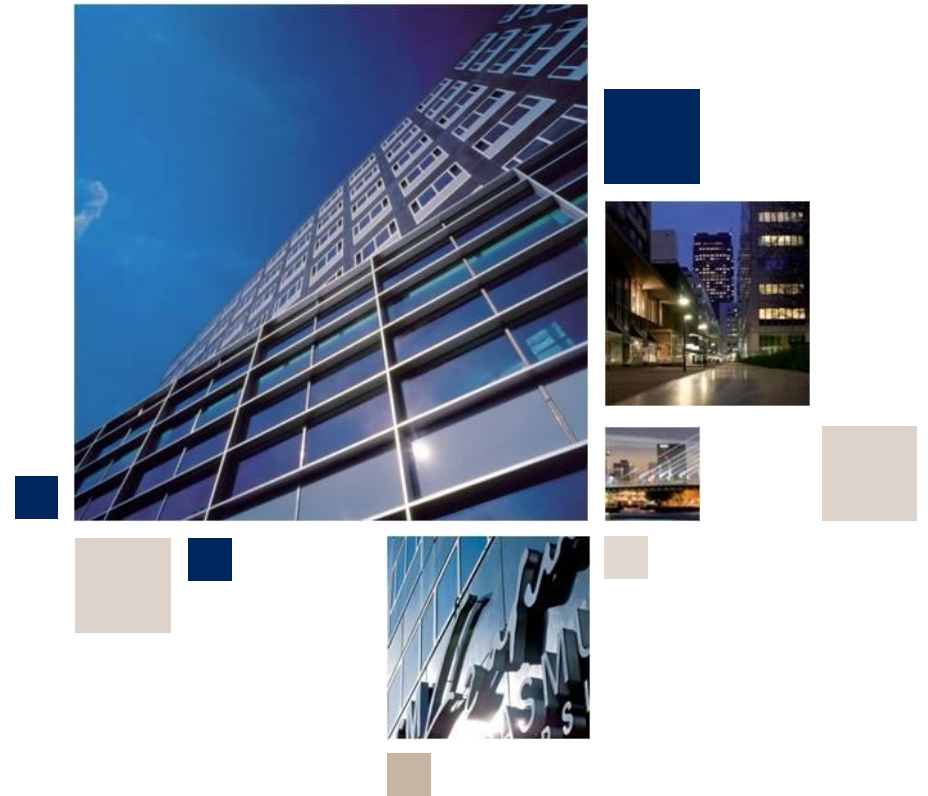


R İLE ENERJİ MODELLEMESİ

EZGI AVCI, MSC, PHDC





MEVSIMSEL MODELLER



ÜSTEL DÜZELTME (DURUM UZAY MODELLERİ)

- Holt's ve Holt-Winters metotları başta olmak birçok üstel düzeltme yöntemi bulunmaktadır.
- Hyndman, Koehler, Snyder and Grose (2002) literatürde bulunan üstel düzeltme yöntemlerini durum uzay modellerini kullanarak gruplandırmışlar ve Ord, Koehler and Snyder (1997) yaklaşımını izleyerek iki durum uzay modeli önermişlerdir.
- Bu modeller olabilirlik ve tahmin aralığı hesaplamayı kolaylaştırmaktadır.
- Her model, gözlenemeyen bileşenlerin yani durumların zaman içerisinde nasıl değiştiğini tanımlayan ölçüm denklemi içermektedir.
- Bu sebepten söz konusu denklemler durum uzay modelleri olarak adlandırılır.



ÜSTEL DÜZELTME (ETS)

- Her bir yöntem için iki model bulunmaktadır: toplamsal hata terimleri içeren ve çarpımsal hata terimleri içeren modeller.
- Bu modellerle eğer aynı düzeltme parametre değerlerini kullanıyorsa aynı nokta tahminlerini üretirler.
- Fakat farklı tahmin aralıkları verirler.
- ETS modelleri ile tahmin yapmak için hata kareler toplamını minimize etmenin yanında olabilirlik fonksiyonu maksimize edilebilir.
- Olabilirlik; verinin belirtilen modelden gelme olasılığıdır.



ÜSTEL DÜZELTME (ÇOKLU MEVSİMSELLİK) TBATS

- Elektrik fiyatlarındaki mevsimselik modellemede en zor aşılardan biridir.
- De Liviera et al.(2011) çalışmasında karmaşık mevsimsel örüntüleri zaman serileri ile modelleyebilmek için bir trigonometrik üstel düzeltme algoritması geliştirmişlerdir.
- Bu algoritma özellikle çoklu mevsimsellik görülen durumlarda; yani yüksek frekans mevsimselliğinin (saatlik, günlük, haftalık) ve ikili takvim etkisi (miladi ve hicri) görülen durumlara çok uygun bir algoritmadır.
- Hatta bu çalışma da Türkiye elektrik talep verisi kullanılarak talep tahmini örneklenmiştir.



HIBRIT MODELLER



ARIMA(X)-(G)ARCH

- Doğrusal ARIMAX modeli ve koşullu varyans GARCH yönteminin melezlendiği yöntemdir.

- Buna göre, durağan bir zaman serisi ise, bu seri

$$\phi(B)(1-B)^d x_t = \theta(B)\omega_t,$$

- ARIMA modelinde kullanıldıktan sonra, elde edilen sonuçların ACF ve PACF değerlerine göre p, ve d parametreleri belirlenir. Elde edilen bu sonuç daha sonra

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 y_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q y_{t-q}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_p \sigma_{t-p}^2 \equiv \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2,$$

şeklindeki GARCH modeline işlenir.

- GARCH modelinden elde edilen değerlere göre modelin onaylanması gerçekleşir.
- Literatürde, Ljung-Box testi bu tür bir kontrol işlemi için uygun görülmektedir.
- Son olarak uygun parametrelere sahip model ile tahmin işlemi gerçekleştirilir



ARIMA(X)-ANN

- Hem ARIMA hem de ANN modelleri, doğrusal olan ve olmayan alanlarda başarılarını göstermişlerdir.
- Ancak bu modellerden hiçbiri tüm veri setlerine ya da alanlara, her şartta uygulanabilir değildir.
- Karmaşık doğrusal olmayan modellere ARIMA modellerinin uygulanması doğru bir tercih olmayabilir.
- Diğer yandan, ANN modelleri doğrusallık varsayımının sağlandığı durumlarda karışık sonuçlar verebilmektedir.
- Bu nedenle ANN ve ARIMA modellerinin verinin ana karakteristiklerini dikkate almadan her alana uygulanması doğru bir yaklaşım olmamaktadır.
- Gerçek zamanlı problemlerde verinin tüm karakteristiklerini bilmek zor olduğundan, verinin doğrusal ve doğrusal olmayan özelliklerini karşılayabilecek hibrid bir modelin olması iyi olabilir.
- Farklı modellerin birleştirilmesi sonucunda, verinin altta yatan dinamiği daha rahat yakalanabilir.



ARIMA(X)-ANN

- Doğrusal ve doğrusal olmayan bileşenlerin oluşturduğu zaman serileri aşağıdaki gibi olabilir:

$$y_t = L_t + N_t,$$

- burada L_t doğrusal modeli, N_t doğrusal olmayan modeli göstermektedir.
- Bu iki bileşen veri üzerinden tahmin edilebilirler.
- Önce ARIMA ile verinin doğrusal dinamiği modellenir daha sonra, eğer doğrusal olmayan bir yapı da varsa, ARIMA modelinin hata terimleri analiz edilerek bulunur ve aşağıdaki şekilde modellenir:

$$e_t = y_t + \hat{L}_t,$$

- burada \hat{L}_t , t zamanında ANN modelinin aldığı tahmin değeri olmaktadır, e_t ise doğrusal modelde t zamanındaki artık değerdir.
- Doğrusal model, eğer artık değerler arasında doğrusal bir korelasyon varsa yeterli olmamaktadır.



ARIMA(X)-ANN

- Ancak, artık analizi, verideki doğrusal olmayan kalıbı yakalamak için yeterli değildir.
- Ayrıca böyle bir yakalama için genel bir model bulunmamaktadır.
- Bu nedenle bir model tanımlayıcı testleri geçmiş olmasına rağmen, halen doğrusal olmayan ilişkileri açıklamak için yeterli olmayabilir.
- Artıkların, ANN ile modellenmesi sonucunda doğrusal olmayan kalıplar yakalanabilirler.
- Modelde n sayıda girdi düğüm varsa, ANN modelin artıkları aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$e_t = f(e_{t-1}, e_{t-2}, \dots, e_{t-n}) + B_t,$$

- Burada f sinir ağı tarafından tanımlanan doğrusal olmayan fonksiyon, B_t ise rassal hatadır.
- Eğer f uygun değilse, hata terimi rassal olmak zorunda değildir.
- Bu nedenle doğru model tespiti önem arz etmektedir.



ARIMA(X)-ANN

- Yukarıdaki denklemden tahmin formu türetildiğinde, birleşik tahmin denklemi:

$$\hat{y}_t = \hat{L}_t + \hat{N}_t,$$

şeklindedir.

- Bu denklemde , ANN artık denklemi tarafından elde edilen tahmin değeridir.



GENEL HIBRIT TAHMIN YAKLASIMI

Buna göre hibrid tahmin yönteminin iki aşaması bulunmaktadır.

- İlk aşamada ARIMA modeli, problemin doğrusal kısmını analiz etmek için kullanılmaktadır.
- İkinci aşamada ise, ANN modeli ARIMA modelinden gelen artıkları modellemek için geliştirilir.
- ARIMA modeli doğrusal olmayan kısımları tanımlayamadığından, doğrusal modelin artıkları doğrusal olmayan kısım hakkında bilgi içermektedir.
- ANN modelinden elde edilen sonuçlar ARIMA modelindeki hata terimlerinin tahmininde kullanılabilirler.
- Hibrid model ARIMA'nın özelliklerini ve gücünü kullanırken, ANN'nin farklı kalıpları tanımlayabilen yapısından faydalanmaktadır.



İYİ ÜLKE ÖRNEKLERİNİN ANALİZİ



İNGİLTERE ELEKTRİK PİYASASI

- Birleşik Krallık elektrik piyasası en eski ve en önce özelleştirilmiş piyasalardandır.
- Bu piyasada ise en fazla **Prof. Bunn (London Business School)** araştırma yapmıştır.
- En iyi uygulama örneği olarak **Karakatsani ve Bunn**,
 - ❑ 2008 zamanla değişen parametre (time varying parameter) regresyon modeli uygulanmıştır.
 - ❑ Spot piyasadaki, saatlik ve yarım saatlik elektrik fiyat verileri kullanılmıştır.
 - ❑ Diğer zaman serisi alternatiflerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Yapay sinir ağları kullanan bir başka çalışmada ise; **Wang ve Ramsay, 1998**
 - ❑ sistem marjinal fiyatı, haftasonları ve tatil günleri için yarım saatlik veriler halinde alınmıştır.
 - ❑ Sonuçlar, gerçek fiyatlarla dikkate değer bir benzerlik göstermektedir.



NORD POOL ELEKTRİK PİYASASI

Weron ve Misiorek, 2008

- Standart otoregresif modeller (AR vb.) ve onların genişletilmiş uygulamaları tahmin metodolojisi olarak kullanılmışlardır.
- Saatlik (geçmiş) elektrik fiyatları, hava durumu ve elektrik yük seviyesi veri setleri olarak kullanılmışlardır.
- Sistem yük miktarının dışsal faktör olarak eklendiği durumda, tahmin sonucu daha tutarlı olmaktadır.
- Ancak bu durum hava durumu değişkeni eklendiğinde kesin olmamaktadır.
- Ayrıca **yarı parametrik modeller**, daha iyi sonuç vermektedirler.



NORD POOL ELEKTRİK PİYASASI

Fleten ve Kristoffersen, 2007

- Piyasa fiyatlarının yüksek derece belirsizlik içermesinden dolayı, en uygun teklif stratejileri ile bu belirsizlik aşılmaq istenmiştir.
- Bu nedenle **stokastik karmaşık tamsayı doğrusal programlama (stochastic mixed-integer linear programming) modeli** kullanılmıştır.
- Saatlik elektrik fiyat verisi kullanılmıştır.
- Sonuç olarak, stokastik programlamanın kullanılması, fiyatlar üzerindeki belirsizliği açıklamada daha başarılı olduğundan, tutarlı sonuçlar vermiştir.



PENNSYLVANIA-NEW JERSEY-MARYLAND (PJM)

PJM elektrik piyasası 1927 yılında kurulmuştur ve 2000'li yıllarda Avrupa Entegre Elektrik piyasasının açılmasına kadar da dünyanın en büyük ve hacimli elektrik piyasası olmuştur.

Bu piyasadaki iyi uygulama örneklerine incelersek;

Conejo ve ark., 2005

- ARIMA, dinamik regresyon ve transfer fonksiyonu yöntemlerini kullanmıştır.
- Saatlik elektrik fiyat ve yük verileri kullanılarak, gün öncesi piyasasında, 24 saatlik piyasa takas fiyatları bulunmuştur.
- Sonuçlara göre dinamik regresyon ve transfer fonksiyonu yöntemleri, ARIMA modeline göre, fiyat tahmininde daha tutarlı sonuçlar vermektedirler.



PENNSYLVANIA-NEW JERSEY-MARYLAND (PJM)

Vahidinasab ve ark., 2008

- literatürdeki farklı teknikler birbiri ile karşılaştırmış ve ANN yöntemi (Levenberg–Marquardt algoritması) tahmin için uygun metot olarak seçmiştir.
- Saatlik elektrik fiyat verisi, mevsimlere göre ayrılandırılarak, gün öncesi elektrik piyasası için kullanılmıştır.
- Diğer tekniklere göre, ANN daha tutarlı sonuçlar vermiştir.



PENNSYLVANIA-NEW JERSEY-MARYLAND (PJM)

Amjady ve Keynia, 2008

- dalgalı dönüşüm (wavelet transform) ve melez tahmin yöntemi kullanmışlardır.
- Melez yöntem, her bir tahmin edicinin sinir ağı ve evrimsel algoritmaya sahip olduğu, basamaklandırılmış tahmin yöntemi olarak tasarlanmıştır.
- Gün öncesi piyasasından ve piyasa operatörlerinden alınan saatlik veriler kullanılmıştır.
- Aynı dönemlerde benzer şartlar altında diğer metotlarla karşılaştırıldığında, önerilen yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur.



PENNSYLVANIA-NEW JERSEY-MARYLAND (PJM)

Lin, Gow ve Tsai, 2010

- olasılık sinir ağı (PNN), ortogonal deneysel tasarım (OED) ve gelişmiş olasılıksal sinir ağı kombinasyonu (EPNN) teknik olarak sunulmuştur.
- Bölgesel marjinal fiyatlar, sistem yükü ve sıcaklık, saatlik veriler olarak işlenmiştir.
- Çalışmanın sonucunda seçilen zaman aralıklarında RMSE ile yapılan performans ölçümlerine göre, EPNN, ani fiyat artışlarını çok yakından takip edebilmektedir.
- EPNN ve PNN sonuçları karşılaştırıldığında, EPNN sonuçları daha tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.



PENNSYLVANIA-NEW JERSEY-MARYLAND (PJM)

Niu, Liu ve Wu (2010)

- kendini yönetebilen harita sinir ağı (SOM) ve destek vektör makineleri (SVM) ile gün öncesi piyasalarda tahmin yapmıştır.
- SOM ile kümeleme yapılarak veri yetersizliği çözülürken, SVM ile tahmin yapılmıştır.
- SVM parametreleri, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ile belirlenmiştir.
- Saatlik elektrik fiyatları verisi ile çalışma yapılmıştır.
- Önerilen model, klasik ARIMA modeli ile karşılaştırılmıştır.
- Sonuçta, ARIMA performansı dengeli olmamış, SVM modeli ise YSA modellerine göre daha tutarlı sonuçlar vermiştir.
- Çalışmanın sunduğu melez model, yaz aylarında diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermektedir.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

- İspanya elektrik piyasası son 15 yılda enerji ekonomisi araştırmacıları tarafından en çok çalışma yapılan piyasadır.
- Biz de bu piyasa için yapılmış iyi uygulama örneklerini zet olarak sunmaya çalışacağız.
- İspanya elektrik piyasasının 2000'li yılların başında liberalleşmesi ile beraber ilk elektrik fiyat analiz ve tahmin araştırmaları da başlamıştır.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Contreras ve diğ. (2003)

- saatlik fiyat verisi ile ARIMA metodu kullanarak haftalık fiyat tahminleri yapmaya çalışmışlardır.
- Sonuçlara bakıldığında:
 - ❑ genel olarak veride yüksek bir oynaklığın gözlemlendiği
 - ❑ daha eski verilere ihtiyaç olduğu
 - ❑ kriz anlarından sonra yapılan modellemelerin sorunlu olduğu gözlemlenmiştir.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

2005 yılı ve sonrasında İspanya elektrik piyasasında yapılan çalışmalar zamanla değişen oynaklığı da temsil edebilecek **hibrit yöntemlerin** kullanımına yönelmişlerdir.

Conejo ve diğ. (2005)

- Saatlik elektrik fiyat verisi ile **dalgacı-ARIMA** yöntemi kullanarak, her mevsim için ayrı tahmin yapmıştır.
- Bu yöntem ile iyi davranmayan fiyat serisi dalgacı çözümü ile daha iyi davranan seriler haline getirilmiş ve bu serilerdeki doğrusal ilişki de ARIMA yöntemi ile modellenmiştir.
- Başka bir çalışmada ise artan elektrik fiyat oynaklığını modelleyebilmek için GARCH yöntemi kullanılmıştır.
- Modelin performansını test etmek için İspanya gün öncesi piyasasında, yüksek oynaklık içeren dönemlerdeki, saatlik elektrik fiyat verisini kullanmışlardır.
- Sonuçlara göre, oynaklığın ve ani fiyat artışlarının olduğu durumlarda, GARCH yöntemi, ARIMA modellerine göre üstünlük göstermektedir.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Sadece fiyat tahmini değil aynı zaman da piyasa dinamiklerini de modellemeye çalışan başka bir çalışma ise

Gonzales ve diğ. (2005)'dir. Bu çalışmada :

- Girdi-çıkıtı Gizli Markov Zinciri Modeli (IOHMM), elektrik spot fiyatlarını tahmin ve analiz için kullanılmıştır.
- Veri olarak saatlik spot elektrik fiyatları kullanılmıştır.
- Bu yöntem ile sadece fiyat tahmini gerçekleştirilmemiş aynı zamanda piyasa hakkındaki dinamik bilgi incelenmiştir.
- Bu sayede farklı piyasa koşulları tanımlanabilmişlerdir.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Davranışsal finans literatürüne de girebilecek bir diğer çalışma **Guerci ve diğ. (2005)** ise:

- Piyasa katılımcıları için yapılan davranışsal kabulleri azaltabilmek adına çok etmenli modelleme yaklaşımını kullanmıştır.
- OMEL gün öncesi piyasasını **gerçekleşen talep** ve **simüle edilmiş piyasa katılımcısı davranışları** ile oluşturmuşlardır.
- Sonuçlar, gerçek OMEL GÖP ile çok benzer bulguları göstermiş ve bundan dolayı da kurdukları çok etmenli modelin ve davranış stratejilerinin doğru olduğunu savunmuşlardır.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

2006 yılından itibaren İspanya elektrik piyasasında parametrik ve doğrusal olmayan modellemelerin ağırlığı artmıştır.

Bunun sebebi, piyasa oturdukça,

- piyasa katılımcılarının tecrübe kazanması
- fiyat ayrımlarının iyice belirginleşmesi (Merit Order Curve in iyice belirginleşmesi)
- sıçramaların/oynaklığın artması

ile beraber doğrusallık ve normallik varsayımı yapan istatistiksel metotların artık kullanılamaz hale gelmesidir.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Amjady (2006) çalışmasında;

- saatlik fiyatları tahmin edebilmek için; yeni bir *hiperkubik eğitim mekanizması* ile arası katmanlı ve ileri beslemeli mimariye sahip bir yapay zekâ algoritması kullanmıştır.
- Sonuçta ARIMA, MLP vb. gibi tekniklere nazaran daha tutarlı sonuçlar elde etmiştir.

Lora ve ark (2007) ise

- *ağırlıklandırılmış en yakın komşu yöntemi* kullanılmıştır.
- Saatlik ortalama fiyatlar veri olarak kullanılmıştır.
- Piyasa verileri incelenmiş ve performans sonuçları diğer tahmin metotları ile karşılaştırılarak, kullanılan yöntemin tutarlılığı gösterilmiştir.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Gao ve diğ (2007)

- her öğrenme verisine farklı parametrenin atandığı **destek vektör makineleri** kullanılmıştır.
- Günlük yük ve buna bağlı olarak fiyat verisi kullanılmıştır.
- Farklı parametreler kullanılarak uygulanan *SVM* sonuçları ile yapılan tahminler, kısa dönem ve uzun dönem olmak üzere ikiye ayrılmış ve tahmin tutarlılıkları performans ölçütleri ile (MAPE vb.) karşılaştırılmışlardır.
- Sonuçlar *SVM*'lerin, *ARIMA* modellerinden daha iyi tahmin yaptıklarını kanıtlamaktadır.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Pino ve diğ. (2008)

- *MLP* öğrenme örnekleri, *yapay zekâ* algoritmaları kullanılarak tahmin yapılmıştır.
- Saatlik gün öncesi piyasası verileri kullanılmıştır.
- Teknik, Box-Jenkins ARIMA modeli ile karşılaştırılmış ve sonuçların özellikle hafta sonları ve tatillerde daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Amjady ve Keynia (2009)

- *İki aşamalı özellik seçme metodu ve basamaklandırılmış yapay zekâ algoritması* kullanılmıştır.
- Saatlik elektrik fiyat verisi kullanılmıştır.
- Kullanılan yöntem ile 1-6 saatlik tahmin yapılmış ve fiyat stratejisi diğer stratejiler ile karşılaştırılmıştır.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Tan ve diğ., 2010 çalışmalarında

- ARIMA ve GARCH modellerinin dalgalı dönüşüm ile birleştirilmesi yöntemini kullanmıştır.
- 50 günlük elektrik fiyat verileri kullanılmıştır.
- Sonuçlara göre, yeni melez yöntem, diğer tahmin yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Amjady ve Keynia (2010)

- Çalışmalarında yeni bir melez **nöro-evrimsel sistem (HNES)** yöntemi kullanılmıştır.
- Bu yöntem **sinir ağı** ve **evrimsel algoritmaların** birleşiminden oluşmuştur.
- Gün öncesi piyasasında, saatlik elektrik fiyatları verisi kullanılmıştır.
- Sonuçlar, son yayınlanan tahmin yöntemleri ile karşılaştırılmış ve önerilen stratejinin tahmin yeteneğini göstermiştir.
- Performans ölçüm yöntemleri ile (MAPE) tahmin tutarlılığı incelenmiştir.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Unsihuay-Vila ve diğ. 2010

- Doğrusal olmayan kaotik dinamik ve evrimsel strateji temelli yeni bir melez yöntem kullanmıştır.
- Saatlik elektrik fiyat ve yük verisi kullanılmış, mevsim farkı gözetilmiştir.
- Sonuçlar ARIMA ve ANN temelli modeller ile karşılaştırılmış ve faydaları gözlemlenmiştir.
- Bu yeni yöntemin bir diğer yanı gerçek zamanlı çalışabilecek şekilde tasarlanmış olmasıdır.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

- 2009 yılı itibari ile İspanya elektrik piyasasında yenilenebilir enerji teşvik mekanizmalarının devreye girmesi ile beraber 2010 yılından sonra yapılan çalışmalar yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerjinin elektrik fiyatları üzerindeki etkisini modelleyebilecek yöntemler seçmişlerdir.
- Bu özellikler şu şekilde özetlenebilir:
 - (i) belli saatlerde çok fazla artan oynaklık (volatility clustering oluşturması)
 - (ii) belli saatlerde 0 veya negatif çıkan elektrik fiyatları (ve sonuç olarak bu değerlerde tanımsız olan metotlar ve ölçüm kriterleri)
 - (iii) hidroların artması ile beraber fiyatların mevsimsel özelliklerinin çok artması ve bilerek su tutma gibi stratejilerin saatlik Merit Order Curve ların şeklini değiştirmesi.



İSPANYA ELEKTRİK PİYASASI

Gelabert ve diğ. 2011

- Kullanılan teknoloji ve saatlik fiyat verileri, toptan enerji piyasalarında yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili bilgi vermek üzere kullanılmıştır.
- Çalışmanın en önemli bulgusu, 1 GWh yenilenebilir enerji artışının, elektrik fiyatlarında 1.9 Euro indirim ile alakalı olmasıdır.

Garcia ve diğ, 2011

- Gözlenemeyen birleşenlerin elektrik fiyat oynaklığına etkisini GARCH-SeaDFA (Kosullu heteroskedastik mevsimsel dinamik faktör analizi) yöntemini kullanılarak analiz etmiştir.
- Saatlik elektrik fiyat verisi kullanılmıştır.
- Performans ölçüleri ile yöntemin tahmin tutarlılığı incelendiğinde, kısa ve uzun dönemde, güven verici sonuçlara ulaşılmıştır.



R KODLARI

n.ezgi.avci@gmail.com



TESEKKURLER! SORULAR ?

*Ezgi AVCI, MSc, PhDc.
n.ezgi.avci@gmail.com*