

Asimetrik Stokastik Volatilite Modelinin BIST100 Endeksine Uygulanması

 ÖNDER BÜBERKÖKÜ^a

Geliş Tarihi: 10.09.2018 | Kabul Tarihi: 21.01.2019

Öz: Bu çalışmada asimetrik stokastik volatilite (ASV) modeli lognormal dağılım varsayımları altında 2007-2008 küresel finans krizi dikkate alınarak BIST100 endeksine uygulanmıştır. ASV modelinin parametrelerinin tahmininde Bayesyen yaklaşıma dayalı MCMC (Markov Chain Monte Carlo, MCMC) algoritmasından yararlanılmıştır. Çalışma bulguları BIST100 endeksi için asimetrik tepkinin ve yüksek volatilite kalıcılığının söz konusu olduğuna işaret etmektedir. 2007-2008 küresel finans krizinin daha çok asimetri parametresi üzerinde etkili olduğu bu nedenle küresel finans krizi döneminde BIST100 endeksi getirisindeki değişimlerin BIST100 endeksi volatilitesi üzerinde daha fazla etkili olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma bulgularının BIST100 endeksinin volatilite dinamiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve ASV modellerinin Türk finans piyasalarına uygulanabilirliği açısından önemli olduğu düşünülmektedir. **Anahtar Kelimeler:** Asimetrik stokastik volatilite modeli, BIST100 endeksi, Bayesyen yaklaşımı.

^a Van YYÜ, Erciş İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü
onderbuber@gmail.com

An Empirical Application of an Asymmetric Stochastic Volatility Model to ISE100 Index

Abstract: This study applies an asymmetric stochastic volatility (ASV) model to the ISE100 index by considering the 2007–2008 global financial crisis under the assumption of a lognormal distribution. The MCMC (Markov Chain Monte Carlo) algorithm based on a Bayesian approach is used to estimate the parameters of the ASV model. According to the results, the return volatility of the ISE100 index exhibits volatility persistence and leverage effect. Additionally, the model indicates that the global financial crisis of 2007–2008 mostly affects the leverage-effect parameter, implying that changes in the return of the ISE100 index more greatly influenced its volatility during the crisis. The findings contribute to the understanding of the volatility dynamics of the ISE100 index and the applicability of ASV models to Turkish financial markets.

Keywords: Asymmetric stochastic volatility model, ISE100 index, Bayesian approach.

© Büberkökü, Önder. "Asimetrik Stokastik Volatilite Modelinin BIST100 Endeksine Uygulanması." *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 18 (2019), 503-525.

Giriş

Finansal ekonometrinin en önemli konularından birini volatilitenin modellenmesi oluşturmaktadır. Çünkü, volatilitenin parametresi opsiyonların fiyatlanması, piyasa riski analizi, portföy performanslarının ölçülmesi ve hedging işlemleri gibi finansal konularda oldukça önemli bir işleve sahiptir. Bu öne minden dolayı da volatilitenin doğru bir şekilde modellenmesi gerekmektedir (Krichene, 2003: 3; Yu, 2005: 166; Assaf, 2017: 491). Uygulamada ve finansal yazında bu amaçla GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, GARCH) modelleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat, GARCH modelleri volatilitiyi “gözlemlenebilir bir değişken” olarak tanımlamaktadır. Bu nedenle de volatilitiyi geçmiş dönem volatilitenin ve getirisinin deterministik bir bileşeni olarak modellemektedir. GARCH modellerine alternatif teşkil eden SV modelleri ise volatilitiyi “gözlemlenemeyen stokastik bir süreç” olarak modellemektedir. SV modellerinin volatilitiyi gözlemlenemeyen stokastik bir süreç olarak modellemesinin temel mantığı ise şu şekilde açıklanabilir: Piyasaya gelen her yeni bilgi sonrasında iktisadi birimler pozisyonlarını yeniden düzenlerler. Bu nedenle her yeni bilgi akışı sonrasında finansal varlık fiyatları bir denge noktasından başka bir denge noktasına doğru hareket eder. Bu da piyasa fiyatının değişmesine yol açar. Bu süreçte her ne kadar piyasaya yeni bir bilginin geldiği bilinse de ekonometrik olarak gözlemlenebilen tek şey finansal varlık fiyatında yaşanan değişimdir. Bu nedenle “piyasaya gelen ve fiyatlarda değişime yol açan bilgi akışı” “gözlemlenemeyen bir değişken” olarak modellenmektedir. SV modelleri de volatilitenin piyasaya gelen bu bilgi akışının bir sonucu olarak oluştuğunu varsaymaktadır (Krichene, 2003: 5-6; Assaf, 2017: 495).

Literatürde çeşitli SV modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada Omori vd. (2007) tarafından geliştirilen asimetrik SV modelinden yararlanılmıştır. SV modellerindeki asimetrik yapı finansal varlıkların getirileri ile volatilitesi arasındaki

ters yönlü asimetrik ilişkiye dayanmaktadır. Bir diğer ifadeyle asimetrik SV modeline göre getirideki bir azalış (fiyatlardaki düşüş) ilgili finansal varlığın volatilitesinde bir artışa yol açarken getirideki bir artış (fiyatlardaki yükseliş) ilgili finansal varlığın volatilitesinde bir azalışa yol açmaktadır. Fakat, getirideki azalmanın belirsizlik hâli üzerindeki etkisi getirideki aynı büyüklükteki bir artışın belirsizlik hâli üzerindeki etkisinden daha fazla olmaktadır. Bir finansal varlığın getirisi ile volatilitesi arasındaki bu asimetrik ilişkinin teorik altyapısı ise şu şekilde açıklanmaktadır: Piyasalarda bir şirkete dönük negatif bir veri akışı söz konusu olduğunda bu durum şirketin hisse senedi fiyatlarının düşmesine yol açmaktadır. Düşen hisse senedi fiyatları şirketin borç / özsermaye (finansal kaldıraç) oranının artmasına yol açarak şirketi daha riskli hale getirmektedir. Bu da bu hisse senedinin beklenen volatilitésinin artmasına yol açmaktadır (Yu, 2005: 167). Böylece, hisse senedi getirilerinin düşmesi ile başlayan süreç ilgili finansal varlığın volatilitésinde artışa yol açmaktadır.

Literatürde, SV modellerinin GARCH modellerine nazaran daha gerçekçi ve esnek bir model olduğu bu nedenle de SV modellerinin finans teorilerinin genel yapısı ile daha uyumlu olduğunu ifade eden çalışmalar bulunmaktadır (Örneğin bkz: Jacquier, Polson ve Rossi, 2004: 185; Wang, Chan ve Choy, 2011: 852; Assaf, 2017: 492). Literatürde, bu modellerin GARCH modellerinden daha iyi performans sergilediğini ifade eden çalışmalar da yer almaktadır (örneğin, bkz: Kim vd., 1998; Carnero, Pena ve Ruiz, 2003; Broto ve Ruiz, 2004; Chan ve Grant, 2016). Bu vb. bulgular uluslararası yazında SV modellerine dönük oldukça yoğun bir ilginin oluşmasını sağlamıştır. Bu kapsamdaki çalışmaların bir kısmı SV modellerinin performansını diğer alternatif volatilité modellerinin performansı ile karşılaştırırken, bir kısmı standart SV modellerini finansal zaman serilerinin sahip olduğu diğer bazı karakteristik özellikleri de (örneğin; asimetrik tepki, uzun hafıza özelliği, standart normal dağılıma uymama gibi) dikkate alacak şekilde

geliştirmeye çalışmış diğer bazı alışmalar ise SV modellerinin tahmininde kullanılabilecek daha etkin tahmin yöntemleri geliştirmeye odaklanmıştır (Örneğin bkz: Nakajima ve Omori, 2008; Yu, 2005; Omori vd., 2007; Assaf, 2017; Men vd, 2017; Wang, Chan ve Choy, 2011; Jensen ve Maheu, 2014; Dimitrakopoulos, 2017; Barndorff-Nielsen ve Shephard, 2006; Mariani, Bhulyan ve Tweneboah, 2018).

Fakat, uluslararası yazındaki bu ilgiye rağmen ulusal yazında henüz SV modellerine dayalı oldukça sınırlı sayıda çalışma olduğu görölmektedir. Bu çalışmalara bakıldığında, Yalçın (2007) 1990-2006 dönemini dikkate alarak BIST100 endeksi için risk ile getiri arasındaki ilişkiyi SV modeli ile incelediği çalışmasında risk ile getiri arasında istatistikî olarak anlamlı bir ilişki bulunmadığı sonucun ulaşmıştır. Özün ve Türk (2008) 2004-2007 dönemini dikkate alarak Dolar-TL kuru için standart SV ile rejim değişimli SV modellerinin volatilite öngörü performanslarını inceledikleri çalışmalarında her iki modelin de kısa vadede döviz kuru volatilitelerini başarılı bir şekilde öngördüğü fakat modellerin uzun vadeli volatilite öngörü performanslarının göreceli olarak düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, genel olarak standart SV modelinin volatilite öngörü performansının rejim değişimli SV modelinin performansından daha iyi olduğunu da belirtmişlerdir. Abiyev (2015) 2002-2013 dönemini dikkate alarak BIST sektör endekslerinin zaman değişen beta katsayılarını incelediği çalışmasında en iyi beta tahminlerini Kalman filtresi yaklaşımının sunduğunu fakat SV modelinin de standart EKK (En küçük kareler, EKK) ve EGARCH (Exponential GARCH) modellerinden daha iyi bir performans sergilediğini belirtmiştir. Göktaş ve Hepsağ (2016) 2009-2014 dönemini dikkate alarak BIST100 endeksinin volatilite özelliklerini simetrik ve asimetrik SV modelleri ile inceledikleri çalışmalarında BIST100 endeksi için asimetrik tepkinin geçerli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmanın amacı BIST100 endeksinin volatilitelerinin asimetrik stokastik volatilite modeli ile modellenmesidir. Ç-

lişmanın literatüre katkısı şu şekilde ifade edilebilir: Öncelikle, daha önce belirtildiği gibi, henüz ulusal yazında bu konuda oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle bu alanda ulusal yazında bir boşluk olduğu ifade edilebilir. İkinci olarak, bu çalışmada SV modeli asimetrik yapıyı ve kalın kuyruk dağılımını dikkate alacak şekilde tahmin edilmiştir. Böyle bir yaklaşımın volatilitenin karakteristik özelliklerinin dikkate alınması açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Son olarak da analizler 2007-2008 küresel finans krizi dikkate alınarak yapılmıştır. Böylece, farklı dönemlerin BIST100 endeksinin volatilité dinamikleri üzerindeki etkisi incelenebilmektedir.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde veri ve metodoloji açıklanmakta, üçüncü bölümde bulgular sunulmakta son bölümde ise sonuç kısmı yer almaktadır.

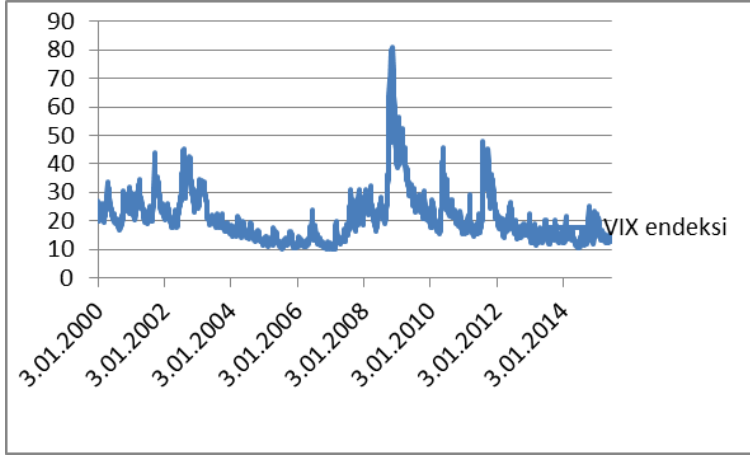
1. Veri ve Metodoloji

1.1. Veri

Çalışma, Ocak 2002 ile Ağustos 2016 dönemini kapsamakta ve günlük verilerden oluşmaktadır. Günlük getiri serileri BIST100 endeksinin logaritmik farkı alınarak hesaplanmıştır. Küresel finans krizinin etkilerini dikkate almak amacıyla çalışma kriz öncesi dönem, kriz dönemi ve kriz sonrası dönem olarak üç döneme ayrılmıştır. Literatürde, 2007-2008 küresel finans krizinin tam olarak ne zaman başlayıp ne zaman bittiğine dair bir uzlaşma bulunmamakla birlikte bu çalışmada diğerlerinin yanı sıra Dimitriou, Kenourgios ve Simos (2013) ile Stracca'nın (2015) çalışmalarında olduğu gibi Ağustos 2007 ile Aralık 2009 arası dönem küresel finans krizinin daha çok ABD merkezli olarak ortaya çıktığı dönem; Ocak 2010 ile Aralık 2012 arası dönem ise krizin daha çok Euro borç krizi olarak ortaya çıktığı dönem olarak tanımlanmıştır. Grafik 1'de gösterilen VIX endeksinin genel seyrinin de bu tarihleri destekler bulgular sunduğu ifade edilebilir. Bu nedenle çalışmada Ocak 2002 ile Temmuz 2007 arası dönem küresel finans krizi öncesi dönem, Ağustos 2007 ile Aralık 2012 arası dönem küresel finans krizi dönemi, Ocak 2013 ile Ağustos 2016 arası

dönem ise kriz sonrası dönem olarak tanımlanmıştır.

Grafik 1: Günlük VIX Endeksi Değerleri



Kaynak: www.finance.yahoo.com

1.2. Metodoloji

SV modelleri gözlem (observation) ve dönüşüm (translation) denklemlerinden oluşmaktadır. Standart bir ASV modelinin normal dağılım varsayımı altındaki genel yapısı Denklem (1)'deki gibi ifade edilebilir (Nakajima ve Omori, 2012: 3691; Krichene, 2003: 5):

$$\text{Gözlem denklemi: } y_t = \varepsilon_t \exp\left(\frac{h_t}{2}\right), t = 1, \dots, n$$

Dönüşüm denklemi:

$$h_{t+1} = \mu + \phi (h_t - \mu) + \eta_t, t = 0, 1, 2, \dots, n - 1$$

$$\varepsilon_t \sim N(0, 1)$$

$$\eta_t \sim N(0, \sigma^2)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_t \\ \eta_t \end{pmatrix} \sim N(0, \Sigma) \text{ ve } \Sigma = \begin{pmatrix} 1 & \rho\sigma \\ \rho\sigma & \sigma^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Burada, y_t ilgili finansal varlığın getirisini; h_t ; $h_t \sim (0, \sigma^2/1 - \phi^2)$ olacak şekilde ilgili finansal varlığın getirisinin gözlemlenemeyen logaritmik volatilité değerini; ϕ volatilité kalıcılığı parametresini; μ logaritmik volatilitenin şartsız (unconditional) ortalama değerini; ε_t ve η_t sırasıyla gözlem ve geçiş denklemlerinin tesadüfi hata terimlerini (random error

terms); ρ asimetri parametresini; σ^2 ise logaritmik volatilitenin değişkenliğini bir diğer ifade ile logaritmik volatilitenin volatilitelerini ifade etmektedir. Burada, volatilitenin logaritmik olarak modellenmesinin temel nedeni volatiliteler değerlerinin pozitif olmasının sağlanmasıdır. Ayrıca, geçiş denkleminde volatilitenin durağan ve birinci dereceden otoregresif (AR (1)) bir süreç izlediği varsayıldığından $\phi < 1$ olması beklenmektedir.

Fakat, finansal literatürde yaygın bir şekilde finansal varlıkların dağılımının standart normal dağılıma uymadığı aksine kalın kuyruk (fat tail) sorunu içerdiği ifade edilmektedir. Ayrıca, kalın kuyruk dağılımını dikkate alan modeller sapan değerlere karşı da daha dirençli olabilmektedir (Jacquier, Polson ve Rossi, 2004: 190). Bu nedenlerle bu çalışmada ASV modeli Omori vd.'nin (2007) çalışmalarında olduğu gibi log-normal dağılım varsayımı altında tahmin edilmiştir. ASV modelinin log-normal dağılım varsayımı altındaki genel yapısı Denklem (2)'deki gibi ifade edilebilir (Omori vd., 2007) :

$$\text{Gözlem denklemi: } y_t = \sqrt{\lambda_t} \varepsilon_t \exp\left(\frac{h_t}{2}\right), t = 1, \dots, n$$

Dönüşüm denklemi:

$$h_{t+1} = \mu + \phi (h_t - \mu) + \eta_t, t = 0.1, 2, \dots, n - 1 \quad (2)$$

Burada, λ_t , i.i.d özelliğine sahip ölçek karışım değişkenini (scale mixture variable) ifade etmektedir. Bu değişken Denklem (3)'teki gibi tanımlanabilir:

$$\log \lambda_t \sim N(-0.5 \tau^2, \tau^2) \quad (3)$$

Böylece, $\sqrt{\lambda_t} \varepsilon_t$ log-normal dağılıma sahip olmaktadır. Ayrıca, burada, τ^2 ; $\tau^2 \sim \text{Gamma}(1, 1)$ olarak tanımlanmaktadır. Böylece, Denklem (4)'e ulaşılmaktadır:

$$y_t = \varepsilon_t \exp\left(\frac{h_t}{2}\right), t = 1, \dots, n$$

$$h_t = h_{t+1}^* + \lambda_t$$

$$h_{t+1}^* = \mu + \phi (h_t^* - \mu) + \eta_t, t = 0.1, 2, \dots, n - 1 \quad (4)$$

Burada,

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_t \\ \eta_t \\ \lambda_t \end{pmatrix} \sim N \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.5\tau^2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & \rho\sigma & 0 \\ \rho\sigma & \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 & \tau^2 \end{pmatrix} \right)$$

olmaktadır.

Fakat, SV modellerinin tahmini standart GARCH modellerinin tahminine göre oldukça karmaşık bir süreç izleyebilmektedir. Bu durum SV modelleri için olabilirlik fonksiyonunun (likelihood function) elde edilmesinde karşılaşılan sorunlardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada literatürün geneli ile uyumlu bir şekilde SV modelinin tahmininde Bayesyen yaklaşımına dayalı MCMC algoritmasından yararlanılmıştır. Bu yöntem SV modelinin etkin bir şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır (Omori vd, 2007; Kim vd., 1998; Jacquier, Polson ve Rossi, 2004; Yu, 2005).

Fakat, ASV modelinin Bayesyen yaklaşımına dayalı olarak MCMC algoritması ile tahmin edilebilmesi için öncelikle tahmin edilecek model parametrelerinin her biri için dağılım varsayımlarının (prior distributions) ve başlangıç değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada literatürle uyumlu bir şekilde (örneğin bkz: Nakajima ve Omori ,2009; Nakajima, 2008; Omori vd., 2007; Nakajima ve Omori , 2012; Kim vd., 1998; Yu, 2005) Tablo 1 ve 2'de gösterilen başlangıç değerlerinden ve dağılım varsayımlarından yararlanılmıştır¹.

Tablo 1: ASV Model Parametreleri için Kullanılan Başlangıç Değerleri

Parametre	Başlangıç değerleri
ϕ	0.97
σ	0.10
$\beta \equiv \exp(\mu / 2)$	0.01
ρ	-0.40
τ	0.6

¹ Tablo 1'de doğrudan μ yerine $\beta \equiv \exp(\mu / 2)$ değerinin kullanılması bu tip bir tanımlamanın finansal açıdan daha yorumlanabilir olmasından kaynaklanmaktadır (Kim, Shephard ve Chip, 1998: 362).

Tablo 2: Model Parametreleri için Kullanılan Dağılım Varsayımları

Parametre	Dağılım varsayımı	Dağılım parametrelerinin tanımlanması
$(\phi + 1)/2$	Beta dağılımı	\sim Beta (20, 1.5)
σ^2	Inverse-gamma dağılımı	\sim Inverse-Gamma (2.5, 0.025)
ρ	Üniform dağılım	\sim U (-1, 1)
μ	Standart normal dağılım	\sim N (-10, 1)
τ^2	Gamma dağılımı	\sim Gamma (1, 1)

2. Bulgular

Çalışmada öncelikle BIST100 endeksi getirilerinin temel istatistik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kullanılan betimleyici istatistikler ve birim kök testi sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde her üç dönem için de BIST100 endeksi getirilerinin durağan olduğu, getiri dağılımının sola çarpık olduğu ve getiri serilerinin basıklık değerlerinin de 3'ten belirgin bir şekilde fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu doğrultu da Jarque-Bera test istatistiği de BIST100 endeksi getiri serisinin standart normal dağılıma uyduğunu ifade eden H_0 hipotezini %5 anlamlılık düzeyinde reddetmektedir. Ljung-Box $Q^2(k)$ test istatistiği de BIST100 endeksi getiri serilerinin değişen varyans sorunu içerdiğini göstermektedir. Bu bulgular BIST100 endeksinin volatilitésinin modellenmesinde değişen varyans özelliğini dikkate alan ve kalın kuyruk özelliği taşıyan dağılım varsayımlarının kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olabileceğine işaret etmektedir.

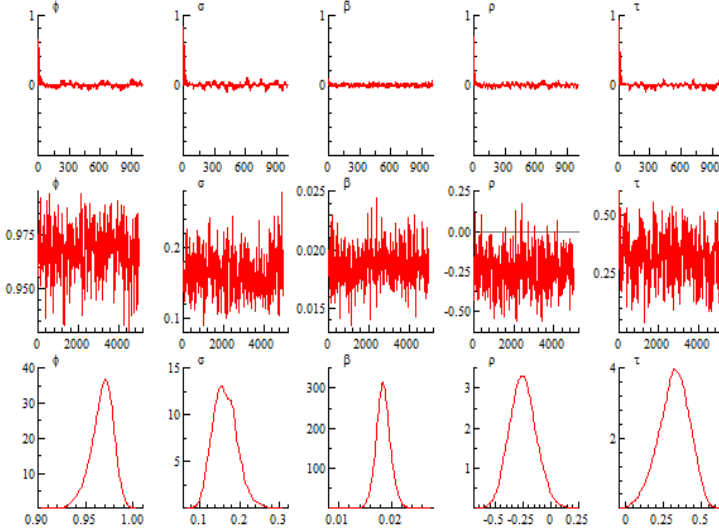
Tablo 3: BIST100 Endeksi Getirilerine İlişkin Betimleyici İstatistikler ve Birim Kök Testleri (%)

	Kriz öncesi dönem	Kriz dönemi	Kriz sonrası dönem
ADF	-37.545*[0.000]	-35.0225*[0.000]	-31.227*[0.000]
PP	-37.568*[0.000]	-35.009*[0.000]	-31.2124*[0.000]
Ortalama	0.0946	0.0288	-0.0029
Std. Sapma	2.1070	1.8475	1.5410
Çarpıklık	-0.0603	-0.1028	-0.6034
Basıklık	6.9464	6.6608	7.5228
Jarque Bera	908.03*[0.000]	762.94*[0.000]	835.38*[0.000]
Q ² (6)	108.88*[0.000]	209.02*[0.000]	37.615*[0.000]
Q ² (12)	220.8*[0.000]	419.31*[0.000]	54.160 *[0.000]

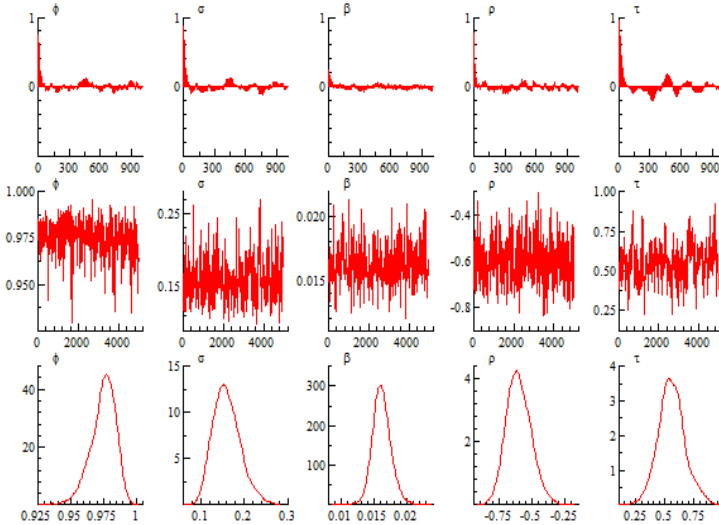
*, %5 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir. Parantez içeri-
sindeki değerler olasılık değerleridir. Logaritmik getiri serileri
trend bileşeni içermediğinden ADF (Augmented Dickey Ful-
ler, ADF) ve PP (Phillips-Peron, PP) birim kök testleri trendsiz
model spesifikasyonu dikkate alınarak tahmin edilmiştir.

ASV modelinin tahmin sonuçlarına geçmeden önce bu
modelin tahmininde kullanılan MCMC algoritmasının (tahmin
yönteminin) etkinliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu
amaçla sırasıyla Grafik 2, 3 ve 4'te her üç dönem için ASV
modelinin parametrelerinin hangi değer etrafında yoğunlaştı-
ğını gösteren (posterior densities) yoğunluk dağılım grafikleri,
parametrelerin aldığı değerleri gösteren örneklem patikası ve
otokorelasyon fonksiyonu sunulmuştur. Burada, tahmin yön-
teminin etkin sonuçlar ürettiğinin söylenebilmesi için her bir
parametre için otokorelasyon fonksiyonunun hızlıca azalması
ve örneklem patikasındaki değerlerin istikrarlı bir seyir izle-
mesi gerekmektedir.

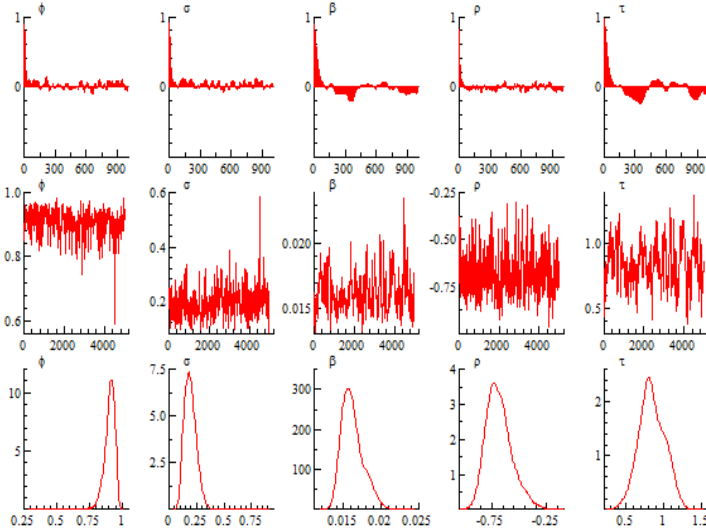
Grafik 2: Kriz Öncesi Dönemi için Otokorelasyon, Örneklem Patikası ve Parametre Yoğunluk Dağılımı



Grafik 3: Kriz Dönemi için Otokorelasyon, Örneklem Patikası ve Parametre Yoğunluk Dağılımı



Grafik 4: Kriz Sonrası Dönem için Otokorelasyon, Örneklem Patikası ve Parametre Yoğunluk Dağılımı



Grafik 2, 3 ve 4 incelendiğinde² her üç durumda da ilgili koşulların sağlandığı görülmektedir. Bu da çalışmada kullanılan örnekleme yönteminin (sampling method) birbiri ile korelasyonlu olmayan etkin örnekleme değerleri ürettiği anlamına gelmektedir (Nakajima ve Omori, 2009).

Parametre tahmin sonuçlarına gelince, kriz öncesi dönem için tahmin edilen ASV modeline ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Tablo 4) tüm parametrelerin istatistiki olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, ϕ parametresinin (posterior mean) ortalama değeri 0.9672 çıkmaktadır. Bu da BIST100 endeksi için küresel finans krizi öncesi dönemde yüksek bir volatilitate kalıcılığının söz konusu olduğunu göstermektedir. ϕ parametresinin 1'den küçük çıkması ise durağanlık koşulunun sağlandığı dolayısıyla volatilitenin ortalama değerine dönme eğilimi içerisinde olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle,

² Her dönem için birinci sıradaki grafikler otokorelasyon fonksiyonunu, ikinci sıradaki grafikler örnekleme patikasını, üçüncü sıradaki grafikler ise parametre yoğunluk dağılımlarını göstermektedir.

BIST100 endeksi volatilitesinde t-1 döneminde yaşanacak bir şokun BIST100 endeksinin t dönemindeki volatilitesi üzerinde uzun süre etkili olabileceği ama bu şokun etkisinin belli bir süre sonra kendi kendine sistemin dışına çıkacağı ifade edilebilir³.

ρ parametresinin (posterior mean) ortalama değeri -0.2505 çıkmaktadır. Bu da asimetrik tepkinin BIST100 endeksi için geçerli olduğu anlamına gelmektedir. Bir diğer ifade ile BIST100 endeksinin getirisindeki bir artış BIST100 endeksi volatilitesini azaltırken BIST100 endeksi getirisindeki bir azalış BIST100 endeksi volatilitesini artırmaktadır. Ayrıca, BIST100 endeksi getirisindeki bir azalışın volatilité üzerindeki artırıcı etkisinin BIST100 endeksi getirisindeki aynı büyüklükteki bir artışın volatilitéyi azaltıcı etkisinden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. ρ parametresinin %95 güven aralığında (credible confidence interval) aldığı değerlerin tamamının negatif olması da BIST100 endeksi için güçlü bir asimetrik tepkinin söz konusu olduğu anlamına gelmektedir.

σ parametresinin (posterior mean) ortalama değeri 0.1641 çıkmaktadır. Bu da göreceli olarak düşük bir değerdir. Bu nedenle, BIST100 endeksi için volatilité değişkenliğinin düşük bir düzeyde olduğu ifade edilebilir. Tüm bu sonuçlara ilaveten dağılım parametresinin τ de istatistiki olarak anlamlı çıkması kullanılan ASV modelinin BIST100 endeksinin volatilité sürecini modellemede başarılı bir model olduğu anlamına gelmektedir.

³ ASV model parametrelerinin sunulduğu tabloların tamamında etkinsizlik faktörüne (inefficiency factor) de yer verilmiştir. Etkinsizlik faktörü MCMC algoritmasının etkinliğini ölçmektedir. Parametrelerin etkinsizlik faktörü ne kadar düşük ise MCMC algoritmasının o kadar etkin olduğu ifade edilebilir. Normalde etkinsizlik faktörü farklı yaklaşımlara dayalı olarak kullanılan MCMC algoritmalarının hangisinin daha etkin olduğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada MCMC algoritmasının tahmininde birbirinden farklı yöntemler kullanılmadığından etkinsizlik faktörüne ihtiyaç duyulmayabilir. Fakat, Türk finans sektörü üzerine yapılabilecek daha sonraki çalışmalarda kullanılacak farklı yaklaşımların etkinliklerinin karşılaştırılabilmesi için çalışmada bu değerler de sunulmuştur. Nitekim, literattürdeki genel uygulama da bu şekildedir.

Tablo 4: Küresel Finans Krizi Öncesi Dönem için ASV Tahmin Sonuçları

Parametreler	Ortalama	Std. Sapma	%95 L..alt sınır	%95 U..üst sınır	Etkinsizlik faktörü
ϕ	0.9673	0.0117	0.9414	0.9869	9.92
σ	0.1641	0.0297	0.1129	0.2279	14.32
β	0.0185	0.0014	0.0158	0.0214	1.27
ρ	-0.2505	0.1192	-0.4757	-0.0117	5.00
τ	0.3211	0.1003	0.1080	0.5005	14.67

Küresel finansal kriz dönemi için ASV tahmin sonuçlarına bakıldığında (Tablo 5) öncelikle yine tüm model parametrelerinin istatistiki olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, ϕ (0.9747) ve σ (0.1601) parametrelerinde önemli bir değişimin söz konusu olmadığı gözlemlenirken, ρ parametresinin değerinde kriz öncesi döneme göre mutlak değer olarak belirgin bir artış (-0.2505'ten -0.6031'e) olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut bulgular, küresel finans krizinin yaşandığı dönemde küresel bazda volatilitenin artmasına rağmen BIST100 endeksi için volatilitenin kalıcılığı parametresinin değerinin pek değişmediğine bu nedenle t-1 dönemindeki bir volatilitenin t dönemindeki volatilitenin üzerindeki etkisinin kriz öncesi dönem ile benzer olduğuna işaret etmektedir. σ parametresinin aldığı değer de yine küresel finans krizinin söz konusu olduğu bir dönemde BIST100 endeksinin volatilitenin değişkenliğinin düşük düzeyde kalmaya devam ettiğine işaret etmektedir. ρ parametresinin aldığı değer ise küresel finans krizinin asıl etkisinin asimetri parametresi üzerinde olduğunu göstermektedir. Bir diğer ifade ile küresel finans krizi döneminde BIST100 endeksindeki fiyat hareketleri ile BIST100 endeksi volatilitesi arasındaki korelasyonun güçlendiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu dönemde BIST100 endeksi getirisindeki bir azalışın (artışın) BIST100 endeksi volatilitelerini kriz öncesi döneme göre çok daha fazla arttırdığı (azalttığı) ifade edilebilir.

Tablo 5: Küresel Finans Krizi Dönemi için ASV Tahmin Sonuçları

Parametreler	Ortalama	Std. Sapma	% 95 L..alt sınır	%95 U..üst sınır	Etkinsizlik faktörü
ϕ	0.9747	0.0097	0.9527	0.9899	17.06
σ	0.1601	0.0309	0.1080	0.2298	14.10
β	0.0162	0.0014	0.0135	0.0191	6.70
ρ	-0.6031	0.0930	-0.7717	-0.4097	8.45
τ	0.5558	0.1139	0.3364	0.8025	24.59

Küresel finans krizi sonrası döneme bakıldığında (Tablo 6) ise diğer dönemlerde olduğu gibi bu dönemde de tüm model parametrelerin istatistiki olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca σ ve ρ parametrelerinin değerlerinde mutlak değerce artışlar söz konusu olurken, ϕ parametresinin değerinde belirgin bir azalma gözlemlenmektedir. ϕ parametresinin değerindeki azalma küresel finans krizi döneminin etkilerinin geride kalması ile birlikte t-1 döneminde BIST100 endeksi volatilitesinde yaşanan bir şokun t dönemindeki BIST100 endeksi volatilitesi üzerindeki etkisinin kriz dönemine göre göreceli olarak daha kısa süreli etkiler doğurduğu anlamına gelmektedir

Tablo 6: Küresel Finans Krizi Sonrası Dönem için ASV Tahmin Sonuçları

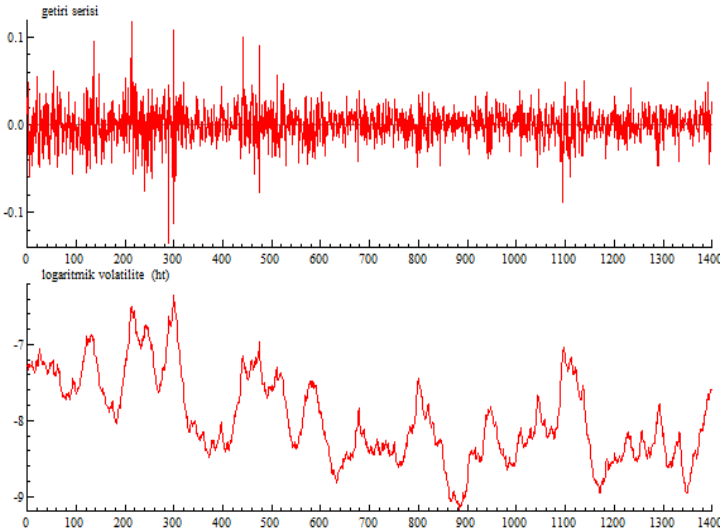
Parametreler	Ortalama	Std. Sapma	% 95 L..alt sınır	% 95 U..üst sınır	Etkinsizlik faktörü
ϕ	0.9058	0.0435	0.8133	0.9646	38.24
σ	0.1953	0.0584	0.1063	0.3130	48.93
β	0.0162	0.0014	0.0139	0.0194	28.40
ρ	-0.6834	0.1171	-0.8721	-0.4171	6.06
τ	0.8454	0.1717	0.5171	1.1744	31.01

σ parametresinin değerindeki artış kriz sonrası dönemde BIST100 endeksinin volatilitesindeki değişkenliğin arttığı anlamına gelmektedir. ρ parametresinin değerinde ise mutlak değerce ortaya çıkan belirgin artış, kriz sonrası dönemde BIST100 endeksindeki fiyat hareketleri ile BIST100 endeksi vo-

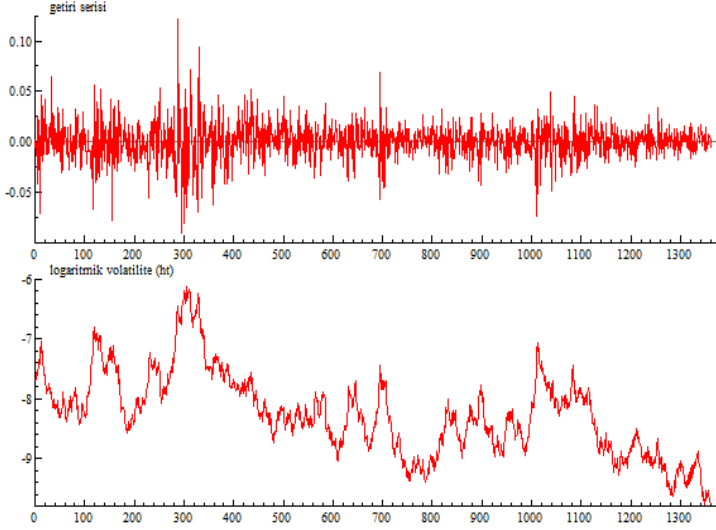
latilitesi arasındaki asimetrik ilişkinin daha da güçlendiği anlamına gelmektedir.

Çalışmada her üç dönem için ASV modeline bağlı olarak elde edilen logaritmik volatilite değerleri de Grafik 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir. Volatilite ile getiri serisi arasındaki ilişkiyi gözlemleyebilmek için de her üç dönem için getiri serilerine de yer verilmiştir. Grafik 5, 6 ve 7'de görüldüğü gibi volatilite zamanla değişmekte ve yüksek volatilite değerlerinin söz konusu olduğu dönemlerde hisse senedi getirilerinde yüksek oranlı değişimler yaşanmakta düşük volatilite değerlerinin söz konusu olduğu dönemlerde ise hisse senedi getirilerinde düşük oranlı değişimler söz konusu olmaktadır. Ayrıca, volatilitenin kümelenmesi olgusu da gözlemlenebilmektedir. Çünkü, yüksek volatilitenin söz konusu olduğu dönemleri yine yüksek volatilite dönemlerinin düşük volatilitenin söz konusu olduğu dönemleri ise yine düşük volatilite dönemlerinin takip ettiği anlaşılmaktadır. Volatilitenin bu karakteristik özelliklerine ilaveten, her üç dönem için de belli dönemlerde volatilitenin oldukça yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmektedir.

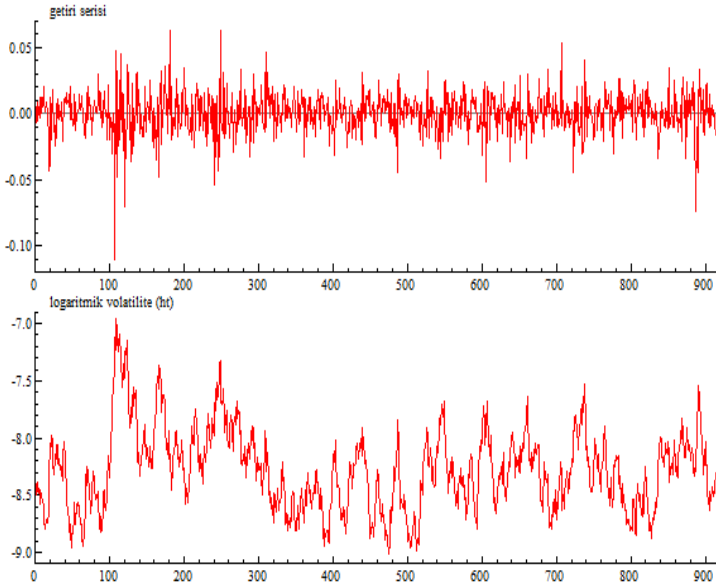
Grafik 5: Küresel Finans Krizi Öncesi Dönem için Getiri ve Logaritmik Volatilite Serileri



Grafik 6: Küresel Finans Krizi Dönemi için Getiri ve Logaritmik Volatilite Serileri



Grafik 7: Küresel Finans Krizi Sonrası Dönem için Getiri ve Logaritmik Volatilite Serileri



Bunun piyasa beklentisinde önemli değişimlere yol açan

bilgi akışının bir sonucu olduğu ifade edilebilir. Ayrıca, ASV modeli tarafından sunulan volatilite değerlerinin genel seyri hisse senedi piyasalarının genel durumu ve piyasaya hangi dönemlerde gelen bilgilerin volatilite üzerinde daha fazla etkili olduğu konusunda da ilave bilgiler sunmaktadır (Krichene, 2003: 17-18).

Sonuç

Volatilitenin modellenmesi finansal ekonometrinin en önemli konularından birini oluşturmaktadır. Bu amaçla literatürde ve uygulamada GARCH modelleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat, GARCH modelleri volatiliteyi gözlemlenebilen bir değişken olarak tanımlamakta ve bu nedenle de volatiliteyi geçmiş dönem getirisinin ve volatilitenin deterministik bir fonksiyonu olarak modellemektedir. Stokastik volatilite modelleri ise volatiliteyi gözlemlenemeyen stokastik bir süreç olarak tanımlamaktadır. Ayrıca, SV modellerinin GARCH modellerine nazaran daha gerçekçi ve esnek bir model olduğu ve SV modellerinin genel yapısının finans teorilerinin genel yapısı ile daha uyumlu olduğu literatürde yaygın bir şekilde ifade edilmektedir. Fakat, konunun bu önemine rağmen ulusal yazında henüz bu konuda oldukça sınırlı sayıda çalışma olduğu gözlemlenmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada Omori vd. (2007) tarafından geliştirilen asimetrik SV modeli kullanılarak BIST100 endeksinin volatilitesi modellenmiştir. Çalışmada, 2007-2008 küresel finans krizinin volatilite üzerindeki etkileri de dikkate alınmıştır. Model tahmininde Bayesyen yaklaşımına dayalı MCMC algoritmasından yararlanılmıştır. Finansal zaman serilerinin karakteristik özelliklerini daha iyi modelleyebilmek için de ASV modeli kalın kuyruk özelliğini dikkate alan log-normal dağılım varsayımı ile tahmin edilmiştir. Çalışma bulguları, asimetrik tepkinin BIST100 endeksi için geçerli olduğuna işaret etmektedir. Bu durum, BIST100 endeksi için getirideki bir azalışın volatiliteyi artırdığı getirideki bir artışın ise volatiliteyi azalttığı fakat getirideki azalışın volatilite üzerindeki etkisi-

nin getirideki artışa göre daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, volatilité kalıcılığı parametresinin 1'den küçük ama 1'e yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu durum, BIST100 endeksi için t-1 döneminde yaşanan bir volatilité şokunun t dönemindeki volatilité üzerinde uzun süre etkili olabileceği anlamına gelmektedir. Bulgular, 2007-2008 küresel finans krizinin asıl etkisinin asimetri parametresi üzerinde olduğuna işaret etmektedir. Bu durum, küresel finans krizi döneminde BIST100 endeksindeki fiyat hareketleri ile BIST100 endeksi volatilitesi arasındaki korelasyonun güçlendiği anlamına gelmektedir. Bir diğer ifadeyle, bu dönemde BIST100 endeksi getirisindeki bir azalışın BIST100 endeksi volatilitesini daha fazla arttırdığı ifade edilebilir.

Çalışma bulguların çeşitli açılardan önemli olduğu düşünülmektedir. Öncelikle, genel olarak ifade etmek gerekirse, mevcut bulguların ASV modellerinin Türk hisse senedi piyasalarına uygulanabilirliği, Türk hisse senedi piyasalarının volatilité dinamiklerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve 2007-2008 küresel finans krizinin Türk hisse senedi piyasalarının volatilité dinamikleri üzerindeki etkilerinin analizi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, bulguların piyasaya dönük bilgi akışının volatilité üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi açısından da ilave bilgiler sunduğu düşünülmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi literatürde SV modellerinin GARCH modellerinden daha iyi bir performans sergilediğini ifade eden çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma bulguları da ASV modelinin BIST100 endeksinin volatilité dinamiklerinin modellenmesinde kullanılabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle finansal kurumlar ve risk yöneticileri açısından opsiyonların fiyatlanması, piyasa riski analizi ve hedging işlemleri gibi Türk hisse senedi piyasalarına dönük analizlerde ASV modelinin kullanılabileceği ifade edilebilir. Yatırımcılar açısından bakıldığında ise özellikle asimetri parametresinin yüksek olduğu dönemlerde finansal yatırımlardan beklenen optimal risk-getiri bileşiminin elde edilmesinin göreceli olarak daha zor bir

hale geldiği ifade edilebilir. Çünkü, bu dönemlerde piyasaya gelen yeni bilgi akışı sonrasında BIST100 endeksi getirilerindeki değişimlerin göreceli olarak daha yüksek volatilitelere değerlerinin (belirsizliklerin) oluşmasına yol açtığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu tür dönemlerde özellikle riskten kaçan yatırımcıların daha temkinli bir yatırım stratejisi uygulamasının önemli olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada ASV modeli hisse senedi piyasalarına uygulanmıştır. Bu alanda yapılabilecek daha sonraki çalışmalarda ASV modelleri diğer önemli finansal varlıklara da uygulanabilir veya ASV modellerinin volatilitelere öngörü performansları ülkemizde de yaygın bir şekilde kullanılan GARCH modellerinin volatilitelere öngörü performansları ile karşılaştırılabilir.

Kaynaklar

- Abiyev, V. (2015), "Time-varying beta and its modeling techniques for Turkish industry portfolio", *İktisat İşletme ve Finans*, 30(352), 79-108.
- Assaf, A. (2017), "The stochastic volatility model, regime switching and Value-at-Risk (VaR) in international equity markets", *Journal of Mathematical Finance*, 7, 491-512.
- Barndorff-Nielsen, O.E. ve Shephard, N. (2006), "Impacts of jumps on returns and realised variances: Econometric analysis of time-deformed Levy processes", *Journal of Econometrics*, 131, 217-252.
- Broto, C. ve Ruiz, E. (2004), "Estimation methods for stochastic volatility models: A survey", *Journal of Economic Surveys*, 18, 613-649.
- Carnero, A., Pena, D. ve Ruiz, E. (2004), "Persistence and kurtosis in GARCH and stochastic volatility models", *Journal of Financial Econometrics*, 2 (2), 319-342.
- Chan, J.C.C. ve Grant, A. L. (2016), "Modeling energy price Dynamics: GARCH versus stochastic volatility", *Energy Economics*, 54, 182-189.
- Dimitrakopoulos, S. (2017), "The semiparametric asymmetric stochastic

- tic volatility model with time-varying parameters: The case of US inflation", *Economic Letters*, 155, 14-18.
- Dimitriou, D., Kenourgios, D., Simos, T. (2013), "Global financial crisis and emerging stock market contagion: A multivariate FIAPARCH-DCC approach", *International Review of Financial Analysis*, 30, 46-56.
- Göktaş, Ö. ve Hepsağ, A. (2016), " BIST100 endeksinin volatil davranışlarının simetrik ve asimetrik stokastik volatilité modelleri ile Analizi", *Ekonomik Yaklaşım*, 27 (99), 1-15.
- Jacquier, E., Polson, N.G. ve Rossi, P.E. (2004), "Bayesian Analysis of Stochastic Volatility Models with fat-tails and correlated errors", *Journal of Econometrics*, 122, 185-212.
- Jensen, M.J. ve Maheu, J.M. (2014), " Estimating a semiparametric asymmetric stochastic volatility model with Dirichlet process mixture", *Journal of Econometrics*, 178, 523-538.
- Kim, S., Shephard, N. ve Chib, S. (1998), " Stochastic Volatility: Likelihood inference and comparison with ARCH models", *Review of Economic Studies*, 65, 361-393.
- Krichene, N. (2003), "Modeling stochastic volatility with application to stock returns", *IMF Working Paper*, No:03/125. <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/30/L>.
- Mariani, M.C., Bhuiyan, Md. A.M. ve Tweneboah, O.K.. (2018), "Estimation of stochastic volatility by using Ornstein-Uhlenbeck type models", *Physica A*, 491, 167-176.
- Men, Z., McLeish, D., Kolkiewicz, A.W. ve Wirjanto, T.S. (2017), "Comparison of asymmetric stochastic volatility models under different correlation structures", *Journal of Applied Statistics*, 44 (8), 1350-1368.
- Nakajima, J. (2008), " EGARCH and stochastic volatility: Modeling jumps and heavy-tails for stock returns", *IMES Institute for Monetary and Economic Studies*, Bank of Japan, No: 2008-E-23. <https://www.imes.boj.or.jp/research/abstracts/english/08-E-23.html>.

- Nakajima, J. ve Omori, Y. (2009), "Leverage, heavy-tails and correlated jumps in stochastic volatility models", *Computational Statistics and Data Analysis*, 53, 2335-2353.
- Nakajima, J. ve Omori, Y. (2012), "Stochastic volatility model with leverage and asymmetrically heavy-tailed error using GH skew Student's t-distribution", *Computational Statistics and Data Analysis*, 56, 3690-3704.
- Omori, Y., Chib, S., Shephard, N. ve Nakajima, J. (2007), "Stochastic volatility with leverage: Fast and efficient likelihood inferences", *Journal of Econometrics*, 140, 425-449.
- Özün, A. ve Türk, M. (2008), "Döviz kurlarının öngörüsünde stokastik oynaklık modelleri", *İktisat İşletme ve Finans*, 23 (265), 50-67.
- Stracca, L. (2015), "Our currency, your problem? The Global effects of the Euro debt crisis", *European Economic Review*, 74, 1-13.
- Wang, J.J.J., Chan, J.S.K. ve Choy, S.T.B. (2011), "Stochastic volatility models with leverage and heavy-tailed distributions: A Bayesian approach using scale mixtures", *Computational Statistics & Data Analysis*, 55(1), 852-862.
- Yalçın, Y. (2007), "Stokastik oynaklık modeli ile İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda Kaldıraç etkisinin incelenmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 22(2), 357-365.
- Yu, J. (2005), "On leverage in a stochastic volatility model", *Journal of Econometrics*, 127, 165-178.