

Nordik Ülkeleri Spot Elektrik Piyasalarında Şokların Geçiciliği: Dalgacık Durağanlık Yaklaşımı¹

Selim Yıldırım

Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi
selimy@anadolu.edu.tr

S. Fatih Kostakoğlu

Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi
sfkostakoglu@anadolu.edu.tr

Fatih Temizel

Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi
fthemizel@anadolu.edu.tr

Nordik Ülkeleri Spot Elektrik Piyasalarında Şokların Geçiciliği: Dalgacık Durağanlık Yaklaşımı

Özet

Bu çalışmada İskandinav elektrik piyasasında büyük paya sahip olan Danimarka, Finlandiya, İsveç ve Norveç'e ait on üç spot piyasada elektrik fiyatlarının herhangi bir şok karşısındaki davranışı Nason Durağanlık Testiyle incelenmiştir. Kullanılan seriler günlük sıklıkta olup 22.04.2013 tarihinden 09.02.2016 tarihine kadar bin yirmi dört gözlem içermektedir. SE1, SE2, SE3 VE SE4 İsveç'teki spot elektrik fiyatlarını; FI Finlandiya'da, DK1, DK2 Danimarka'daki ilgili spot elektrik fiyatlarını ifade etmektedir. Ayrıca Oslo, Kr.sand, Bergen Molde, Tr.heim ve Tromsa Norveç'teki spot elektrik fiyatlarını göstermektedir. Analiz sonucunda elde edilen bulgular serilerin durağan olmadığını ve şokların seri üzerinde kalıcı etkisi olduğu yönündedir. Nason testinin ampirik bulguları, tüm serilerde ekonomik şokun kalıcı olduğu bölgelerin mevcut olduğu yönündedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Piyasası, Dalgacık Durağanlık Yaklaşımı, Nason Testi

Transience of Shocks in Nordic Spot Electricity Markets: Wavelet Stationarity Approach

Abstract

In this study, behavior of spot electricity prices against the shock in Denmark, Finland, Sweden, Norway which have a large share of the Nordic electricity market are investigated. The series include 1024 observations as a daily frequency between 22.04.2013 and 09.02.2016. SE1, SE2, SE3 and SE4; FI; DK1, DK2 display spot electricity prices respectively in Sweden, Finland and Denmark. Also; Oslo, Kr.sand, Bergen Molde, Tr.heim ve Tromsa show spot electricity prices in Norway. The findings at the end of analysis indicate that series are not stationary and shocks have permanent impact on the series. Empirical findings of the Nason test shows regions that economics shocks have permanent impact on the series.

Keywords: Electricity Market, Wavelet Stationarity Approach, Nason Test

Kabul Tarihi / Accepted: 02.08.2016

1. Giriş

Elektrik depolanamayan bir üründür. Bu özelliğinden dolayı, arz ve talep miktarlarının belirlenmesi önemli bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrik üretiminin aşırı gerçekleşmesi onun spot piyasada düşük fiyattan satılmasına neden olur ve bu durum maliyet açısından değerlendirildiğinde bir sorun yaratabilir.

¹ Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenen 1508E573 Numaralı ve "İskandinav Elektrik Piyasalarındaki Spot ve Future Fiyatların Ekonomik Dinamikleri ve Konjonktürel İlişkisi" başlıklı projeden türetilmiştir.

Benzer şekilde talebin doğru olarak öngörülememesi durumunda aşırı talebin ortaya çıktığı durumda gerekli ihtiyacın yüksek fiyattan satın alınmasına neden olur. Dolayısıyla elektrik piyasasının istikrarlı seyretmesi önemlidir. Aksi takdirde ortaya çıkacak şokların ekonömi üzerinde olumlu veya olumsuz etkiler gündeme gelmektedir. Bu koşullar altında ortaya çıkan en makul çözümlerden birisi Elektrik Borsalarıdır. Bu çalışmada özgün nitelikleri nedeniyle İskandinav Elektrik piyasası inceleme konusu olarak ele alınmıştır.

İskandinav elektrik piyasasının temeli 1972 yılında Samkjöringen isiminde Norveç'te faaliyete geçen spot piyasa kabul edilmektedir. Bu piyasasının ortaya çıkması ise Norveç'te kabul edilen ve 1991 yılında uygulamaya geçen Enerji Yasası ile olmuştur (Sağlam, 2012: 23). İskandinav deregülasyon süreci ile birlikte 1993 yılında Nordik Elektrik Borsası bir diğer adıyla Nord Pool kurulmuştur. Nord Pool'un spot piyasası ise Elspot'tur (Hjalmarsson, 2000:3). Nord Pool'a dahil olan ülkeler; Danimarka, Finlandiya, İsveç ve Norveç'tir. Ayrıca bu ülkeler Nordik ülkeleri olarak tanımlanmaktadır (Bergman, 2002: 51). Nordik ülkeleri tarafından oluşan elektrik piyasası rekabet düzeyi en yüksek piyasalardan biridir (Sağlam, 2012: 23). Nord Pool elektrik piyasasında Nordik ülkeleri serbest ticaret gerçekleştirebilmektedir. Yani ülkeler arasında elektrik ticareti önünde bir engel bulunmamaktadır. Bu durum piyasada faaliyet gösteren enerji şirketlerini maliyetleri düşürme yönünde teşvik etmektedir (Amundsen, vd., 1998: 2). Çalışmada seçilen önde gelen İskandinav ülkeleri elektrik piyasası, diğer ülke veya ülke gruplarına göre en başarılı olmasından dolayı ele alınmıştır.

2. Literatür

Literatüre bakıldığında spot elektrik fiyatları üzerine yapılan birçok çalışma görülmektedir. Bunlardan çalışmanın kapsamı ile uyumlu olması açısından Nord Pool piyasası üzerine olan önemli çalışmalara yer verilecektir. Weron vd. (2004), Nord Pool enerji borsasında oluşan spot fiyat serisinin özelliklerini ani yükselen difüzyon modeli (jump diffusion model) ile incelemiştir. Elde edilen bulgular bu piyasadaki spot fiyatların diğer piyasalardaki spot fiyatlarla benzer karaktere sahip olduğu sonucuna ulaştırmıştır. Bir diğer çalışmada; Weron vd. (2004), spot elektrik fiyatlarının modellenmesi hususunda literatürde birçok çalışma olduğunu ve ani yükselen difüzyon ve rejim geçişli modelin spot elektrik fiyatlarının dinamik karakterlerini açıklamada uygun olduğunu Nordik enerji piyasası için uygulamalı olarak ortaya koymuştur.

Koopman vd. (2007), Nord Pool elektrik piyasası ve Avrupa'daki diğer üç elektrik piyasasının günlük spot fiyatları için periyodik mevsimsel Reg-ARFIMA-GARCH

modelini kullanarak ampirik analiz gerçekleştirmiştir. Elde edilen bulgular, Noord Pool piyasasındaki hidro enerji fiyatlarındaki kısa dönemli hareketin haftalık depolanan su rezervi ve günlük elektrik tüketimi ile açıklanabileceğini ortaya koymaktadır. Botterud, Kristiansen ve Ilic (2010), Nord Pool elektrik piyasasına ilişkin olarak spot fiyatlar ve future fiyatlar arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Elde edilen bulgular, future fiyatların spot fiyatlardan yüksek olma eğiliminde olduğu yönündedir. Literatürdeki spot elektrik fiyatları üzerine diğer çalışmalar ise; Bierbrauer, vd. (2007); Janczura ve Weron (2010); Janczura, vd., (2013); Liebl (2013); Paraschiv, Fleten ve Schürle (2015) ..vb. şeklinde sıralanmaktadır.

3. Methodoloji

Durağanlık, bir zaman serisinin istatistiksel özelliklerinin zaman içinde değişmediğini ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile $E(X_t)$, $\gamma_0 = \text{Cov}(X_t, X_t) = \text{Var}(X_t)$ ve $\gamma_\tau = \text{Cov}(X_t, X_{t+\tau})$ seri boyunca sabit kalmaktadır. Sıklık bölgesinde ise X_t durağan sürecini $A(\omega)$ genlik (amplitude), $\{e^{it\omega}\}$ harmonik kompleks üsteller sistemi ve $dz(\omega)$ birimlik (orthonormal) artış süreci olmak üzere

$$\int_{-\pi}^{\pi} A(\omega) e^{i\omega t} dz(\omega) \quad (1)$$

biçiminde ifade edilebilir. Spektrum $f(\omega) = |A(\omega)|^2$ şeklinde hesaplanır ve otokovaryansın γ_τ Fourier dönüşüm çiftidir. Otokovaryans, genlik ve spektrum X_t serisinin zamandan bağımsız karakteristiğini yansıtmaktadır; başka bir deyişle bu istatistikler zaman bağlı değişim göstermemektedir.

Ekonomik zaman serileri ise karakteristik olarak zaman bağlı yapıya sahiptir. Başka bir deyişle ekonomik zaman serileri genelde durağan değildirler. Yerel durağanlık kavramı seri tümünden durağan olmasa da zamana bağlı bazı özellikleri dikkate alındığında durağan davranan serileri analiz etmek için geliştirilmiştir. Yerel durağanlık, denklem (1)'deki zamandan bağımsız $A(\omega)$ genlik fonksiyonunun açıkça zamana bağlı bir $A_t(\omega)$ fonksiyonuyla değiştirilmesiyle elde edilir. Genlik fonksiyonunun zamana bağlı yazılmasında ilk olarak Fourier dönüşümü kullanılmıştır. Bu tür süreçler ise Yerel Durağan Fourier (YDF) süreçleri olarak adlandırılmıştır. Yerel durağan süreçlerin Fourier dönüşümü bağlamında modellenmesi oldukça doğal bir uzantı olarak gelişmiştir. İlk olarak Dahlhaus (1997) tarafından önerilen bu yerel durağan Fourier (YDF) süreçleri yakın zamanda Dahlhaus ve Polonik (2006, 2009) çalışmaları ile geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise Nason vd. (2000) çalışmasında önerilen, Yerel Durağan Dalgacık (YDD) süreci ele

alınmaktadır. Ampirik analiz, YDD sürecini temel alan Nason'un (2013) öne sürdüğü durağanlık testi (bundan sonra Neson durağanlık testi olarak adlandırılacaktır) çerçevesinde gerçekleştirilecektir.

YDD süreci dalgacık dönüşümüne bağlıdır. Dalgacık dönüşümünün temeli ise dalgacık fonksiyonlarına dayanmaktadır. Dalgacıklar zamanın bir anında başlayan ve daha sonra sönen fonksiyonlardır (Fan ve Gencay, 2010). Başka bir deyişle genliği (amplitüt / oynama-genişliği) sıfırdan başlayıp artan ve daha sonra tekrar sıfıra dönen dalga benzeri salınımlara dalgacık denir (Salimath, 2011). Teknik olarak dalgacık fonksiyonu ψ reel değerli bir fonksiyondur ve integrali sıfır $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) d(t) = 0$ ve karesinin integrali birdir $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t)^2 d(t) = 1$. Dalgacık dönüşümü bahsi geçen dalgacık fonksiyonları kullanılarak (zaman domainindeki) orijinal seriyi zaman-frekans domaininde sunmaktadır. Bu bağlamda dalgacık dönüşümü Woodward vd.'nin (2011: 441) belirttiği gibi sinüs ve kosinüs yerine kısa dalgaların (dalgacıkların) kullanıldığı klasik Fourier analizinin varyasyonları olarak düşünülebilir. YDF'de de kullanılan Fourier dönüşümü dalga fonksiyonları kullanır. Dalga fonksiyonları (örneğin sinüs ve kosinüs) dalgacıkların aksine, aynı periyodik hareketle sonsuza kadar devam eder. Fourier dönüşümü orijinal seriyi çeşitli sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının toplamı olarak ifade ederken dalgacık dönüşümü farklı ölçeklerdeki çeşitli dalgacıkların toplamı olarak ifade etmektedir.

Fourier dönüşümü seride hangi frekansların olduğunu belirtirken, bir dalgacık dönüşümü serideki frekansların yanı sıra nerede (veya hangi ölçekte) olduğunu da göstermektedir (Strang, 1993). Başka bir deyişle Fourier dönüşümü seri zaman içinde değişiyorsa bu değişiminin zamanını gösteremez ancak dalgacık dönüşümü değişim zamanını belirleyebilir.

Neson Durağanlık Testi, Kesikli Dalgacık Dönüşümünün (KDD) özel bir varyasyonunu kullanmaktadır. Lee ve Yamamoto'nun (1994) belirttiği gibi KDD'de ψ fonksiyonu ve ilgili ölçekler kesikli olarak alınmaktadır ve a ölçek parametresi ve b çeviri parametresi olmak üzere dalgacık temeli

$$\psi_{a,b}(t) = a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a > 0.$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada $\psi [(t-b)/a]$ dalgacık fonksiyonunun ölçeklendirilmiş ve çevrilmiş versiyonudur. Ölçek parametresi frekansı ve çeviri parametresi zamanı belirler, böylece orijinal seri zaman domaininden kopmadan frekans bileşenlerine ayrılabilir. KDD için Mallat'ın (1989 ve 1998) çalışmasında

geliştirdiği piramit algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma bantgeçiren (*band-pass*) filtreleme esasına dayanmaktadır. Bradley'in (2003) de belirttiği gibi bitiş bandındaki sönümlenme sonlu olduğundan bu örtüşme (*aliasing*) problemini ortaya çıkaracaktır. Örtüşme bir seriye ait gözlemlerin uygun örnekleme yapılmadan veya başka deyişle örnekleme zamanının yeterince kısa tutulmaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Yang ve Park (2003), Strang ve Nguyen (1996) çalışmalarında bu konuyu detaylı şekilde ele almıştır.

KDD piramit algoritmasını kullanırken her bir ölçek için dalgacık katsayılarına azaltarak-örnekleme (*downsample*) yapılması örtüşme meydana getirir. Örtüşme sonucu çeviri-bağımsız (*translation-invariant*) özelliği veya başak bir ifadeyle zaman-bağımsız (*time-invariant*) özelliği olmayan bir dönüşüm meydana gelir. Böyle bir durum görüntü sıkıştırımda başarılı uygulamalara yol açsa da filtreleme, ters evrişim, belirleme, ya da daha genel olarak veri analizinde optimalden çok uzak sonuçlara meydan verir (Starck vd. 2007: 297).

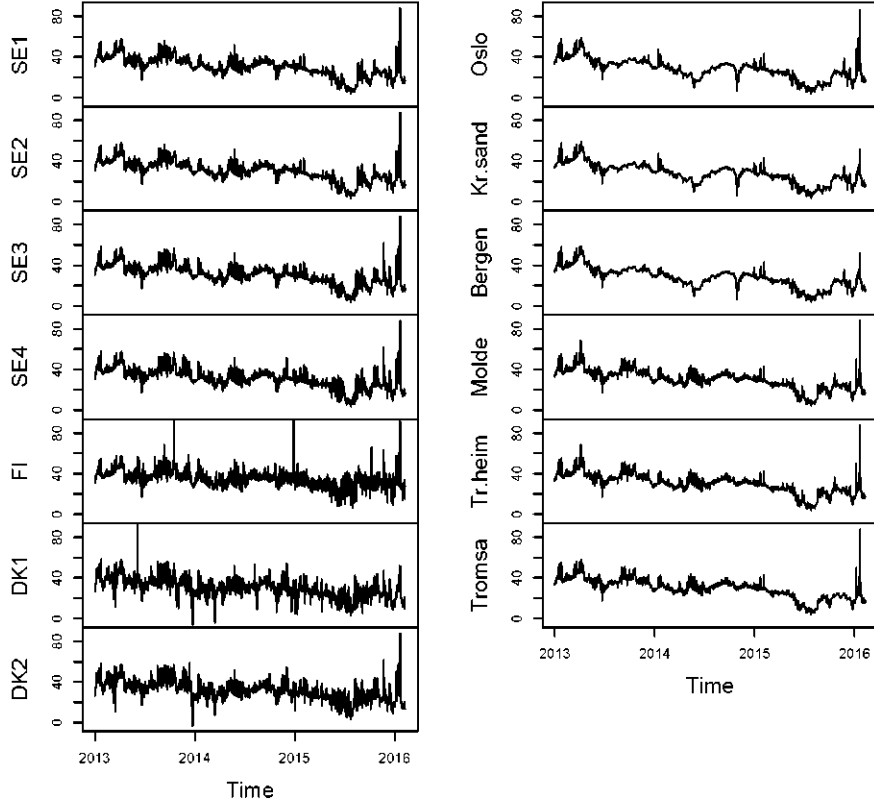
KDD'nin yol açtığı bu probleme çözüm olarak farklı yöntemler geliştirilmiştir; bunlardan biri Nason vd. (2000) çalışmasında öne sürülen Cramer (Fourier) gösterimini genelleştiren azaltılmamış dalgacık dönüşümüdür (non decimated wavelet transform). Bu dönüşüm Nason durağanlık testinde önemli rol oynamaktadır; testi serinin YDD ile modellenebileceği varsayımı üzerine kurulmaktadır, YDD ise azaltılmamış dalgacık dönüşümünü temel alan bir dalgacık dönüşümüdür. Nason durağanlık testindeki YDD için Haar Dalgacık fonksiyonu kullanılmaktadır. Dalgacık periyodogramının l ölçeği için Haar dalgacığının katsayılarının tahmini $\hat{v}_{i,p}^{(l)}$ ve bu katsayıların standart sapması $\hat{\sigma}_{i,p}^{(l)}$ olmak üzere Nason durağanlık testinin (seri durağandır) boş hipotezi aşağıdaki test istatistiği kullanılarak elde edilir:

$$T_{i,p}^{(l)} = \hat{v}_{i,p}^{(l)} \hat{\sigma}_{i,p}^{(l)-1}. \quad (2)$$

Denklem (2)'deki test istatistiği her bir l , i ve p değeri için sınanması gerekmektedir. Bu durumda Nason durağanlık testi, çoklu-hipotez sınaması gerektirmektedir. Nason (2013) çalışmasında çoklu-hipotez sınamasının ortaya koyacağı hatalı sonuçlara karşı Benferroni düzeltmesini ya da hatalı bulgu oranı (false discovery rate, FDR) prosedürünün kullanılmasını önermiştir. Bu çalışmada Benjamin ve Hochberg (1995) tarafından FDR prosedürü tercih edilmiştir.

4. Veri Seti ve Bulgular

Çalışmada İskandinav elektrik piyasasında büyük paya sahip olan Danimarka, Finlandiya, İsveç ve Norveç'e ait on üç spot piyasada elektrik fiyatlarının her hangi bir şok karşısındaki davranışı Neson durağanlık testiyle incelenmiştir.



Şekil 1. İsveç, Finlandiya, Danimarka Ve Norveç'teki Spot Elektrik Fiyatları

Kullanılan seriler günlük sıklıkta olup 22.04.2013 tarihinden 09.02.2016 tarihine kadar bin yirmi dört gözlem içermektedir. SE1, SE2, SE3 VE SE4 İsveç'te aynı isimdeki piyasadaki spot elektrik fiyatlarını; FI Finlandiya'da, DK1, DK2 Danimarka'daki ilgili spot elektrik fiyatlarını; Oslo, Kr.sand, Bergen Molde, Tr.heim ve Tromsa Norveç'teki aynı isimdeki piyasadaki spot elektrik fiyatları olmak üzere seriler şekil 1'de toplu halde sunulmaktadır.

Şekil 1'e bakıldığında serilerde belirgin bir trend görülmemekle birlikte serinin oynaklığı ve bazı aşırı değerler belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu basit gözlemlerin piyasadaki bir şokun geçiciliği üzerindeki etkisini incelemek için ilk önce yaygın olarak kullanılan geleneksel ADF birim kök ve KPSS durağanlık sınamaları yapılmıştır. ADF testi ele alınan serinin birim kök taşıdığı hipotezini sınamaktadır. ADF testinde birim kökün reddedilememesi serinin durağan olmadığı anlamına gelmektedir. Bunun yanı sıra KPSS testinde ise boş hipotez serinin durağan olduğudur. Yani KPSS testinde boş hipotez reddedilemezse bu serinin durağan olduğuna işaret emektedir. İskandinav elektrik piyasasına ait fiyat verilerine ilişkin ADF ve KPSS testine ait t-istatistikleri Tablo 1'de verilmektedir. Table 1'de her bir piyasaya ait serilerin durağanlığı üç tür deterministik terim varlığında ele alınmıştır. Bu deterministik terime göre kullanılan model sabit terimin olmadığı "none" sadece sabitin olduğu "drift" ve hem sabitin hem de trendin olduğu "trend" şeklinde adlandırılmıştır. Şekil 1'e tekrar bakılacak olursa seriler sıfır etrafında hareket etmediği için "none" modeli kullanışsız görülmektedir. Bunu yanı sıra trendin belirsiz olması "drift" veya "trend" modelleri arasında ayırım yapmayı güçleştirmektedir. Ancak bulgulara bakılacak olursa her iki model içinde ADF ve KPSS testleri çelişkili bulgular vermektedir. Genel olarak her iki test içinde birbirine zıt olan boş hipotezler %10 anlamlılık düzeyinde reddedilmektedir. Sadece Danimarka'nın DK1 ve DK2 piyasalarında fiyatlar her iki test göre trend durağan görünmektedir. Her iki testin ortak bulguya ulaştığı bir diğer seri ise Norveç'in Tromsø piyasası olarak ortaya çıkmaktadır. Tromsø piyasasında fiyat serisinin sabitli model altında her iki test tarafında durağan olmadığı bulunmuştur.

ADF ve KPSS testleri için %10'luk anlamlılık düzeyi değil de %5'lik anlamlılık düzeyi dikkate alınırsa (daha önce belirtilen duruma ek olarak) SE1, SE2, Molde ve Tr.Heim piyasalarının düzeyde durağan olmadığı; buna karşın SE3, SE4, FI, Oslo, Kr.Sand ve Bergen piyasalarının trend durağan olduğu görülmektedir. Belirtilen durumlar haricinde ise ADF ve KPSS testlerine ait bulgular yine çelişkili bir görünüm sergilemektedir.

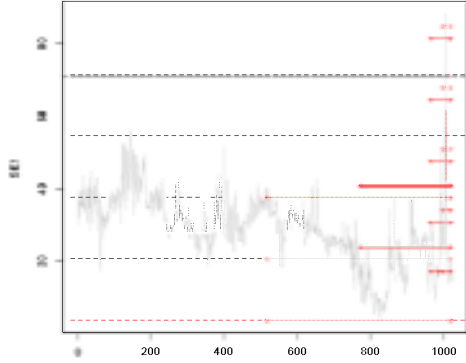
ADF ve KPSS testlerinin ortak bir kanıya varamamasının temel sebebi elektrik piyasalarının yapısından kaynaklanmaktadır. Elektrik günümüz teknolojiyle büyük miktarlarda depolanamamaktadır. Dolayısıyla ani talep şoku veya arz fazlası olasılığı üretim esnasında göz önüne alınmalıdır. Bu da elektrik fiyatlarında yüksek oynaklık ve aşırı değerler olarak yansımaktadır. Ayrıca coğrafyaya bağlı takvim etkilerinin de elektrik üretiminde rol oynadığı hesaba katılırsa, elektrik fiyatların mevsimsel periyodik bir yapı içermesi beklenmedik bir durum değildir. Doğrusal bir model

çerçevesinde durağanlığı sınavan ADF ve KPSS testleri oynaklık, aşırı değerler ve mevsimselliğin yarattığı non-lineerliği (doğrusal olmamayı) dikkate alamamaktadır. Nason durağanlık testi ise dalgacık dönüşümüne dayandığı için adı geçen non-lineerlik ve periyodiklik durumlarını dikkate almaktadır. Böylece ADF ve KPSS testlerinin çalışmadığı durumlarda bile doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca Nason testi durağanlık boş hipotezinin reddedildiği, yani serinin durağan olmadığı bölgeleri de belirtmektedir.

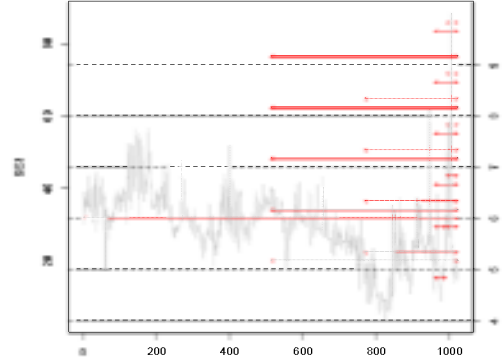
Tablo 1. ADF ve KPSS sınamaların ait bulgular

	ADF	-	KPSS	-	-		ADF	-	KPSS
none	-1,177068		--			Oslo	none	-1,453407	--
drift	-2,583221	c	2,656784	a		drift	-3,20637	b	2,143015
trend	-4,051678	a	0,147436	b		trend	-4,075724	a	0,132265
none	-1,176543		--			Kr.Sand	none	-1,379351	--
drift	-2,58434	c	2,654893	a		drift	-3,047182	b	2,302521
trend	-4,051495	a	0,146981	b		trend	-4,038925	a	0,132975
none	-1,202715		--			Bergen	none	-1,410675	--
drift	-3,585506	a	2,461856	a		drift	-3,069624	b	2,288316
trend	-5,156251	a	0,13656	c		trend	-4,026487	a	0,134431
none	-1,229562		--			Molde	none	0,2036	--
drift	-3,551374	a	2,474867	a		drift	-2,685098	c	2,647581
trend	-5,517127	a	0,122479	c		trend	-4,075572	a	0,167515
none	-0,647585		--			Tr.Heim	none	-1,222567	--
drift	-3,215364	b	2,100785	a		drift	-2,685098	c	2,647581
trend	-4,621547	a	0,129862	c		trend	-4,075572	a	0,167515
none	-2,082178	b	--			Tromsa	none	-1,226791	--
drift	-7,209921	a	2,823951	a		drift	-2,484159		2,71974
trend	-25,54777	a	0,104296			trend	-4,148028	c	0,194693
none	-1,251131		--						
drift	-3,969779	a	2,423163	a					
trend	-6,35811	a	0,10473						

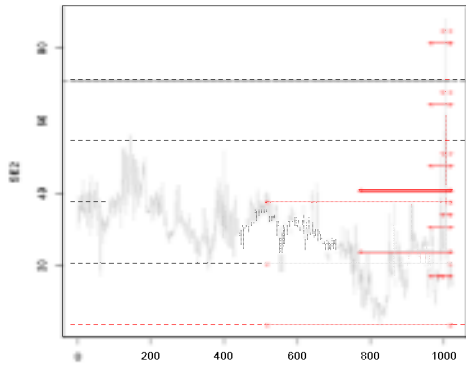
Her iki test içinde t-istatistiğini takip eden indisler "a" %1, "b" %5 ve "c" %10 anlamlılık düzeyinde boş hipotezin reddedildiğini şeklinde yorumlanmaktadır.



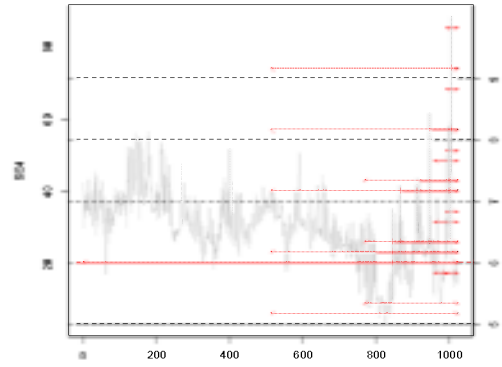
MC Type: FDR . 15 rejected.



MC Type: FDR . 21 rejected.



MC Type: FDR . 15 rejected.

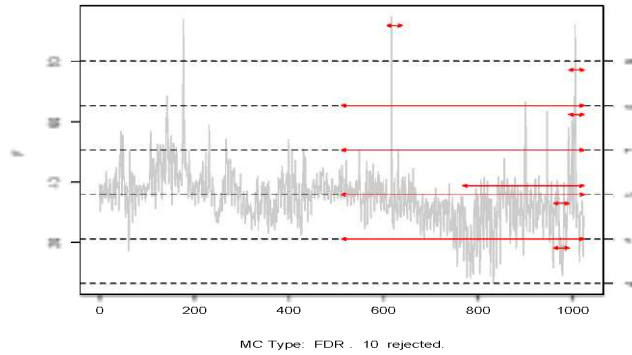


MC Type: FDR . 17 rejected.

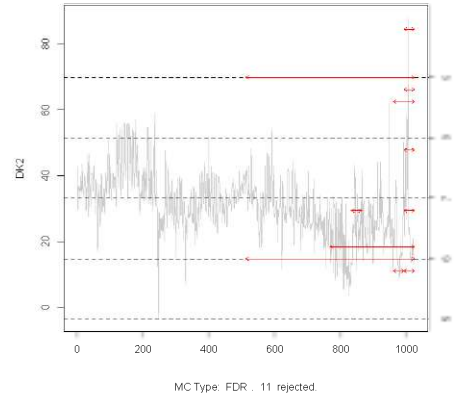
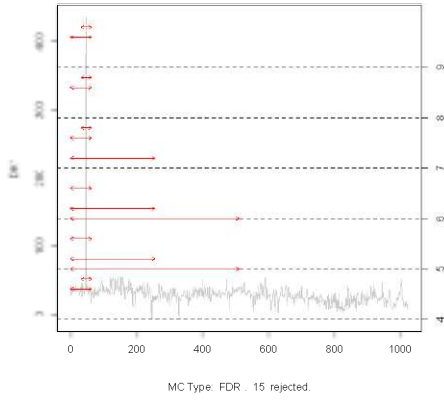
Şekil 2. İsveç Spot Elektrik Piyasasında Nason Durağanlık Testi Bulguları

Şekil 2'den 5'e kadar kırmızı oklar serideki durağan olmayan bölgeleri belirtmektedir. Okun dikey pozisyonun test edilen periyodogramın ölçeği, yani l 'yi vermektedir; i ise periyodogramın Haar dalgacık dönüşümü ölçeğini vermektedir. Şekillerdeki sağ ekseninde l yukarı doğru artan şekilde sıralanmıştır ve i dalgacık ölçeği de l içinde artan biçimde sıralanmıştır. Okun genişliği ise dönüşümde kullanılan Haar dalgacığının dayanağına karşılık gelmektedir; böylece seride durağa olmayan zaman aralığını göstermektedir.

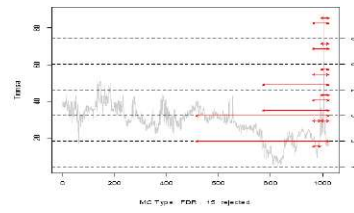
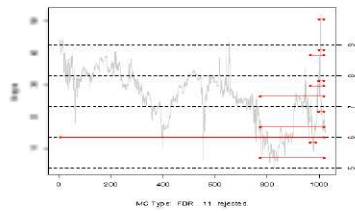
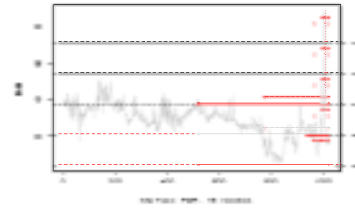
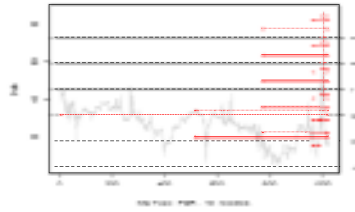
Aslan vd. (2014) çalışmalarında l ölçeği bir merceğe benzetmişlerdir; böylece ele alınan seri merceğin altında uzaklaştırılarak genel perspektiften ele alınabilirken, seri yaklaştırılarak serinin genel perspektiften görülmeyen detayları incelenebilmektedir. Dolayısıyla şekil 2, 3, 4 ve 5'in sağ eksenindeki küçük ölçekler ayrıntılarını göstermekte iken ölçek arttıkça büyük resim ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle büyük ölçekten küçük ölçeğe doğru gidilmesi merceğin benzetmesindeki yakınlığıyla eş anlamlıdır. Nason durağanlık testine ait şekiller yorumlanırken özellikle dalgacık periyodogramının ölçeği l ve dalgacık dönüşümü ölçeği i dikkate alınmalıdır. Teste ait bulgular ise Tablo 2'de daha detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3. Finlandiya Spot Elektrik Piyasasında Nason Durağanlık Testi Bulguları



Şekil 4. Danimarka Spot Elektrik Piyasasında Nason Durağanlık Testi Bulguları



Şekil 5. Norveç Spot Elektrik Piyasasında Nason Durağanlık Testi Bulguları

Nason durağanlık testi bulgularını resimleyen şekillere bakılacak olursa ele alınan elektrik spot fiyatı serilerinin hiç birinin tüm zaman dilim boyunca durağan olmadığı görülmektedir. Danimarka'nın DK1 piyasası hariç durağan olmamanın genellikle serinin ikinci yarısında yer aldığı gözlenmektedir. Ayrıca SE3, SE4, Oslo, Kr.Sand ve Bergen piyasalarında tüm seri boyunca durağanlık olmadığı gözlemlenmektedir. Belirtilen durum tüm bu piyasalarda dalgacık periyodogram ölçeği $l=6$ iken gözlemlenmesi kayda değer bir noktadır. Tablo 2 bahsedilen durumları daha detaylı olarak vermektedir. Nason durağanlık testi yukarıda belirtildiği gibi çoklu hipotez sinamasına dayanmaktadır ve bu çalışmada ele alınan seriler için 441 hipotez sinaması yapılmıştır. Tablonun ilk sütununda her bir piyasa için 441 sınımadan kaçında durağanlık boş hipotezinin reddedildiği ve altında da hipotezin reddedildiği p -değeri gösterilmektedir.

Tablo 2'de verilen Haar dalgacık dönüşüm ölçeği l durağan olmamanın kaç zaman noktası boyunca sürdüğünü göstermektedir. Örneğin oldukça sık görülen $l=5$ durağan olma durumunun $1024/2^5=32$ gözlem boyunca sürdüğünü göstermektedir. Buradaki 1024 ise tüm serideki gözlem sayısıdır. Denklem 2'deki p değişkeni ise bu durağan olmama durumunun serinin neresinde gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak hem tabloyu karmaşıklaştırmamak hem de şekil 2, 3, 4 ve 5'de durağan olmayan bölgeler oldukça anlaşılır olduğu için bu değişkenin değeri Tablo 2'de verilmemiştir.

Tablo 2 ve Nason testinin bulgularını gösteren şekiller ışığında durağan olmamanın orta ölçeklerde ortaya çıktığı görülmektedir. l değeri 1 ile 3 arasındayken seriler durağan görünürken SE3, FI, DK1, Oslo ve Tromsa piyasaları $l=4$ ve diğerleri $l=5$ 'den başlamak üzere durağan olmayan yapılar içermektedir. Önceden bahsedildiği gibi genelde ele alınan zaman periyodunun ikinci yarısında bulunan bu durağan olmayan bölgeler genelde bininci gözlemdeki aşırı değer etrafında toplanmaktadır. Küçük l değerleri yani serinin detayları 15.09.2014 tarihinden itibaren ortaya çıkan yapının durağan olmadığını ifade etmektedir. l değerleri arttıkça yani serinin geneline baktıkça ilk göze çarpan aşırı değer olmakta ve gittikçe kısalan durağan olmayan bölgelerin bu aşırı değer etrafında yer aldığı görülmektedir.

Tablo 2. Nason Durağanlık Testinin ampirik bulguları

Piyasa	Ho red sayısı ve p-değeri	Ho'ın reddedildiği periodogram ölçeği ve Haar dalgacık dönüşüm ölçeği					
		<i>l=4</i>	<i>l=5</i>	<i>l=6</i>	<i>l=7</i>	<i>l=8</i>	<i>l=9</i>
SE1	15 red 0.001394724	--	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=4,5</i>
SE2	15 red 0.001304778	--	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=4,5</i>
SE3	21 red 0.002231626	<i>i=5</i>	<i>i=1,2,5</i>	<i>i=0,1,2,4,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>
SE4	17 red 0.001214296	--	<i>i=1,2,5</i>	<i>i=0,1,2,4,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,5</i>
FI	10 red 0.0009077096	<i>i=5</i>	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,2</i>	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,5</i>	<i>i=5</i>
DK1	15 red 0.001216329	<i>i=4,5</i>	<i>i=1,2,4</i>	<i>i=1,2,4</i>	<i>i=2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=4,5</i>
DK2	11 red 0.001089977	--	<i>i=5</i>	<i>i=1,2,5</i>	<i>i=5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=1,5</i>
Oslo	19 red 0.001191347	<i>i=5</i>	<i>i=1,2,5</i>	<i>i=0,1,2,4,5</i>	<i>i=2,4,5</i>	<i>i=2,4,5</i>	<i>i=2,4,5</i>
Kr.sand	9 red 0.0006283552	--	<i>i=2,5</i>	<i>i=0,2,5</i>	<i>i=2,5</i>	<i>i=2,5</i>	<i>i=5</i>
Bergen	11 red 0.001228374	--	<i>i=2,5</i>	<i>i=0,2,5</i>	<i>i=2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=5</i>
Molde	15 red 0.001223806	--	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=4,5</i>
Tr.heim	15 red 0.001223806	--	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=4,5</i>
Tromsa	15 red 0.0008409238	<i>i=5</i>	<i>i=1,5</i>	<i>i=1,2,4,5</i>	<i>i=2,4,5</i>	<i>i=4,5</i>	<i>i=4,5</i>

5. Sonuç

Nason durağanlık testi SE3, SE4, Oslo Kr.Sand ve Bergan piyasalarında spot elektrik fiyatının tüm seri boyunca durağan olmadığını ancak geri kalan piyasalara ait serilerin sadece bölgesel durağan olmama içerdiğini göstermektedir. Bu durum ADF ve KPSS testlerindeki çelişkiyi açıklamamaktadır. KPSS durağan olmayan bölgeleri yakalayarak durağanlık boş hipotezini reddederken; ADF durağan bölgeleri ön plana çıkararak seride birim kök vardır boş hipotezini reddetmektedir. İlk bakışta şaşkıncı görünen ADF ve KPSS testlerinin %5 anlamlılık düzeyinde trend durağan olarak ortak kaniya vardığı SE3, SE4, Oslo Kr.Sand ve Bergan piyasalarının Nason durağanlık testi tarafından $I=6$ ölçeğinde tamamen durağan değildir şeklinde değerlendirilmesidir. Trend durağanlığının temelinde trend filtre edilirse serinin durağan olduğu (serinin trend etrafındaki hareketinin durağan olduğu) anlamına ortaya çıkmaktadır. Yoksa serinin trend taşınması durağan olmamaya işaret etmektedir. Bu durumda ADF ve KPSS testlerinin bulguları, Nason durağanlık testi ile örtüşmektedir. Ayrıca ADF ve KPSS testlerinin düzeyde durağan olmadığı sonucuna ulaştığı SE1, SE2, Molde, Tr.Heim ve Tromsa piyasaları için Nason testine ait şekiller ve Tablo 2 karşılaştırıldığında (Tromsa'daki ek $I=4$ 'teki durağan olmamanın dışında) bu piyasaların aynı yapıya sahip olduğu gözlenmektedir.

Yukarıdaki ekonometrik analiz sonucunda elde edilen bulguların ekonomik yorumuna ve politika önerilerine geçildiğinde karşımıza ilk olarak durağan olmama ve şokların seri üzerine etkisi arasındaki ilişki çıkmaktadır. Serinin durağan olmaması ekonomideki bir şokun seri üzerindeki etkisinin geçici olmadığına işaret etmektedir. Nason testi bulguları bağlamında tüm serilerde ekonomik şokun kalıcı olduğu bölgeler mevcuttur.

Bulgular özellikle İskandinav elektrik piyasasında Eylül 2014 sonrası meydana gelen değişimi belirgin bir şekilde göz önüne sermektedir. Tüm seri boyunca durağan olmayan SE3, SE4, Oslo Kr.Sand ve Bergan piyasaları ve de sadece ilk yarıda durağan olmayan DK1 piyasası dışında tüm seriler Eylül 2014 durağan bir karakteristik sergilerken bu tarihten sonra şokların kalıcı olduğu bulunmuştur. SE3, SE4, Oslo Kr.Sand ve Bergan piyasalarında bu tarih öncesi sadece $I=6$ ve $I=0$ ölçeklerinde durağan değilken bu tarih sonrası serinin durağan olmadığı ölçeklerde aniden artış görülmektedir. Şekil 2, 3, 4 ve 5 incelendiğinde Eylül 2014'ten sonra serilerin oynaklık yapılarında gözle görülür bir değişiklik yaşandığı görülmektedir. Bu tarihten sonra seride oynaklık artmış, serideki değişimlerin kalıcılığı artmış ve serinin aşırı değerlere elverişliliği artmıştır. Bu durum İskandinav spot elektrik piyasalarında Eylül 2014 sonrası yapısal bir kırılmanın meydana geldiğine işaret etmektedir. Bu

kırılmanın nedeni nedir? İçsel nedenlerden mi kaynaklandı yoksa uluslararası nedenleri mi var? Bu sorular temelde başka bir çalışmanın kapısını aralamaktadır.

İskandinav spot elektrik piyasalarındaki yapısal kırılma, beraberinde belli zorluklarda getirmiştir. Depolanamayan ve dolayısıyla anlık üretilmesi gereken elektriğin spot fiyatlarının şokların etkisinin kalıcılığı, üretimden hane halkının günlük tüketimine kadar elektriğin büyük rol oynadığı ekonomilerde arz ve talebe bağlı sorunlar yaratması mümkündür. Spot elektrik piyasaları elektrik arz fazlasının diğer ekonomilere ihracı ve talep fazlasının ithal edilmesini sağlamaktadır. Bu piyasada şokların kalıcı etkisi istikrarlı ekonomide istikrarlı olarak tedarik edilmesi gereken elektriğin uluslararası kanallarla elde edilmesinde ekonomik güçlükler yaratacaktır. Santral arızası nedeniyle ihtiyacı karşılanamadığında gerekli miktarın uluslararası piyasalardan çok yüksek fiyattan elde edilmesi ya da ihtiyaç fazlası üretimin maliyetinden düşük fiyata satılması bir ekonomi içi yük oluşturacaktır. Dolayısıyla İskandinav spot elektrik piyasalarındaki bu yapısal kırılmanın nedenleri detaylı olarak incelenmeli ve piyasaların Eylül 2014 öncesindeki şokların etkilerinin uzun süre barındırmayan haline geri dönmesi için gerekli idari ve ekonomik önlemler alınmalıdır.

Kaynaklar

Amundsen, E. S., Bergman, L. And Andersson, B. (1998). Competition and Prices on the Emerging Nordic Electricity Market. Stockholm School of Economics, SSE/EFI Working Paper Series in Economics and Finance 217, 1-11.

Aslan A., Apergis N., Yıldırım S. (2014) Causality between energy consumption and GDP in the U.S.: evidence from wavelet analysis, *Frontiers in Energy* 8(1), 1-8.

Benjamin Y., Hochberg Y. (1995) Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 57(1), 289-300.

Bergman, L. (2002). The Nordic Electricity Market- Continued Success or Emerging Problems?. *Swedish Economic Policy Review*, 9, 51-58.

Bierbrauer, M., Menn, C., Rachev, S. T. and Trück, S. (2007). Spot and Derivative Pricing in the EEX Power Market, *Journal of Banking and Finance*, 31 (11), 3462-3485.

Botterud, A., Kristiansen, T. and Ilic, M. D. (2010). The Relationship between Spot and Futures Prices in the Nord Pool Electricity Market. *Energy Economics*, 32 (5), 967-978.

Bradley A. W. (2003) Shift-invariance in the Discrete Wavelet Transform, *Proc. VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications*, Sun C., Talbot H., Ourselin S. and Adriaansen T. (Eds.), 10-12 Dec. 2003, Sydney

Dahlhaus R. (1997) Fitting Time Series Models to Nonstationary Processes, *The Annals of Statistics*, 25, 1-37.

Dahlhaus R., Polonik W. (2006) Nonparametric Quasi Maximum Likelihood Estimation for Gaussian Locally Stationary Processes. *The Annals of Statistics*, 34, 2790-2824.

Dahlhaus R., Polonik W. (2009) Empirical Spectral Processes for Locally Stationary Time Series. *Bernoulli*, 15, 1-39.

Fan Y.; Gencay R. (2010) Unit root test with wavelets, *Economic Theory*, 26, 1005-1331.

Hjalmarsson, E. (2000). Nord Pool: A Power Market Without Market Power. Göteborg University, Department of Economics, Working Paper in Economics No:28, 1-39.

- Janczura, J. and Weron, R. (2010). An Empirical Comparison of Alternate Regime-Switching Models for Electricity Spot Prices. *Energy Economics*, 32 (5), 1059-1073.
- Janczura, J., Trück, S., Weron, R. And Wolf, R. C. (2013). Identifying Spikes and Seasonal Components in Electricity Spot Price Data: A Guide to Robust Modeling. *Energy Economics*, 38, 96-110.
- Koopman, S. J., Ooms, M. and Carnero, M. A. (2007). Periodic Seasonal Reg-ARFIMA-GARCH Models for Daily Electricity Spot Prices. *Journal of the American Statistical Association*, 102(447), 16-27.
- Lee D.T.L, Yamamoto A. (1994) Wavelet Analysis: Theory and Applications, Hewlett-Packard Journal, Dec-1994, 44-45.
- Liebl, D. (2013). Modeling and Forecasting Electricity Spot Prices: A Functional Data Perspective. *The Annals of Applied Statistics*, 7(3), 1562-1592.
- Mallat S.G., Zhong S. (1992) Characterisation of signals from multiscale edges, *IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(7), 710-732.
- Mallat S. G. (1989) A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2, 674-693.
- Mallat S. G. (1998) *A Wavelet Tour of Signal Processing*. New York: Academic, 1998.
- Nason G. P. (2013) A Test for Second-order Stationarity and Approximate Confidence Intervals for Localized Autocovariances for Locally Stationary Time Series, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 75(5), 879-904.
- Nason G. P., von Sachs R., Kroisandt G. (2000) Wavelet Process and Adaptive Estimation of Evolutionary Wavelet Spectrum, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 62(2), 271-292.
- Paraschiv, F., Fleten, S. E. and Schürle, M. (2015). A Spot-Forward Model for Electricity Prices with Regim Shifts. *Energy Economics*, 47, 142-153.
- Sağlam, B. (2012). Monopolden Emtia Piyasasına: Emtia Piyasası Yaklaşımıyla Elektrik Piyasalarındaki Dönüşüm Sürecinin Rekabetçi analizi. *Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezi, Uzmanlık Tezleri Serisi No:134.*

- Salimath C. (2011) *Wavelets – A Brief Introduction to Theory and Applications: A beginners guide to Wavelets*, LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Starck J.-L., Fadili J., Murtagh F. (2007) The Undecimated Wavelet Decomposition and its Reconstruction, *IEEE Transactions on Image Processing*, 16(2), 297-309.
- Strang G. (1993) Wavelet Transforms versus Fourier Transforms, *Bulletin of the American Mathematical Society* 28(2), 288-305.
- Strang G., Nguyen T. (1996) *Wavelets and Filter Banks*. Wellesley-Cambridge Press.
- Weron, R., Bierbrauer, M. and Trück, S. (2004). Modeling Electricity Prices: Jump Diffusion and Regime Switching. *Physics A*, 336, 39-48.
- Weron, R., Simonsen, I. and Wilman, P. (2004). Modeling Highly Volatile and Seasonal Markets: Evidence From the Nord Pool Electricity Market. *The Application of Econophysics*. (Ed: H. Takayasu). Springer, Book Part I, 182-191.
- Woodward W.A., Gray H.L., Elliott A.C. (2011) *Applied Time Series Analysis*, CRC press
- Yang J., Park S.-T. (2003) An Anti-Aliasing Algorithm for Discrete Wavelet Transform, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 17(5), 945-954.