<b>AC</b>	<b>PAC</b>	<b>Q-İstatistik</b>	<b>Olasılık</b>
5	-0,126	-0,103	6,3280	0,276
10	-0,038	-0,011	12,884	0,230
20	-0,027	-0,026	14,951	0,779

Tablo 6’da kısıtları aşan ve olasılık değerleri anlamlı bulunan modeller için ARCH LM değişen varyans ve hata terimleri korelogramları test sonuçları yer almaktadır. S&P500 Endeksi için anlamlılık ve parametre kısıtlarını aşan ARCH (1), EGARCH (1,1), EGARCH (1,2), IGARCH (1,1) modelleri için ARCH LM ve Q istatistik olasılık değerleri incelendiğinde olasılık değerlerinin kritik değer olan 0,05’ten büyük olduğu gözlemlenmektedir. Bu kapsamda modellerin S&P500 serisinde değişen varyans ve otokorelasyon sorununu çözdüğü tespit edilmiştir. S&P Yeşil Tahvil Endeksi için anlamlılık ve parametre kısıtlarını aşan modellerden biri olan ARCH (1) modeli için ARCH LM ve Q istatistik olasılık değerinin kritik değer olan 0,05’ten küçük olduğu gözlemlenmektedir. ARCH (1) modelinin S&P Yeşil Tahvil serisinde değişen varyans ve otokorelasyon sorununu çözemediği tespit edilmiştir. IGARCH (1,1) modeli için ARCH LM ve Q istatistik olasılık değerleri incelendiğinde ise hesaplanan olasılık değerinin kritik değer olan 0,05’ten büyük olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla IGARCH (1,1) modelinin S&P Yeşil Tahvil serisinde değişen varyans ve otokorelasyon sorununu çözdüğü tespit edilmiştir. S&P Yeşil Tahvil Endeksi için volatilité tahminlemesinde en uygun model IGARCH (1,1) iken S&P500 Endeksi volatilité tahminlemesinde en uygun modelin tespit edilebilmesi için Theil Eşitsizlik Katsayısı (TIC), Kök Ortalama Hata (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) katsayıları hesaplanmıştır. Testlere ilişkin sonuçlar Tablo 7’de yer almaktadır.

**Tablo 7.** Volatilité Modeli Karşılaştırma Sonuçları

Endeks	Modeller	TIC	RMSE	MAE
S&P500	ARCH (1)	0,979179	0,038680	0,028057
	EGARCH (1, 1)	0,978519	0,038681	0,028234
	EGARCH (1, 2)	<b>0,931588</b>	0,038785	0,027939
	IGARCH (1, 1)	0,954944	0,038719	0,028393
S&P Yeşil Tahvil	IGARCH (1, 1)	0,954614	0,018770	0,014119

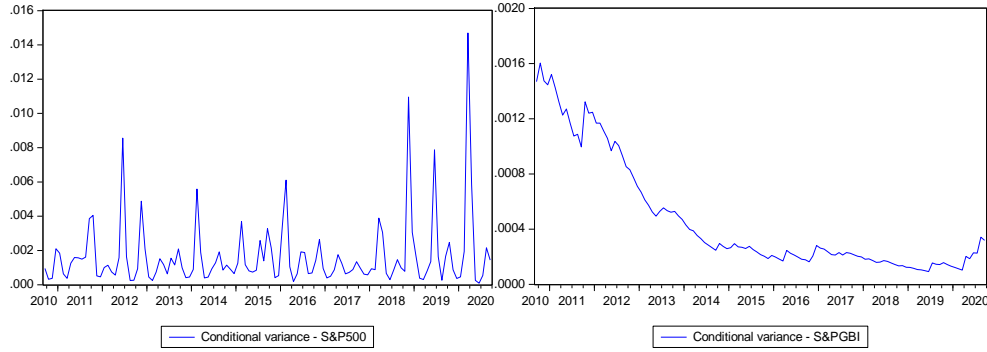
Model karşılaştırması için çalışmada TIC katsayısı dikkate alınmıştır. TIC katsayıları incelendiğinde en küçük değer EGARCH (1,2) modelinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Dolayısıyla S&P500 serisi volatilité tahminlemesi için en uygun model olarak EGARCH (1,2) modeli belirlenmiştir. S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil serileri için volatilité tahmin sonuçları Tablo 8’de yer almaktadır.

**Tablo 8.** Volatilité Tahmin Sonuçları

Seri	Modeller	Katsayılar							
		$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\gamma_1$
S&P500	EGARCH (1, 2)	-8,282	0,365	-	-	0,496	-0,663	-	-0,539
S&PGBI	IGARCH (1, 1)	-	0,085	-	-	0,914	-	-	-

S&P500 endeksi için en uygun model olarak EGARCH (1,2) modeli belirlenmiştir. Model 1 ARCH 2 GARCH etkisi taşımaktadır. Modelde  $\gamma_1$  katsayısının negatif olması kaldıraç etkisinin varlığını göstermektedir. Bu kapsamda S&P500 endeksinde meydana gelen negatif şokların endeksi pozitif şoklardan daha fazla etkilediği söylenebilmektedir. S&P Yeşil Tahvil Endeksi için en uygun model olarak IGARCH (1, 1) modeli belirlenmiştir. Modelin geçerliliği için  $\alpha_1$  ve  $\beta_1$  katsayılarının sifıra eşit veya büyük ve anlamlı olması gerekmektedir (Engle ve Bollerslev, 1986). Katsayılar toplamı 1 olarak hesaplanmaktadır. Bu durum S&P

Yeşil Tahvil Endeksi için volatiliteye etki eden şokların kısa süreli kalıcı etki yarattığını göstermektedir. Serilere ilişkin tahmin edilen volatilitelerine ilişkin koşullu varyans grafikleri Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Serilere ilişkin Koşullu Varyans Grafikleri

S&P500 Endeksine ilişkin koşullu değişen varyans grafiği incelendiğinde 2012, 2014, 2019 ve 2020 yıllarında varyansın en yüksek değeri aldığı gözlemlenmektedir. S&P Yeşil Tahvil Endeksi için koşullu değişen varyans grafiği incelendiğinde ise varyansın en yüksek değeri 2010 ve 2012 döneminde aldığı ve giderek azalan bir trend izlediği gözlemlenmektedir. Bu kapsamda her iki endekste varyansın yükseldiği zamanların farklılık gösterdiği söylenebilmektedir. Çalışmada volatiliteler tahminlemeden önce S&P500 Endeksi ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi arasındaki volatiliteler yayılım etkisi CCC-MGARCH modeli ile test edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 9’da gösterilmektedir.

Tablo 9. CCC-MGARCH Tahmin Sonuçları

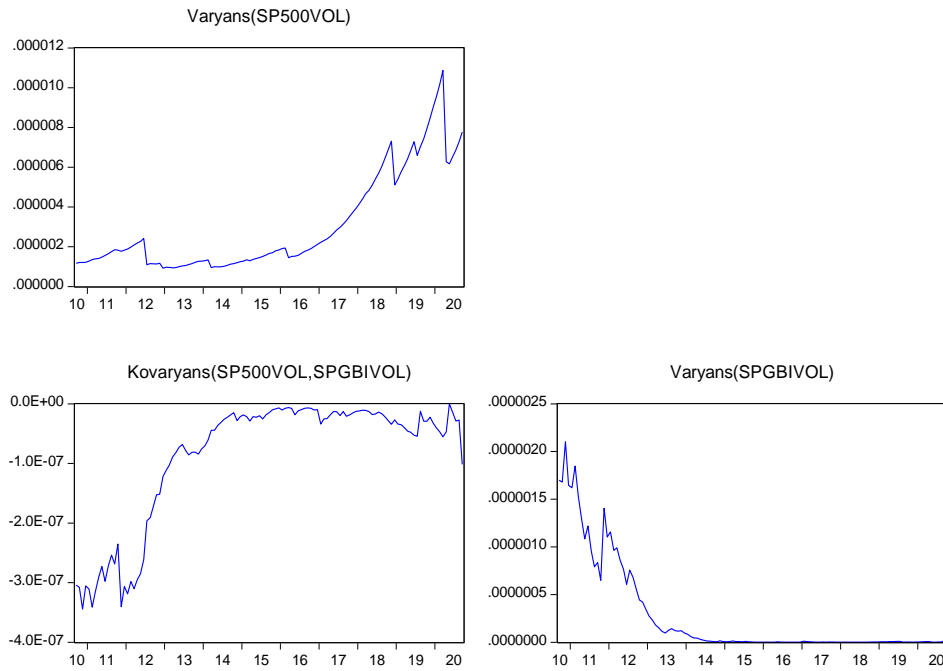
CCC		Dönüştürülmüş Varyans Katsayıları				
S&P500 → S&PGBI	GARCH(i) = M(i) + A1(i)*RESID(i)(-1)^2 + B1(i)*GARCH(i)(-1)					
	COV(i,j) = R(i,j)*SQRT(GARCH(i)*GARCH(j))					
		Katsayı	Std. Hata	z-İstatistik	Olasılık	
	M(S&PGBI)	7,21E-10	3,06E-10	2,354396	0,0186	
	ARCH(S&PGBI)	1,038011	0,259559	3,999127	0,0001	
	GARCH(S&PGBI)	-0,140203	0,059744	-2,346717	0,0189	
	M(S&P500)	5,02E-08	2,39E-08	2,098268	0,0359	
	ARCH(S&P500)	-0,041006	0,007943	-5,162698	0,0000	
	GARCH(S&P500)	1,042227	0,009768	106,6952	0,0000	
	Rho (S&PGBI, S&P500)	-0,148907	0,180478	-0,825070	0,4093	
CCC		Dönüştürülmüş Varyans Katsayıları				
S&PGBI → S&P500	GARCH(i) = M(i) + A1(i)*RESID(i)(-1)^2 + B1(i)*GARCH(i)(-1)					
	COV(i,j) = R(i,j)*SQRT(GARCH(i)*GARCH(j))					
		Katsayı	Std. Hata	z-İstatistik	Olasılık	
	M(S&P500)	-1,78E-08	3,32E-08	-0,538088	0,5905	
	ARCH(S&P500)	-0,031979	0,007855	-4,071194	0,0000	
	GARCH(S&P500)	1,070310	0,018986	56,37283	0,0000	
	M(S&PGBI)	6,39E-10	3,14E-10	2,033509	0,0420	
	ARCH(S&PGBI)	1,148777	0,310761	3,696659	0,0002	
	GARCH(S&PGBI)	-0,126309	0,055769	-2,264841	0,0235	
	Rho (S&P500, S&PGBI)	-0,215769	0,201839	-1,069018	0,2851	

CCC modeli ARCH ve GARCH etkisi taşımaktadır. Modelde, endekste meydana gelen şokun büyüklüğünü ARCH parametreleri, şokun kalıcılığını ise GARCH parametreleri göstermektedir. Modelin kısıtları ARCH ve GARCH parametreleri anlamlı, pozitif ve katsayı toplamının 1'den küçük gerçekleşmesidir. Analiz sonuçları incelendiğinde kısıtların sağlanmadığı gözlemlenmektedir. Bu kapsamda S&P500 Endeksi ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi arasındaki volatilité yayılımı olmadığı söylenebilmektedir. S&P500 Endeksi ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi arasındaki volatilité yayılımı CCC-MGARCH modeli ile modellendikten sonra oluşan koşullu korelasyon matrisi Tablo 10'da gösterilmektedir.

**Tablo 10.** Koşullu Korelasyon Matrisi

Korelasyon t-İstatistik Olasılık	S&P500	S&PGBI
S&P500	1,000000 ----- -----	
S&PGBI	-0,063298 -0,691883 0,4904	1,000000 ----- -----

Tablo 10'da yer alan koşullu kovaryans matrisi incelendiğinde volatilité modellemesinden sonra S&P500 Endeksi ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla S&P500 Endeksi'nin S&P Yeşil Tahvil Endeksini olumsuz yönde etkilediği söylenebilmektedir. CCC-MGARCH modeline ilişkin koşullu kovaryans grafikleri Şekil 3'te gösterilmektedir.



**Şekil 3.** CCC-MGARCH Modeli Koşullu Kovaryans Grafikleri

CCC-MGARCH modeline ilişkin koşullu kovaryans grafiği incelendiğinde S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri'ne ilişkin ortak varyansın 2011 yılında en düşük değeri aldığı, 2012 yılından sonra yükseldiği ve 2014 yılından sonra en yüksek değeri aldığı gözlemlenmektedir. S&P500 Endeksi'ne ilişkin koşullu varyans grafiği incelendiğinde 2014 yılı sonrasında varyansın yükseldiği ve 2019 yılında en yüksek değeri aldığı gözlemlenirken, S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne ilişkin koşullu varyans grafiği incelendiğinde ise 2014 yılından sonra varyansın en düşük değerleri aldığı gözlemlenmektedir.

### 3.2. Eşbütünleşme ve Nedensellik Analiz Sonuçları

S&P500 ile S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasındaki uzun dönemli ilişki fiyat serisi üzerinden eşbütünleşme ve nedensellik analizleri ile araştırılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak yapısal kırılmalı RALS-ADF testi ile serilerin birim kök içerip içermediği araştırılmıştır. Test sonuçları Tablo 11'de gösterilmektedir.

**Tablo 11.** RALS-ADF Birim Kök Test Sonuçları

LnSP500							
Düzye				1. Der. Fark			
RALS-ADF - istatistik		-2,785		RALS-ADF - istatistik		-9,417	
p2		0,547		p2		0,718	
CV (1%, 5%, 10%)		-3,639 -3,037 -2,721		CV (1%, 5%, 10%)		-3,769 -3,194 -2,891	
LnSPGBI							
Düzye				1. Der. Fark			
RALS-ADF - istatistik		-0,962		RALS-ADF - istatistik		-4,488	
p2		0,925		p2		0,926	
CV (1%, 5%, 10%)		-3,901 -3,352 -3,060		CV (1%, 5%, 10%)		-3,902 -3,353 -3,060	
<b>H<sub>0</sub>: Birim kök vardır</b>							

RALS-ADF birim kök test sonuçları S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi için incelendiğinde düzeyde test istatistik değerleri kritik değerın sağ tarafında yer almaktadır. Dolayısıyla seri birim kök içermektedir. Birinci dereceden farkı alınarak yapılan test sonuçlarına göre test istatistik değerleri kritik değerın solunda yer almaktadır. Serilerin durağanlıklarının sağlandığı gözlemlenmektedir. Ardından seriler arasında uzun dönemli ilişki olup olmadığı Engle ve Granger (1987), Phillips ve Ouliaris (1990) ve Shin (1994) testleri ile araştırılmıştır. Test sonuçları Tablo 12'de yer almaktadır.

**Tablo 12.** Eşbütünleşme Analiz Sonuçları

	Test	İst.	%1	%5	%10
(EG, 1987 & PO, 1990) H <sub>0</sub> : eşbütünleşme yoktur	EG_ADF	-4,703	-4,363	-3,800	-3,518
	PO_Zt	-4,894	-4,363	-3,800	-3,518
	PO_Za	-41,046	-35,419	-27,087	-23,192
Shin (1994) H <sub>0</sub> : eşbütünleşme vardır	CIols	0,045	0,184	0,121	0,097
	CIdots	0,041	0,184	0,121	0,097

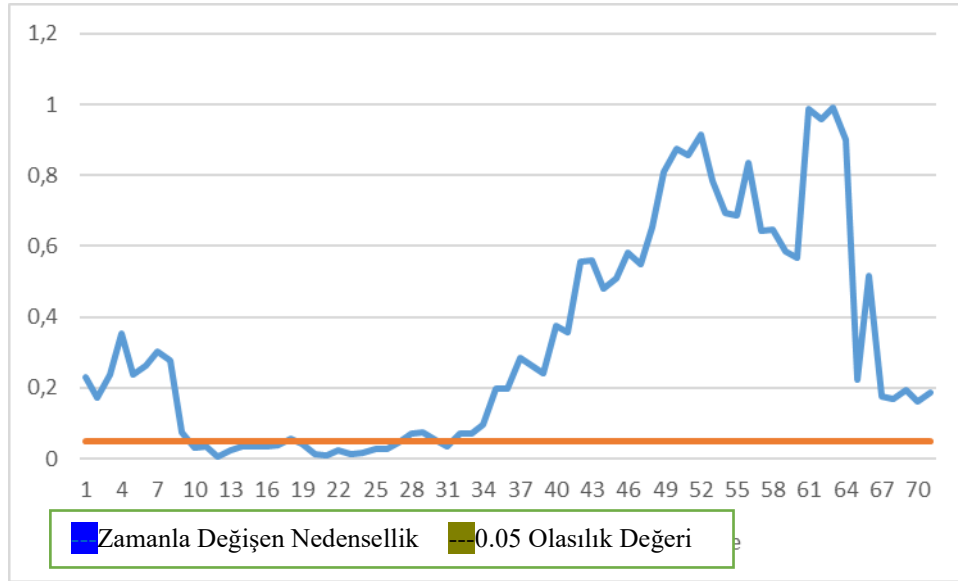
S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri için yapılan Engle ve Granger (1987) ve Phillips ve Ouliaris (1990) eşbütünleşme test sonuçları incelendiğinde sabit ve trendli modelde hesaplanan EG-ADF, PO-Zt ve PO-Za test istatistik değerleri tüm anlamlılık düzeylerinde kritik değerlerin solunda yer almaktadır. Dolayısıyla eşbütünleşme yoktur olarak

ifade edilen yokluk hipotezi reddedilmektedir. Shin (1994) eşbütünleşme test sonuçları incelendiğine ise hesaplanan CIols ve CIDols test istatistik değerlerinin tüm anlamlılık düzeylerinde kritik değerin sağında yer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla yokluk hipotezi reddedilememektedir. Shin (1994) testinin yokluk hipotezi ters kurulmaktadır. Bu kapsamda her iki test sonucuna görede S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Endeksler arasındaki uzun dönemli ilişkinin nedenselliği yapısal kırılmaları dikkate alan Single Fourier-Frekans, Nazlıoğlu vd. (2016) ve Kümülatif Fourier-Frekans, Nazlıoğlu vd. (2019) Granger nedensellik analizi ile araştırılmıştır. Test sonuçları Tablo 13'te yer almaktadır.

**Tablo 13.** Granger Nedensellik Analiz Sonuçları

Single Fourier-Frekans Granger Nedensellik Testi					
Nedensellik	Wald	Asym. Olas.	Bootstrap Olas.	Lag	Frekans
SPGBI=>SP500	0,052	0,820	0,832	1	1
SP500=> SPGBI	5,149	0,023	0,027	1	3
Kümülatif Fourier- Frekans Granger Nedensellik Testi					
Nedensellik	Wald	Asym. Olas.	Bootstrap Olas.	Lag	Frekans
SPGBI=>SP500	16,174	0,183	0,224	12	3
SP500=> SPGBI	30,553	0,002	0,003	12	3

S&P500 Endeksi'nden S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne doğru Granger nedensellik ilişkisine yönelik olarak gerçekleştirilen her iki test içinde hesaplanan olasılık değeri kritik değer olan 0,05'ten küçük hesaplanmıştır. Dolayısıyla yokluk hipotezi reddedilmektedir. S&P500'den S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir. S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nden S&P500 Endeksi'ne doğru ise herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Nedensellik ilişkisine yönelik grafik gösterimi Şekil 4'te gösterilmektedir.

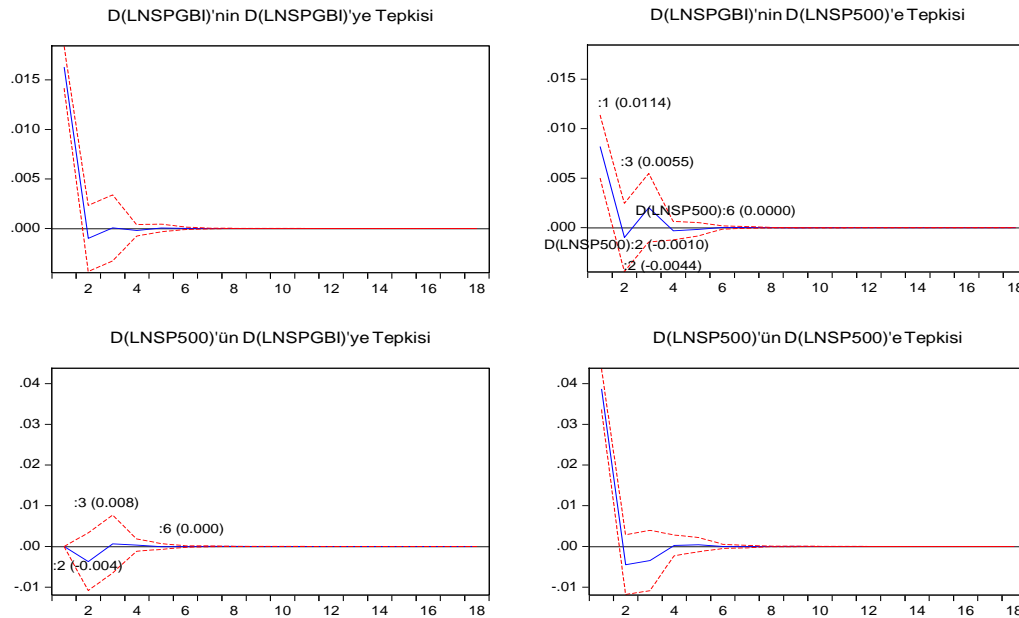


**Şekil 4.** Nedensellik İlişkisinin Grafikselle Gösterimi

Şekil 4 incelendiğinde 10. pencereden 26. pencereye kadar nedensellik ilişkisinin olduğu gözlemlenmektedir (Pencere 50 olduğu için  $10+50=59$  ve  $26+50=75$  (24. ve 57. gözlemler dahil olduğu için 1 eksik)). Bu kapsamda 10. gözlemden 75. gözleme kadar nedensellik ilişkisi vardır. Dolayısıyla S&P500 Endeksi'nden S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne doğru Haziran 2011'den Kasım 2016'ya kadar Granger nedensellik ilişkisinin olduğu söylenebilmektedir.

### 3.3. Etki-tepki ve Varyans Ayrıştırması Analiz Sonuçları

Etki-tepki analizi, değişkenlerin birindeki bir standart hatalık şoka karşı diğer değişkenin vereceği tepkiyi göstermektedir. VAR modeli üzerinden gerçekleştirilen etki-tepki fonksiyonları, S&P500<sub>t</sub> ve S&P Yeşil Tahvil<sub>t</sub> serileri için çeşitli şoklar karşısında verdikleri tepkiler doğrultusunda grafiksel olarak Şekil 5'teki gibi gösterilmektedir.



Şekil 5. Etki-Tepki Analiz Sonuçları

Granger nedensellik analizi sonuçları doğrultusunda S&P500'de meydana gelen bir şoka S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nin tepkisi Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde S&P500'de meydana gelen bir şokun S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nde 2. ayda 0,004 bir düşüşe sebep olduğu ve bu etkinin 6. ayda ortadan kalkarak sıfıra yakınsadığı söylenebilmektedir. Bu kapsamda S&P500'de meydana gelen bir şokun S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nde negatif yönlü kalıcı bir etki yarattığı tespit edilmiştir. Etki-tepki analizi sonrası S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri'ndeki değişimlerin yüzde kaçının kendisi ve diğer değişkenler tarafından kaynaklandığının belirlenebilmesi için varyans ayrıştırma analizi yapılmıştır. S&P500 Endeksi için yapılan varyans ayrıştırma test sonuçları Tablo 14'te yer almaktadır.

**Tablo 14.** S&P500 Endeksi Varyans Ayrıştırması

Periyot	S.E.	D(LNSP500)	D(LNSPGREEN)
1	0,038696	100,0000	0,000000
2	0,039135	99,08435	0,915647
3	0,039292	99,06670	0,933297
4	0,039294	99,05981	0,940188
5	0,039296	99,05981	0,940186
6	0,039296	99,05970	0,940300
7	0,039296	99,05970	0,940299
8	0,039296	99,05970	0,940301
9	0,039296	99,05970	0,940301
10	0,039296	99,05970	0,940301
11	0,039296	99,05970	0,940301
12	0,039296	99,05970	0,940301
13	0,039296	99,05970	0,940301
14	0,039296	99,05970	0,940301
15	0,039296	99,05970	0,940301
16	0,039296	99,05970	0,940301
17	0,039296	99,05970	0,940301
18	0,039296	99,05970	0,940301

Varyans ayrıştırması analiz sonuçlarına göre, birinci dönemde S&P500 Endeksi'ndeki değişimlerin tamamı kendisinden ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi dışındaki değişimlerden kaynaklandığı gözlemlenmektedir. İkinci dönem ve sonrası için S&P500 Endeksi'ndeki değişimlerin yaklaşık %0,94'ünün S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde S&P500 Endeksi'nin en fazla kendi şoklarından etkilendiği söylenebilmektedir. S&P500 Yeşil Tahvil Endeksi için yapılan varyans ayrıştırma test sonuçları Tablo 15'te yer almaktadır.

**Tablo 15.** S&P Yeşil Tahvil Endeksi Varyans Ayrıştırması

Periyot	S.E.	D(LNSPGREEN)	D(LNSP500)
1	0,038696	20,22500	79,77500
2	0,039135	21,65183	78,34817
3	0,039292	21,54391	78,45609
4	0,039294	21,55186	78,44814
5	0,039296	21,55082	78,44918
6	0,039296	21,55093	78,44907
7	0,039296	21,55092	78,44908
8	0,039296	21,55092	78,44908
9	0,039296	21,55092	78,44908
10	0,039296	21,55092	78,44908
11	0,039296	21,55092	78,44908
12	0,039296	21,55092	78,44908
13	0,039296	21,55092	78,44908
14	0,039296	21,55092	78,44908
15	0,039296	21,55092	78,44908
16	0,039296	21,55092	78,44908
17	0,039296	21,55092	78,44908
18	0,039296	21,55092	78,44908

S&P Yeşil Tahvil Endeksi varyans ayrıştırması analiz sonuçları incelendiğinde, birinci dönem ve sonrası için S&P500 Yeşil Tahvil Endeksi'ndeki değişimlerin yaklaşık %21'inin kendisinden kaynaklandığı, %78'inin ise S&P500 Endeksi'nden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde S&P500 Yeşil Tahvil Endeksi'nin en fazla S&P500 Endeksi'nde meydana gelen şoklardan etkilendiği söylenebilmektedir. Ek olarak S&P Yeşil Tahvil Endeksi S&P500 Endeksi'nden, S&P500 Endeksi'nin S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nden etkilendiğinden daha fazla etkilendiği gözlemlenmektedir.

#### 4. SONUÇ

Çalışmada Eylül 2010- Eylül 2020 döneminde S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır. İlk olarak her iki endeks için de getiri serisi üzerinden volatilitate tahminlemesi yapılmıştır. Analiz sonucunda S&P500 serisi volatilitate tahminlemesi için EGARCH (1,2), S&P Yeşil Tahvil serisi için ise IGARCH (1,1) modeli en uygun model olarak belirlenmiştir. Model sonuçları değerlendirildiğinde S&P500 Endeksi'nde meydana gelen negatif şokların endeksi pozitif şoklardan daha fazla etkilediği, S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nde ise volatilitateye etki eden şokların kısa süreli kalıcı etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak endekslerde volatilitate kümelenmelerinin olduğu tarihlerin farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda araştırma soruları kapsamında kurgulanan Hipotez 1 reddedilmektedir. Endekslerin volatilitate yapılarının farklı olduğu tespit edilmiştir. Endekslere yatırım yapacak olan yatırımcıların yatırım kararları alırken endekslerde ortaya çıkabilecek volatilienin dolayısıyla risk ve belirsizliğin farklı tarihlerde olmasını endekslerin farklı olaylardan etkilenmesini dikkate almaları önerilebilir.

Volatilitate tahminlemesi yapıldıktan sonra S&P500 Endeksi ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi arasındaki volatilitate yayılım etkisi CCC-MGARCH modeli ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda her iki endeks arasında yayılım etkisi olmadığı tespit edilmiştir. CCC-MGARCH modeline ilişkin koşullu korelasyon matrisi incelendiğinde S&P500 Endeksi ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Araştırma soruları kapsamında kurgulanan Hipotez 2 reddedilmektedir. Endeksler arasında risk taşınımının olmadığı söylenebilmektedir.

S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasındaki uzun dönemli ilişki fiyat serisi üzerinden eşbütünleşme ve nedensellik analizleri ile incelenmiştir. Engle ve Granger (1987) ve Phillips ve Ouliaris (1990) ve Shin (1994) eşbütünleşme testi sonucunda S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri arasında uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Araştırma soruları kapsamında kurgulanan Hipotez 3 kabul edilmektedir.

Eşbütünleşme analizi sonrasındaki ilişkinin nedenselliği Single Fourier-Frekans, Nazlıoğlu vd. (2016) ve Kümülatif Fourier-Frekans, Nazlıoğlu vd. (2019) Granger nedensellik testleri ile incelenmiştir. Analiz sonucunda S&P500'den S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne doğru tek yönlü nedensellik ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir. S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nden S&P500 Endeksi'ne doğru ise herhangi bir nedensellik ilişkisi tespit edilememiştir. Zamanla değişen nedensellik grafiği incelendiğinde ise S&P500 Endeksi'nden S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ne doğru Haziran 2011'den Kasım 2016'ya kadar Granger nedensellik ilişkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Araştırma soruları kapsamında kurgulanan Hipotez 4 kabul edilmektedir.

Son olarak S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksleri'nin birindeki bir standart hatalık şoka karşı diğer değişkenin vereceği tepki etki-tepki analizi ile test edilmiştir. Etki-tepki analizi sonrası S&P500 ve S&P Yeşil Tahvil Endeksi'ndeki değişimlerin yüzde kaçının kendisi ve diğer değişkenler tarafından kaynaklandığının belirlenebilmesi için varyans ayrıştırma analizi yapılmıştır. Etki-tepki analizi sonucunda S&P500'de meydana gelen bir şokun S&P Yeşil Tahvil Endeksi'nde 2. ayda 0.004 bir düşüşe sebep olduğu ve bu etkinin 6. Ayda ortadan kalkarak sifıra yakınsadığı tespit edilmiştir. Araştırma soruları kapsamında kurgulanan Hipotez 5 ve 6 kabul edilmektedir. Varyans ayrıştırma analizi sonucunda ise S&P500 Endeksi'nin en fazla kendi şoklarından etkilendiği, S&P500 Yeşil Tahvil Endeksi'nin ise en fazla S&P500 Endeksi'nde meydana gelen şoklardan etkilendiği söylenebilmektedir.

Çalışmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde yeşil tahvil piyasası ve pay piyasası arasında ilişki olduğunu söylemek mümkündür. Çalışmadan elde edilen bulgular Roberedo (2018), Gao vd., (2021), Reboredo ve Ugolini (2020) ve Pham ve Nguyen (2021) tarafından yapılan ve yeşil tahvil piyasası ve pay piyasası arasında ilişki olduğu sonucuna ulaşan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Çalışmanın sonuçları yeşil tahvil piyasasına yatırım yapacak yatırımcılar için riski değerlendirebilmeleri, diğer piyasalarla olan ilişkisini yorumlayabilmeleri açısından önem arz etmekte ve yapılacak çalışmalara motivasyon sağlayacağı düşünülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, nispeten yeni bir varlık olan yeşil tahvil piyasasının anlaşılabilmesi, yeşil tahvil ile finanse edilen projelerin etkisinin görülebilmesi için yeşil tahvil piyasasına etki eden faktörlerin araştırılması önerilebilir.

## **KAYNAKLAR**

- Banga, Josue (2019), "The Green Bond Market: A Potential Source of Climate Finance for Developing Countries", *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 9(1), pp. 17-32.
- Baulkaran, Vishaal (2019), "Stock Market Reaction to Green Bond Issuance", *Journal of Asset Management*, 20, pp. 331-340.
- Broadstock, David C. - Cheng, Louis T.W. (2019), "Time-Varying Relation Between Black and Green Bond Price Benchmarks: Macroeconomic Determinants for The First Decade", *Finance Research Letters*, 29, pp. 17-22.
- Ehlers, Torsten - Packer, Frank (2017), "Green Bond Finance and Certification", *BIS Quarterly Review*.
- Engle, Robert F. - Granger, Clive W.J. (1987), "Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing", *Econometrica*, 55(2), pp. 251-276.
- Engle, Robert F.- Bollerslev, Tim (1986), "Modelling the Persistence of Conditional Variance", *Econometric Reviews*, 5, pp. 1-50.
- Gao, Yang - Li, Yangyang. - Wang, Yaojun (2021), "Risk Spillover and Network Connectedness Analysis of China's Green Bond and Financial Markets: Evidence from Financial Events of 2015–2020", *The North American Journal of Economics and Finance*, 57, pp.1-25.

- Kandır, Serkan Y. – Yakar, Soner (2017), “Yeşil Tahvil Piyasaları: Türkiye’de Yeşil Tahvil Piyasasının Geliştirilebilmesi İçin Öneriler”, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 26(2), pp. 159-175.
- Lee, Chi C. - Lee, Chien C. - Li, Yong Y. (2021), “Oil Price Shocks, Geopolitical Risks, and Green Bond Market Dynamics”, The North American Journal of Economics and Finance, 55, pp.1-15.
- Menteşe, Betül (2021), “Yeşil Tahvilin Gelişimi ve Türkiye’deki Uygulamaları”, Muhasebe ve Finans Araştırmaları Dergisi. 3(1), pp.94-116.
- Nazlıoğlu, Şaban - Görmüş, N. Alper - Soytaş, Uğur (2016), “Oil Prices and Real Estate Investment Trusts (Reits): Gradual- Shift Causality and Volatility Transmission Analysis”, Energy Economics, 60, pp.168-175.
- Nazlıoğlu, Şaban - Gupta, Rangan - Görmüş, N. Alper - Soytaş, Uğur (2019), “Price and Volatility Linkages Between International Reits and Oil Markets”, University of Pretoria Department of Economics Working Paper Series, 54.
- Ozkan, Tuba (2019), “Green Bonds: The Case of Turkey”, PressAcademia Procedia (PAP). 10, pp.73-75.
- Park, Daehyeon - Park, Jiyeon - Ryu, Doojin (2020), “Volatility Spillovers Between Equity and Green Bond Markets”, Sustainability, 22, pp. 1-12.
- Pham, Linh - Nguyen, C. Phuch (2021), “How Do Stock, Oil, And Economic Policy Uncertainty Influence the Green Bond Market?”, Finance Research Letters. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102128>
- Pham, Linh (2016), “Is It Risky to Go Green? A Volatility Analysis of The Green Bond Market”, Journal of Sustainable Finance & Investment, 6(4), pp. 263-291.
- Phillips, Peter C.B. - Ouliaris, Sam (1990), “Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration”, Econometrica, 58(1), pp. 165-193.
- Roboredo, Juan C. - Ugolini, Andrea (2020), “Price Connectedness Between Green Bond and Financial Markets”, Economic Modelling, 88, pp. 25-38.
- Roboredo, Juan C. (2018), “Green Bond and Financial Markets: Co-Movement, Diversification and Price Spillover Effects”, Energy Economics, 74, pp. 38-50.
- Sarıgül, Sevgi S. – Topcu, Betül A. (2020), “Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Finansmanında Yeşil Tahvil İhracı: Türkiye Örneği”, International CEO Communication, Economics, Organization & Social Sciences Congress, pp.643-653.
- Shin, Yongcheol (1994), “A Residual-Based Test of The Null of Cointegration Against the Alternative of No Cointegration”, Econometric Theory. 10, pp. 91–115.

