

TÜRKİYE İÇİN KISA VADELİ ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ

SHORT-TERM ELECTRICITY POWER DEMAND FORECASTING FOR TURKEY

Ebru Yüksel HALILOĞLU, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Türkiye, e.yuksel@etu.edu.tr
Behzat Ecem TUTU, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Türkiye, btutu@etu.edu.tr

Öz: Bu makalenin amacı, Türkiye elektrik tüketimini günlük olarak tahminleyen bir model oluşturmaktır. Literatürde elektrik talebi öngörülleri çoğunlukla yıllık frekansta mevcuttur; bu çalışmada farklı olarak günlük frekansta öngörüler yapılmıştır. Ayrıca, modele hem sıcaklığı hem de mevsimselliği modellemek üzere eşik sıcaklık değeri olarak tanımlanan yeni bir değişken dâhil edilmiştir. Tahmin edilen modelde eşik sıcaklık ve zaman kukla değişkenleri bağımsız değişkenler, elektrik tüketimi ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Model kurulurken 2012-2017 yılları arası günlük frekanstaki veriler kullanılmış, Ocak – Nisan 2018 dönemine ait verilerle model test edilmiştir. Gerçekleşen elektrik tüketimi ile tahmin edilen arasındaki aylık ortalama sapma oranları %1,3 ile %1,6 arasında değişmektedir.

Anahtar kelimeler: Elektrik Tüketimi, En Küçük Kareler Yöntemi, Talep Tahmini, Türkiye

Abstract: The objective of this study is to develop an econometric model that predicts daily electricity demand in Turkey. Although studies forecasting annual electricity demand are available in the literature; this study makes daily predictions. Furthermore, the model introduces a new variable defined as threshold temperature to embed seasonality in the model. The estimated model includes threshold temperature and time dummy as independent variables, and electricity consumption as dependent variable. Electricity demand for January – April 2018 is estimated by using daily data between 2012 and 2017, then compared to actual values. Predicted monthly average values deviate from the actual values by 1.3-1.6%.

Keywords: Electricity Consumption, Least Squares Method, Demand Forecast, Turkey

1. Giriş

Elektrik enerjisi, dünya genelinde talebi hızla artan, kaliteli, verimli ve hızlı iletilmesi gereken bir enerji türüdür. Petrol, kömür, hidrolik, doğal gaz, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr, güneş, biyoyakıtlar vb.) kullanılarak elde edilen bu enerji formunun depolanamaması en önemli sorunlardan biridir. Artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme ve özellikle insan hayatının vazgeçilmez bir parçası olarak hızla gelişen teknoloji ile elektrik enerjisine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. 1970'lerde yaşanan enerji krizleriyle birlikte, enerji talebinin ekonomiye olan etkilerini, elektrik üretim, tedarik ve arz-talep dengesinin önemini fark eden dünya bu konu üzerine çalışmalarını hız kesmeden devam ettirmektedir. (Akan ve Tak, 2003: 23,24; Altınay, 2010: 6-7; Dilaver ve Hunt, 2011a: 426-427; Nişancı, 2005: 108-111; Vaghefi vd., 2014: 186-188).

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın sürekli olarak artması, kaynakların kısıtlı olması ve elektriğin depolanamaması sektör katılımcılarını çeşitli planlamalar yapmaya zorlamaktadır. Elektriğin üretildiği an tüketilmesi gerekliliği piyasa aktörlerine arz-talep dengesini sağlama zorunluluğu getirmektedir. Artan talebe karşılık verilememesi özellikle ekonomik açıdan ülkelere büyük sorunlar yaşatacağı için son yıllarda arz-talep dengeleme konusuna ağırlık verilmektedir. Öte yandan, küresel ısınma gibi çevresel etkenler ya da dışa bağımlılık gibi ülkesel faktörler elektrik enerjisinde tasarruf edilmesini gerektirmektedir. Bu koşullar altında, elektrik piyasasında oluşabilecek darboğazların önlenmesi için üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde düzenli planlamalar yapılmakta; öngörülerin uygulanabilir sonuçlar vermesi için çeşitli talep tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. (Tugal, 2014: 21, 39). Yapılmakta ve yapılacak olan elektrik talep tahminleri, enerji tedarikçileri ve tüketicileri için elektrik güç sistemlerinin çalıştırılmasında, kontrol ve planlamasında, tarife düzenlemelerinde ve ihracat alanlarında önemli bir yere sahiptir. (Akın, 2010: 11-13; Toker ve Korkmaz, 2009: 1; Tugal, 2014: 1-3, Yavuzdemir, 2014: 15-16).

Enerji kaynaklarında büyük oranda dışa bağımlı bir ülke olan Türkiye için elektrik enerjisine olan talebi doğru tahmin etmek oldukça önemlidir. (Akın, 2010: 11-13; Tugal, 2014: 2,24). Enerji talebinin isabetli öngörülememesi durumunda arz ve talep arasında oluşacak farklar ülke ekonomisi üstünde olumsuz etkiler yaratacaktır. Enerji arzının talebe göre fazla olması enerji fazlası olmasına ve mevcut enerjinin israfına sebep olacaktır. Talebin arzdan fazla olması durumunda ise enerji açıkları meydana gelecek; kesintiler, sistem darboğazları vb. problemler yaşanacaktır. Bu nedenle, son yıllarda elektrik talep tahmini başta olmak üzere enerji talebi üzerine yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmıştır. (Gültekin, 2009: 1-3; Taylor vd., 2006: 1,2; TMMOB, 2015: 3; Tugal, 2014: 27-28).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye elektrik tüketimini etkileyen faktörleri belirlemek ve arz-talep dengesini sağlayacak talep tahmin modeli geliştirmektir. Ülkemizde genellikle ekonomik ve demografik faktörlerin etkili olduğu uzun dönemli (aylık ve yıllık) talep tahmin modelleri yapılmış; bu tahminler kapasite artırma ve yatırım faaliyetlerinde kullanılmıştır. Akan ve Tak (2003), analizlerinde nüfus, elektrikli ev alet üretimi ve bina sayısı değişkenlerini, Demirel vd. (2010) ise gayri safi milli hâsıla (GSMH), üretilen enerji miktarı, nüfus ve kurulu güç faktörlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada ise daha çok meteorolojik faktörlerin etkili olduğu kısa dönemli (günlük) talep tahmini yapılmıştır. Kısa

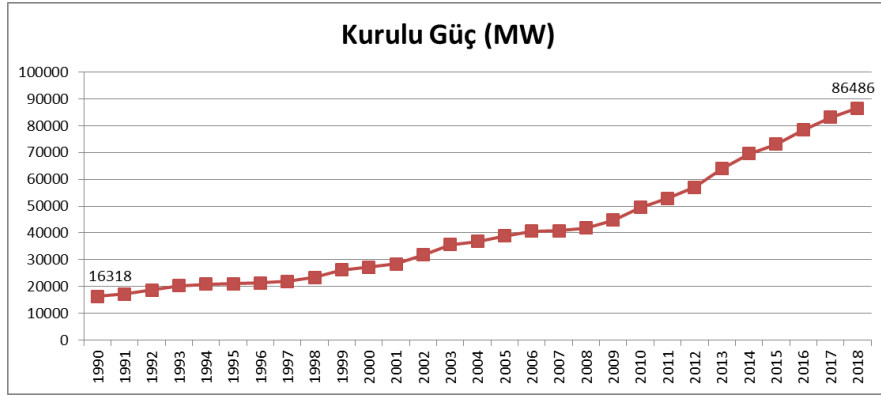
dönemli elektrik talebinde mevsimsel etki açıkça görülmektedir. Çalışma bu mevsimselliği modele dâhil ederken deterministik kukla değişkenler yerine sıcaklık değişkeni kullanılarak oluşturulan yeni bir eşik sıcaklık değişkeni kullanmıştır. Daha önce Aydın vd. (2015) ve Uslu vd. (2013) tarafından kullanılan benzer yaklaşımlar, mevsimselliği daha dinamik bir şekilde modellemeye olanak sağlamaktadır.

Hem kısa dönemli talep tahmini yapılması hem de güncel veri seti kullanılması dolayısıyla çalışmanın bulgularının, piyasa katılımcılarına günlük işletme faaliyetlerinde arz-talep dengesini sağlamada yol gösterici olması beklenmektedir. Özellikle gün öncesi piyasasında (GÖP) yer alan katılımcıların ertesi gün için verecekleri elektrik talep ve fiyat tahminlerinde bu çalışmadan fayda sağlayacakları düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde Türkiye'nin elektrik enerjisi arz ve talebi üzerinde durulmaktadır. Üçüncü bölümde kısaca talep tahmin yöntemleri anlatılmakta, dördüncü bölümde incelenmiş enerji talep tahmini çalışmalarına yer verilmektedir. Beşinci bölümde çalışmada kullanılan veriler tanıtılmakta, altıncı bölümde ise yapılan analizlerden elde edilen bulgular sunulmaktadır. Makalenin son kısmında ise sonuçlar üzerinde durulmaktadır.

2. Türkiye Elektrik Enerjisi Arz ve Talebi

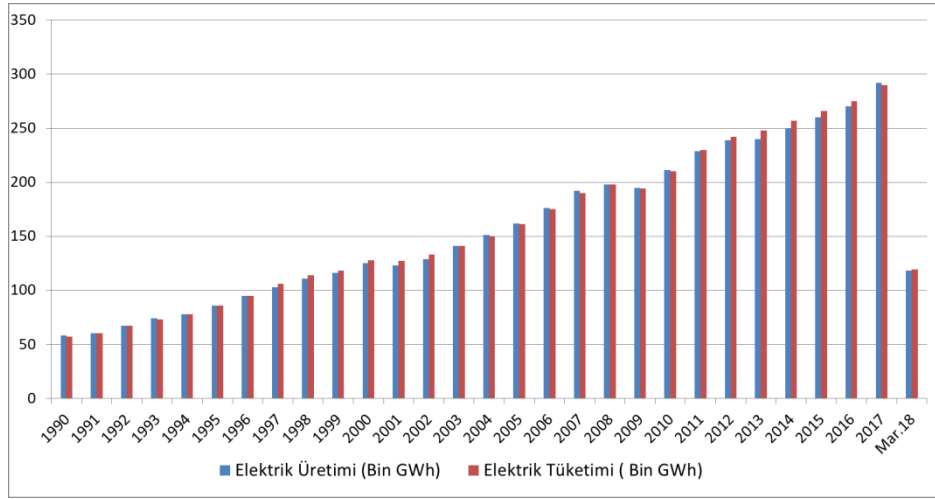
Gelişmekte olan ülkelerde, yeterli ve kaliteli enerji arzı ekonomik büyümede önemli paya sahiptir. Enerji ihtiyacının sürekli artması bu alana yapılan yatırımları, planlama faaliyetlerini ve ticareti de artırmaktadır. Bu gelişmeler, sektörü daha karmaşık ve üzerinde çalışılması gerekir hale getirmektedir. Şekil 1'de Türkiye'nin yıllara göre kurulu güç miktarları verilmiştir. Artan nüfus ve ekonomik faaliyetler elektrik enerjisi ihtiyacını artırmış, bu artış sektördeki yatırımları olumlu yönde etkilemiştir. 1990 yılında yaklaşık 16 bin MW olan kurulu güç 2016 yılında yaklaşık 78 bin 500 MW'ye ve 2018 yılında yaklaşık 86 bin 500 MW'ye yükselmiştir. (TÜİK, 2018).



Şekil 1. Türkiye'nin yıllara göre kurulu gücü (MW)

Kaynak: TÜİK, 2018.

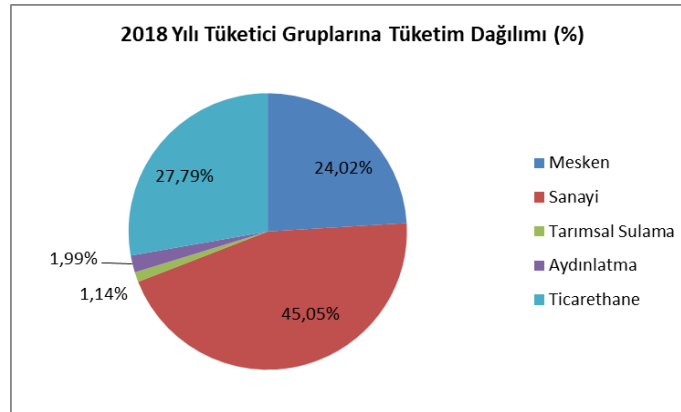
Şekil 2'ye bakıldığında Türkiye elektrik üretim ve tüketim miktarları görülmektedir. 1990 yılında yaklaşık 58 bin GWh olan elektrik üretimi 2017 yılında 292 bin GWh'ye, elektrik tüketimi ise yaklaşık 57 bin GWh'den 290 bin GWh'ye yükselmiştir. Elektrik tüketimi 2001 ve 2009 yılları dışında artış trendindedir. 2001 ve 2009 yıllarında meydana gelen ekonomik kriz elektrik tüketimini önemli ölçüde düşürmüştür. 2018 yılı Mayıs ayı sonu ile elektrik enerjisi üretimimiz 118 bin GWh, tüketimimiz 120 bin GWh'dir. (EPIAŞ, 2018).



Şekil 2. Türkiye elektrik üretim ve tüketimleri (GWh)

Kaynak: EPIAŞ, 2018.

Şekil 3'te elektrik tüketiminin tüketici grupları bazında dağılımı verilmiştir. Sanayi grubu tüketiminin %45,05'lik oran ile toplam tüketim içinde en yüksek paya sahip olduğu, sanayi grubunu mesken (%24,02) ve ticarethane (%27,79) tüketimlerinin takip ettiği görülmektedir. Toplam elektrik tüketimi artma eğiliminde iken sanayi ve mesken grupları elektrik tüketimlerinin toplam tüketim içindeki payı az da olsa düşmektedir. (Nişancı, 2005: 108-111). Bu durum, diğer tüketici gruplarının tüketimlerdeki artışla açıklanabilir. (Kullen, 1999: 2-4).



Şekil 3. 2018 yılı elektrik tüketiminin tüketici grupları bazında % dağılımı

Kaynak: EPIAŞ, 2018.

Türkiye elektrik talebi bölgelere göre değişkenlik göstermektedir. Kişi başı elektrik tüketimi Marmara Bölgesinde en yüksektir. Marmara Bölgesi'ni sırasıyla Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Ege, İç Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Marmara Bölgesi'nde sanayi tesislerinin yoğun olduğu İstanbul, Kocaeli, Bursa, Tekirdağ, Çanakkale ve Yalova gibi şehirler tüketimi artırırken, Akdeniz Bölgesi'nde turizm, sanayi, tarım ve hayvancılık faaliyetleri elektrik tüketimini artırmaktadır. Kişi başı yıllık elektrik tüketiminin ortalama seviyede olduğu bölgeler ise Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgeleri'dir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde tüketime en büyük katkıyı sanayi açısından Gaziantep yapmaktadır. Ege Bölgesi'nde ise sanayi başta olmak üzere turizm elektrik tüketimine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. (EİGM, 2015b: 75-77; TEİAŞ ve TÜBİTAK, 2013: 24-30).

Enerji ihtiyacı artmakta olan ülkemizde, arz-talep dengesinin kurulması gerekliliği gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu dengenin kurulamaması, gelişmekte olan ülkemizin sosyal ve ekonomik hedeflerini olumsuz etkilemektedir. (Akın, 2010: 11-13; Tugal, 2014: 27-28). Son yıllarda, elektrik enerjisi sektöründe yapılan reformla özellikle kısa dönemli başarılı öngörülerin yapılma ihtiyacı artmıştır. Bu çalışma, gerek yakın tarihteki verilerin kullanılması gerekse günlük frekansta öngörülerin yapılması ile literatürde yer alan çalışmalardan farklılaşmaktadır.

3. Talep Tahmin Yöntemleri

Kurulması istenen arz-talep dengesini sağlamak adına devlet ve özel sektör firmaları birbirlerinden bağımsız çalışmalar yürütmekte ve farklı modeller geliştirmektedirler. Özellikle elektrik piyasalarında özelleştirilmeye gidilmesi, yapılacak çalışmalar ve yenilikler için farklı metotlar kullanılmasına ve çeşitliliğe zemin hazırlamıştır. Günümüzde tüketim

miktarları kesin olarak tahmin edilememekle birlikte gerçekleşecek tüketim miktarlarına yakın sonuçlar veren modeller ortaya konmuştur.

Birçok talep tahmin yöntemi kullanılmakla birlikte literatürde en sık kullanılanları, çoklu en küçük kareler yöntemi (EKK), iteratif yöntemler, otoregresif (AR), otoregresif hareketli ortalamalar (ARMA) yöntemi, otoregresif özbağlanımsal hareketli ortalamalar (ARIMA) yöntemi, genetik algoritma ve sinir ağları olarak sayılabilir. (Singh vd., 2013: 39-45). Akan ve Tak (2003) elektrik fiyatları, GSMH ve nüfus verileri ile yıllık elektrik tüketimlerini kullanarak çoklu EKK modeli kurmuşlardır. Uslu vd. (2013) yaptıkları çalışmada sanayi üretim endeksi, sıcaklık ve tatil günleri verileri ile aylık elektrik tüketim değerlerini tahminleyen bir EKK modeli kurmuş farklı senaryolarla elektrik talep projeksiyonları oluşturmuşlardır. Literatürde çevresel/meteorolojik faktörleri dikkate alan otoregresif yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. (Demirel vd.,2010; Kullen, 1999; Gültekin, 2009;Taylor vd., 2006). Dilaver ve Hunt (2011b), Demirel vd. (2010) ve Mahmutoğlu ve Öztürk (2015) tarafından yapılan çalışmalarda geçmişe ait yıllık elektrik tüketim verileri kullanılarak ARIMA yöntemiyle elektrik talep tahminleri yapılmıştır. Altınay (2010) tarafından yapılan çalışmada ise 1995-2000 yılları arası aylık elektrik tüketimleri ile ARIMA yöntemi uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanımı giderek artan diğer bir yöntem ise genetik algoritma, sinir ağları vb. metodların kullanıldığı yapay zekâ modelleridir. Toker ve Korkmaz (2009) tarafından yapılan çalışmada sıcaklık, nem, ısınma günleri ve takvim günlerinin kullanıldığı bir yapay sinir ağları (YSA) modeli geliştirilmiş, bu modelle elektrik tüketim tahmini yapılmıştır. Hamzaçebi (2007) ise 1970-2004 yılları arası Türkiye yıllık elektrik tüketim verilerini kullanarak yapay sinir ağları temelli bir model geliştirmiş, 2020 yılına kadar yıllık elektrik tüketimini tahmin etmiştir.

Talep tahminlerini, kullanılacak verilerin frekansına göre kısa, orta ve uzun dönemli tahminler olmak üzere üçe ayırmak mümkündür. Genel olarak kısa vadeli tahminler saatlik, günlük ve haftalık verilerle; orta vadeli tahminler aylık ve 3 aylık verilerle; uzun vadeli tahminler ise yıllık verilerle yapılmaktadır. Kısa vadeli tahminler üretim ve iletim planlamalarının yapılması ve güvenlik analizleri için oldukça önemlidir. Orta vadeli tahminler üretici firmanın yakıt tedarikinde; uzun vadeli tahminler ise özellikle kapasite belirlemede önem arz etmektedir. (Almehaie ve Soltan, 2011: 128; Feinberg ve Genethliou, 2005: 267-271; Rothe vd., 2009: 302-303).

Tahmin modelleri kurulurken, modelin geçerli olacağı bölgeye ait talep miktarı, demografik yapı, makroekonomik ve mikroekonomik veriler kullanılmaktadır. Bu verilere, GSYH, işsizlik oranları, kapasite kullanım oranları, tüketim endeksleri, sıcaklık değerleri vb. dâhildir. Kurulan modeller, verilerin saatlik, günlük, aylık veya yıllık olmalarına göre değişiklik göstermektedirler. (Akan ve Tak: 2003: 21-22; Altınay, 2010: 6-11; Demirel vd., 2010: 601-604; Erdoğan, 2007: 1134; Kankal vd., 2011: 1929-1930; Pessanha ve Leon, 2015: 529-535; Yavuzdemir, 2014: 72-74).

4. Literatür Taraması

Enerji talebinin anlamlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi amacıyla literatürde birçok farklı tahmin yöntemi ve değişken kullanılmıştır.

Akan ve Tak (2003) tarafından Türkiye için elektrik talebi toplam ve tüketici grupları bazında ekonometrik yöntemle modellenmiş; hata düzeltme modeli kullanılarak 2001-2005 yılları arası talep projeksiyonu yapılmıştır. Çalışmada 1970-2000 yılları arası yıllık elektrik tüketimleri, elektrik fiyatları, GSMH, nüfus, elektrikli ev aletleri üretimi, bina sayısı değişkenleri kullanılmıştır. Makalede model iki aşamada kurulmuş; ilk aşamada uzun dönemli, ikinci aşamada ise kısa dönemli ilişkiler analiz edilmiştir. İlk aşamada logaritmik formda kullanılan değişkenler EKK yöntemi ile modellenmiş; ikinci aşamada eşbütünlük ve hata düzeltme modelleri kurulmuş, bu sayede uzun dönemli ilişkinin kurulduğu ilk aşamadan kısa dönemli ilişkinin ortaya konduğu ikinci aşamaya geçilmiştir. Değişkenlerin kişi başı değerleri ile yapılan talep projeksiyonunda, 2005 yılı için Türkiye toplam elektrik enerjisi talebi 127-150 bin GWh aralığında; sektörel bazda ise sanayi elektrik talebi 60-70 bin GWh aralığında, ticarethane elektrik talebi 9-12 bin GWh, konut elektrik talebi 26-30 bin GWh, resmi daire elektrik talebi 6-7 bin GWh, son olarak aydınlatma elektrik talebi 6-9 bin GWh aralıklarında öngörülmüştür. 2005 yılı gerçekleşmiş elektrik tüketimi ise 160 bin GWh civarındadır. Akan ve Tak (2003) tarafından yapılan tahmin yaklaşık %12,5 sapmaya sahiptir.

Hamzaçebi (2007), Türkiye'nin net elektrik tüketimini sektörel bazda 2020 yılına kadar öngörmüştür. Yapılan çalışmada 1970-2004 yılları arası yıllık elektrik tüketim değerleri sektörel bazda ayrıştırılmış; yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak modelleme yapılmıştır. Kurulan modelle 2003-2004 dönemi için yapılan tahminler doğrulama amaçlı kullanılmış; tahmini değerler ile gerçekleşen tüketim değerleri kıyaslanmıştır. Buna göre elektrik talep tahminlerinde mesken için %3,3, endüstri için %2,5, tarımsal sulama için %3,5, ulaşım için yaklaşık %23,59'luk sapmalar ortaya çıkmıştır. 2020 yılı için yapılan tahmin sonucunda ise talebin yaklaşık 500 bin GWh olacağı; bu miktarın %49,90'ının mesken, %45,67'sinin endüstri, %3,65'inin tarımsal sulamaya ve %0,76'sinin ulaşım sektörlerine ait olacağı öngörülmüştür.

Akay ve Atak (2007), 1970-2004 yılları arası elektrik tüketim verilerini kullanarak gri tahmin yöntemi (GPRM) ile Türkiye'nin 2005-2015 yılları arasındaki elektrik talebini tahmin etmişlerdir. 2015 yılı elektrik tüketimi 265 bin GWh olarak tahmin edilmiş; 263 bin GWh olarak gerçekleşmiştir. Yapılan çalışma sonucu GPRM yöntemi ile bulunan sonuçların Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan tahminlerden daha başarılı olduğu görülmüştür.

Erdoğan (2007), eşbütünlük analizi ve ARIMA modeli ile elektrik talep tahmini yapmış ve sonuçları Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) resmi öngörülerini ile kıyaslamıştır. Bu çalışmada sadece geçmiş dönemlere ait elektrik tüketim verileri kullanımının yeterli olduğu ARIMA modeli tercih edilmiştir. Modelin kurulması amacıyla

1923-2004 yılları arası elektrik tüketim değerleri (GWh) kullanılmış, modeli doğrulamak için ise 2000-2004 yılları arası elektrik talebi tahmini yapılmış ve tahmin sonuçları gerçek tüketim değerleri ile kıyaslanmıştır. Tahmin edilen tüketim ile gerçekleşmiş tüketim arasında yıllık yaklaşık %2,2'lik sapma ortaya çıkmıştır. Doğrulama işlemi ardından 2005-2014 yılları arası için yıllık talep tahmini yapılmış; talebin yıllık ortalama %3,3'lük oranla artmaya devam edeceği sonucuna varılmıştır. 2014 yılı elektrik talebinin 2004 yılına kıyasla %37 oranında artarak yaklaşık 160 bin GWh olacağı öngörülmüştür. 2014 yılı gerçekleşen elektrik tüketimi ise 257 bin GWh'tir.

Toker ve Korkmaz (2009) tarafından yapılan çalışmada, kısa vadeli elektrik tüketimini tahmin etmek amacıyla 3 alt modelden oluşan melez bir model kurulmuştur. Tüketim verisindeki mevsimsellik spektrum analizi yöntemi ile ayrıştırılırken; veri içerisindeki doğrusal bağlantı AR filtreleme yöntemi ile ortaya çıkarılmıştır. Son olarak tüketimin sıcaklık, ısınma günleri ve takvim günü girdileri ile bağlantısı yapay sinir ağları ile incelenmiştir. Veri olarak elektrik tüketim miktarları, sıcaklık ve diğer gerekli meteorolojik etkenler (nem, yağış, rüzgâr vb.), günlük güneş alma süresi ve takvim günleri kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ve ileri sinyal işleme teknikleri kullanılarak saatlik frekansta günlük ve haftalık tahminler yapılmıştır. Yapılan analizde, tüketim verileri ile diğer veri setleri arası korelasyonlara bakılmış; yüksek korelasyona sahip verilerin sıcaklık, nem, ısınma günleri ve takvim günleri olduğu görülmüştür. Mevcut verilerin %80'i modeli oluşturmak, kalanı ise modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Yapılan çalışmada 2008-2009 yıllarına ait toplam elektrik tüketimi ve İstanbul ili meteorolojik verileri modele dâhil edilmiştir. Hata payı yaklaşık %2,5'in altında olan melez bir model ortaya konmuştur.

Demirel vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada 1970-2007 yılları arası GSMH, üretilen enerji, tüketilen enerji, nüfus ve kurulu güç verileri kullanılmış; bu verilerle adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve ARIMA yöntemleri kullanılarak talep tahmin modelleri kurulmuştur. Kurulan modellerle 2006-2010 yılları arası elektrik talep tahminleri yapılmıştır. ARIMA modeli için 1970-2005 yılları arası tüketim verileri kullanılmış; kurulan modelle 2005-2010 yıllarına ait elektrik talep değerleri tahmin edilmiş; 2006 ve 2007 yıllarına ait gerçek tüketim değerleri ile tahmin sonuçları kıyaslanarak doğrulama yapılmıştır. 2006 yılına ait tahmin ile gerçekleşen elektrik tüketim arasında %4,3'lük bir sapma ortaya çıkmışken; bu değer 2007 yılında %6,3 olarak hesaplanmıştır. ANFIS modelinde 1970-2007 yılları arası veriler modelin kurulması amaçlı; 1988-2005 yılları arası veriler modelin test edilmesi amaçlı kullanılmış; 2008-2010 yılları arası elektrik talebi tahmin edilmiştir. ARIMA yöntemi ile yıllık elektrik talep tahminleri 2008 yılı için yaklaşık 153 bin GWh, 2009 yılı için 160 bin GWh ve 2010 yılı için 168 bin GWh olarak öngörülmüştür. ANFIS yöntemine göre yıllık elektrik tüketimleri ise 2008 yılı 165 bin GWh, 2009 yılı 175 bin GWh ve 2010 yılı 184 bin GWh olarak tahmin edilmiştir.

Altınay (2010) yaptığı çalışmada, 1995-2008 yılları arası Türkiye için aylık toplam elektrik tüketimlerini (GWh) kullanarak 2009 yılı için aylık talep tahmini yapmıştır. Sürekli artış eğiliminde olan ve hava koşulları, gün uzunluğu, iktisadi faaliyetler gibi mevsimsel etkiler taşıyan tüketimin modellenmesi için bu çalışmada mevsimsel ARIMA modeli kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en uygun modelin SARIMA(0,1,1)x(1,1,1) olduğuna karar verilmiştir. Makalede ayrıca birinci analizle kıyaslanması amacıyla mevsimselliğin kukla değişkenlerle deterministik olarak ele alındığı ikinci bir analiz yapılmıştır. Bu analiz için en uygun model SARIMA(1,1,0)x(2,0,1) olarak belirlenmiştir. Yapılan iki analiz kıyaslandığında, stokastik modelin deterministik modele göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Dilaver ve Hunt'un (2011b) yaptığı çalışmada 1960-2008 yılları arası yıllık elektrik tüketim miktarları girdi olarak kullanılarak 2020 yılı elektrik talep tahmini yapılmıştır. 1960-2008 yılları arasında Türkiye'nin toplam elektrik tüketiminin yıllık ortalama %9,4 oranında artarak 159 bin GWh olacağı öngörülmüştür. 2008 yılı gerçekleşen yıllık elektrik tüketimi ise 198 bin GWh'tir. Çalışmada yöntem olarak yapısal zaman serisi modeli kullanılmış ve 2020 yılı Türkiye elektrik talebinin 259-368 bin GWh aralığında olacağı tahmin edilmiştir.

Uslu vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada 2014 yılı için aylık elektrik talebini tahmin etme amacıyla veri olarak 2010-2013 yılları arası aylık elektrik tüketim değerleri, sanayi üretim endeksi, İstanbul ve Ankara için ortalama aylık sıcaklık bilgileri, aylık iş ve tatil günleri kullanılmıştır. Çalışma günlerindeki elektrik tüketiminin tatil günlerindeki elektrik tüketiminden daha yüksek olacağı düşünüldüğünden, çalışma günleri ile tatil günleri modelde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Eviews programı ile yapılan analizde yukarıda geçen parametrelere ek olarak mevsimselliğin etkisinin daha iyi verilebilmesi için bir önceki seneye ait elektrik tüketim değerleri de modele dâhil edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda Ankara için soğuk gün sayısı dışındaki tüm değişkenler %5 seviyesinde anlamlı sonuç vermiştir. 2014 yılı için elektrik talebi ise yaklaşık 250 bin GWh olarak tahminlenmiştir. 2014 yılı Türkiye elektrik talebi ise 257 bin GWh olarak gerçekleşmiştir. Uslu vd. (2013) tarafından yapılan analiz yaklaşık olarak %2,72 hata payına sahipken, aynı dönem için elektrik talebini tahmin eden Erdoğan (2007) yaklaşık %30 sapma göstermiştir.

Mahmutoğlu ve Öztürk (2015) çalışmalarında Türkiye için 2015-2023 yılları arası brüt elektrik talep tahmini yapmışlardır. Tahmin, 1970-2011 yılları arası yıllık elektrik tüketim verileri ve ARMA tahmin modeli kullanılarak yapılmıştır. Kurulan model ile 2015 yılı elektrik talebi 271 bin GWh ve 2023 yılı elektrik talebi 486 bin GWh olarak tahmin edilmiştir. 2015 yılı gerçekleşen Türkiye elektrik talebi 240 bin GWh'tir. Yapılan çalışma sonucu yaklaşık %13 sapma ile elektrik talep tahmini yapılmıştır. Türkiye için yapılan elektrik talep tahmini çalışmaları aşağıda Tablo 5'te özetlenmiştir (Tutu, 2017).

Pakistan'da artan elektrik kesintilerinin olumsuz etkileri, araştırmacıları elektrik enerjisi sektöründe araştırma ve çalışma yapmaya yönlendirmiştir. Hussain vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada 1980-2011 yılları arası günlük elektrik tüketim miktarları veri olarak seçilmiştir. Holter Winter ve ARIMA yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada, sektörel bazda 2012-2020 yılları elektrik enerji talep öngörülerinde bulunulmuştur. Çalışma sonucunda, hata terimleri

kıyaslandığından Holter Winter yönteminin ARIMA yöntemine kıyasla çok daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Son ve Kim (2017) çalışmalarında Kuzey Kore'nin aylık elektrik tüketimlerini öngörmüşlerdir. Yaptıkları kapsamlı literatür araştırması sonucunda aylık elektrik tüketimini birçok meteorolojik, ekonomik ve demografik değişkenin etkilediği sonucuna varmışlardır. Kuzey Kore'yi 9 referans bölgeye ayıran Son ve Kim (2017), bölgelere verdikleri nüfus ağırlıklarına göre bu bölgelerden alınan meteorolojik verileri (ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, ısıtma gün sayısı, soğutma gün sayısı, hava basıncı, toplam güneş ışınımı, buhar basıncı vb.) hesaplayarak Kuzey Kore için ortalama değerlere ulaşmışlardır. Elektrik tüketimini etkileyen en önemli faktörün, tüketicilerin davranışları olduğu fikrinden yola çıkan araştırmacılar, bölgelere nüfuslarına göre ağırlık vermişlerdir. Ek olarak, GSYH, sanayi üretim endeksi, tüketici fiyat endeksi ve elektrik fiyatı değişkenlerini de çalışmalarına dahil etmişlerdir. 1991-2012 yılları arasında aylık verilerin kullanıldığı çalışmada, ilk 240 veri modelin kurulması ve son 24 veri modelin test edilmesi amacıyla ayrılmıştır. Son ve Kim (2018), modellerinde kullanacakları değişkenlere karar vermek amacıyla destek vektör makinesi (DVM) yöntemini ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasını kullanarak, Kuzey Kore'de aylık elektrik tüketimini en iyi açıklayacak değişkenlere karar vermişlerdir. Bu değişkenler, ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, toplam güneş ışınımı, soğutma gün sayısı, buhar basıncı, tüketici fiyat endeksi ve elektrik fiyatıdır. Bir sonraki aşamada ise değişkenler ve DVM yöntemi kullanılarak aylık tüketim öngörülerinde bulunulmuştur.

Tablo 1. Türkiye ve başka ülkeler için yapılmış bazı elektrik talep tahmin çalışmaları

Makale	Yöntem	Bağımsız Değişkenler	Tahmin edilen dönem	Veri	Tahminlenen Dönem
Akan ve Tak (2007)	EKK	Elektrik fiyatları, GSMH, Elektrikli ev aletleri üretimi, İ	Yıllık elektrik tüketimi	1970-2000	2001-2005
Hamzaçebi (2007)	YSA	Yıllık elektrik tüketimi	Yıllık elektrik tüketimi	1970-2000	2020
Akay ve Atak (2007)	Gri Tahmin Yöntemi	Yıllık elektrik tüketimi	Yıllık elektrik tüketimi	1970-2000	2005-2015
Erdoğan (2007)	ARIMA	Yıllık elektrik tüketimi	Yıllık elektrik tüketimi	1923-2000	2005-2014
Toker ve Korkmaz (2009)	YSA ve İleri Sinyal Teknikleri	Sıcaklık, Nem, Isınma günleri	Saatlik elektrik tüketimi	2008-2009	2009
Demirel vd. (2010)	ARIMA ve ANFIS	SMH, Üretilen enerji miktarı, Kurulu güç	Yıllık elektrik tüketimi	1970-2000	2005-2010 (ARIMA) 2008-2010 (ANFIS)
Altınay (2010)	ARIMA	Aylık elektrik tüketimi	Aylık elektrik tüketimi	1995-2000	2009
Dilaver ve Hunt (2010)	Yapısal Zaman Serisi	Yıllık elektrik tüketimi	Yıllık elektrik tüketimi	1960-2000	2020
Uslu vd. (2013)	EKK	Sanayi üretim endeksi, Sıcak günleri	Aylık elektrik tüketimi	2010-2011	2014
Mahmutoğlu ve Öztürk (2015)	ARIMA	Yıllık elektrik tüketimi	Yıllık elektrik tüketimi	1970-2011	2015-2023
Hussain vd. (2012)	Holter Winter ve ARIMA	Günlük elektrik tüketimi	Günlük elektrik tüketimi	1980-2011	2012-2020
Son ve Kim (2018)	DVM ve PSO	Aylık elektrik tüketimi	Aylık elektrik tüketimi	1991-2011	2011-2012

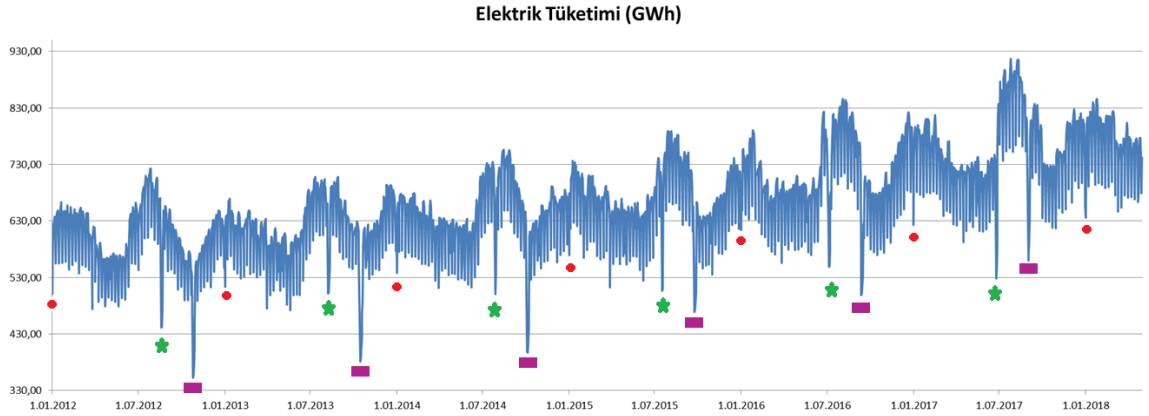
5. Veri

Kısa dönemli elektrik talep tahmininde meteorolojik faktörlerin ve takvim etkisinin ön planda olmasından dolayı bu çalışmada, elektrik tüketim miktarları, sıcaklık verileri ile günler ve bayramlar için kukla değişkenler kullanılmıştır. Kullanılan veriler, Ocak 2012 - Nisan 2018 dönemi için Enerji Piyasaları İşletmeleri A.Ş. (EPIAŞ) resmi internet sitesinden ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

EPIAŞ resmi internet sitesinden saatlik frekansta alınan elektrik tüketim miktarları, günlük toplamları alınarak günlük frekansa dönüştürülmüş; dönüştürülen bu veriler Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4'e bakıldığında elektrik tüketiminin artış eğiliminde olduğu ve mevsimsel özellik taşıdığı görülmektedir.

Elektrik tüketimi yaz ve kış aylarında soğutma ve ısıtma amaçlı kullanımlarla artmakta, bahar aylarında ise yaz ve kışa kıyasla azalmaktadır. Mevsimler bazında elektrik tüketimleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla yaz, kış, sonbahar ve ilkbahar aylarında gerçekleşmektedir. (Şekil 4). Ayrıca elektrik tüketim miktarları haftanın günleri düzeyinde de farklılık göstermektedir. En yüksek elektrik tüketimleri pazartesi ve perşembe günleri, en düşük elektrik tüketimleri cumartesi ve pazar günleri gerçekleşmektedir. (Altınay, 2010: 6-7; EİGM, 2015a: 5-8; Feinberg ve Genethliou, 2005: 269-27).

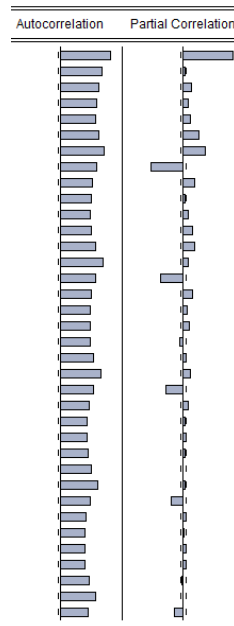
Şekil 4'te görüldüğü üzere her yılın belirli dönemlerinde elektrik tüketiminde ani düşüşler meydana gelmektedir. Bu ani düşüşlerin yılbaşı, resmi ve dini bayramlara denk geldiği saptanmıştır. Şekil 4'te kırmızı işaretli noktalar yılbaşlarını, yeşil yıldız işaretli noktalar ramazan bayramı tatillerini ve mor dikdörtgen işaretli noktalar kurban bayramı tatillerini göstermektedir. İşaretli günlerde veya dönemlerde elektrik tüketiminde önemli düşüşler gözlenmekte, en büyük düşüş kurban bayramı tatillerinde gerçekleşmektedir. Tüketimde belirli dönemlerde gerçekleşen bu talep düşüşlerini modele yansıtılabilmek amacıyla yılbaşlarına, ramazan ve kurban bayramı tatillerine kukla değişkenler atanmıştır.



Şekil 4. 2012-2018 yılları arası Türkiye elektrik tüketim verileri (GWh)

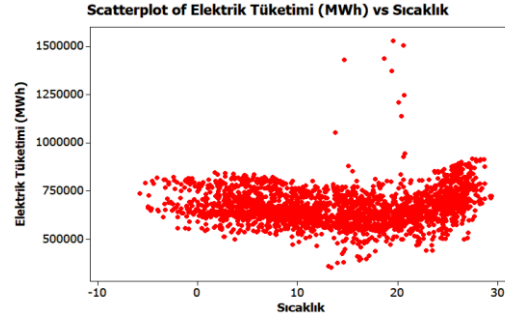
Kaynak: EPIAŞ, 2018.

Öngörülecek elektrik tüketim miktarları ile geçmiş döneme ait tüketim miktarları arasında pozitif bir ilişki mevcuttur. Elektrik tüketim dinamikleri düşünüldüğünde ve veri takvim etkisinden arındırıldığında, bir zaman serisi olarak elektrik tüketiminde otoregresif yapı görülmektedir. Bu etkileşim, aşağıda Şekil 5'te verilen elektrik tüketiminin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafiklerinde açıkça görülmektedir. Bu nedenle, kurulacak talep tahmin modeline geçmiş döneme ait tüketim verileri de eklenmiştir. (Aydın vd., 2015: 36-38; Mahmutoğlu ve Öztürk, 2015: 13; Toker ve Korkmaz, 2009:3).



Şekil 5. Günlük elektrik tüketimi otokorelasyon analizi

Elektrik tüketimini etkileyen faktörlerin başında sıcaklık gelmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) iller bazında saatlik olarak temin edilen sıcaklık değerleri (°C) günlük ortalamalar alınarak Türkiye geneli için günlük frekansa dönüştürülmüştür. Sıcaklığın en yüksek olduğu Temmuz ve Ağustos ayları ile sıcaklığın en düşük olduğu Ocak ve Şubat aylarında elektrik talebi artan ve azalan sıcaklığa paralel olarak artmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi sıcaklık ile elektrik tüketim verileri arasında parabolik bir ilişki mevcuttur; bu parabolik ilişki neticesinde belirli bir eşik sıcaklığın altına inildiğinde ya da üstüne çıkıldığında elektrik talebinin arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, çalışmada yeni bir kavram olarak eşik sıcaklık farkı tanımlanmıştır. Kurulan modelde hava sıcaklığının düzey değerlerinin yanı sıra belirlenen eşik sıcaklık değeri ile hesaplanan eşik sıcaklık farkı serisi de kullanılmıştır. (Aydın vd., 2015: 31; Uslu vd., 2013: 2-4). Bu şekilde mevsimsel etkiyi modellemek için farklı bir yaklaşım uygulanmış ve mevsimler modele deterministik kukla değişkenlerle değil, sıcaklık değişkeni aracılığıyla dâhil edilmiştir.



Şekil 6. Günlük sıcaklık değerleri (°C) ve elektrik tüketimi (MWh) dağılım grafiği
Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü(MGM), 2018

6. Analiz ve Bulgular

Bu bölümde ilk olarak seçilen bağımsız değişkenlerle elektrik tüketimi arasındaki ilişki incelenmektedir. Daha sonra modelin kurulması ve model varsayımlarının doğrulanması anlatılmaktadır. Son olarak, kurulan modelle elde edilen tahmini elektrik tüketimi değerleri ile gerçekleşen değerler karşılaştırılmaktadır.

6.1. Bağımlı ve Bağımsız Değişkenler

Yapılan literatür araştırması ve incelenen kamu raporları ışığında kısa dönemli elektrik tüketiminin en çok meteorolojik faktörlerden, özellikle sıcaklıktan, etkilendiği saptanmıştır. Bu faktörlerin elektrik tüketimini ne yönde ve ne ölçüde etkilediğini incelemek için söz konusu faktörlerin elektrik tüketimi ile korelasyonları incelenmiştir. Yapılan analizde elektrik tüketim değişkeninin doğal logaritması, sıcaklık ve eşik sıcaklık farkı kullanılmıştır.

Eşik sıcaklık farkı ve elektrik tüketimi arasındaki korelasyonun belirlenmesi için öncelikle 2012-Nisan 2018 dönemi için eşik sıcaklık farkı değeri belirlenmiştir. Eşik sıcaklık farkı, söz konusu eşik sıcaklık değeri ile günlük ortalama sıcaklık arasındaki farkın mutlak değeri olarak tanımlanmıştır. Elektrik tüketimi ile sıcaklık arasındaki parabolik ilişkinin varlığı neticesinde tanımlanan eşik sıcaklık farkı değişkenine ait verinin oluşturulması için öncelikle eşik sıcaklık değeri belirlenmiştir. Bu eşik değer parabolün dip noktası veya ona yakın noktalardan biri olduğu bir önceki bölümde verilen Şekil 6'da görülmektedir. Eşik değer 13°C ve 25°C aralığında olduğu öngörüldüğünden analizde bu sıcaklık aralığı kullanılmıştır. Tablo 2'de eşik sıcaklık farkları (eşik sıcaklık değeri ile günlük sıcaklık değeri arasındaki farklar) ile günlük tüketim değerleri arası korelasyonlar verilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı ve en yüksek korelasyon değeri 14°C'de olduğundan eşik sıcaklık değeri 14°C olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. 10°C ve 20°C arası eşik sıcaklık farklarının elektrik tüketimi ile korelasyonları

	Tüketim (MW)		Tüketim (MWh)
sıcaklık=25°C	-0,021 (0,315)	sıcaklık=14°C	0,315* (0,000)
sıcaklık=24°C	0,005 (0,822)	sıcaklık=13°C	0,309* (0,000)
sıcaklık=23°C	0,034 (0,101)	sıcaklık=14,1°C	0,315* (0,000)
sıcaklık=22°C	0,066* (0,001)	sıcaklık=14,2°C	0,315* (0,000)
sıcaklık=21°C	0,098* (0,000)	sıcaklık=14,3°C	0,315* (0,000)
sıcaklık=20°C	0,135* (0,000)	sıcaklık=14,4°C	0,314* (0,000)
sıcaklık=19°C	0,176* (0,000)	sıcaklık=14,5°C	0,313* (0,000)
sıcaklık=18°C	0,218* (0,000)	sıcaklık=14,6°C	0,313* (0,000)
sıcaklık=17°C	0,258* (0,000)	sıcaklık=14,7°C	0,312* (0,000)

Sıcaklık=16°C	0,289* (0,000)	Sıcaklık=14,8°C	0,311* (0,000)
Sıcaklık=15°C	0,308* (0,000)	Sıcaklık=14,9°C	0,309* (0,000)

*%1 seviyesinde anlamlı sonuçlar
Parantez içinde verilen değerler p-değerleridir.

Eşik sıcaklık değerinin 14 °C olarak belirlenmesinin ardından sıcaklık ve eşik sıcaklık farkı değişkenlerinin, elektrik tüketimi ile günlük frekansta korelasyonlarına bakılmıştır. Eviews programında yapılan analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, sıcaklık ve eşik sıcaklık farkı değişkenlerinin elektrik tüketimini %1 anlamlılık düzeyinde etkilediği; en yüksek korelasyonun eşik sıcaklık farkı değişkenine ait olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Elektrik tüketimi (bağımlı değişken) ile bağımsız değişkenler arası korelasyonlar

	Tüketim (MWh)
Sıcaklık (°C)	0,056* (0,000)
Eşik Sıcaklık Farkı (°C)	0,315* (0,000)

*%1 seviyesinde anlamlı faktörlerdir. Parantez içinde verilen değerler p-değerleridir.

6.2. Model

Elektrik talebini etkileyen bağımsız değişkenlerin ve eşik sıcaklık değerinin belirlenmesinin ardından tahmin modeli için EKK yöntemi kullanılarak model kurulmuştur. Takvim etkisini modele yansıtmak için haftanın günleri ve tatillere kukla değişkenler atanmıştır. Elektrik tüketimi, otoregresif bir yapıya sahip olduğu için önceki güne ait elektrik tüketim verileri de modele eklenmiştir.

Elektrik tüketim serisindeki mevsimsel etkiyi modele yansıtmak amacıyla aylara ve haftanın günlerine; tüketimdeki ani düşüşleri yansıtmak amacıyla da resmi tatillere kukla değişkenler atanmıştır. Ancak, eşik sıcaklık farkı değişkeni mevsimsel değişimi modele dâhil ettiğinden, deterministik olarak mevsimselliği açıklayan aylık kukla değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı olmadıkları için modelden çıkarılmıştır. Modelin kurulması için 2012-2017 yıllarına ait veriler, test edilmesi için ise Ocak-Nisan 2018 dönemine ait veriler kullanılmıştır. Analizde amaç, elektrik talebini gerçeğe en yakın şekilde öngörmeyi sağlayan ya da başka bir deyişle hata terimlerini olabildiğince düşük verecek katsayıları tahmin etmektir.

Sonuç olarak, eşik sıcaklık farkı, bir gün önceki elektrik tüketimi, haftanın günleri ve resmi tatillere ait kukla değişkenlerden oluşan modelde tüm bağımsız değişkenler %1 düzeyinde anlamlıdır. Kurulan model Türkiye elektrik talebini ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi %92,8 oranında açıklayabilmektedir. (Tablo 4). Kurulan model matematiksel olarak aşağıda verilen denklemle ifade edilebilir:

$$\ln(\text{Elektrik tüketimi}) = 0,0013 * \ln(\text{Eşik sıcaklık farkı}) - 0,080 * \text{Kukla değişken}_{\text{RamazanBayramı}} - 0,067 * \text{Kukla değişken}_{\text{KurbanBayramı}} - 0,105 * \text{Kukla değişken}_{\text{Yılbaşı}} - 0,091 * \text{Salı} - 0,110 * \text{Çarşamba} - 0,112 * \text{Perşembe} - 0,116 * \text{Cuma} - 0,153 * \text{Cumartesi} - 0,222 * \text{Pazar} + 0,917 * \ln(\text{Elektrik tüketimi})_{(-1)}$$

Tablo 4. Oluşturulan modele ait istatistiksel sonuçlar

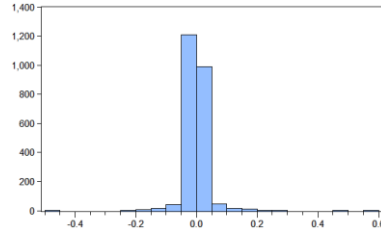
Bağımsız değişken	Katsayı	p-Değeri	Bağımsız değişken	Katsayı	p-Değeri
Eşik sıcaklık farkı	0,0013	0,000	Çarşamba	-0,0910	0,000
Kukla değişken _{RamazanBayramı}	-0,0800	0,000	Perşembe	-0,1100	0,000
Kukla değişken _{KurbanBayramı}	-0,0670	0,000	Cuma	-0,1120	0,000
Kukla değişken _{Yılbaşı}	-0,1050	0,000	Salı	-0,1160	0,000
Elektrik tüketim(t-1)	0,917	0,000	Cumartesi	-0,1530	0,000
R ² = 92,8			Pazar	-0,2220	0,000

Bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağıntı olması, kurulan modelin güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu nedenle, bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla değişkenlerin katsayılarına varyans büyütme faktörü (Variance Inflation Factor-VIF) analizi yapılmıştır. Bu analize göre, eğer bağımsız değişkenlere ait VIF değeri 1 ile 5 arasında ise değişkenler arasında çoklu doğrusal bağıntı yoktur. Tablo 5'te modelde yer alan değişkenlere ait VIF değerleri verilmiştir. Tüm VIF değerleri 1 ile 5 arasındadır; yani, değişkenler arasında çoklu doğrusal bağıntı yoktur.

Tablo 5. Varyans büyüme faktörü analizi sonuçları

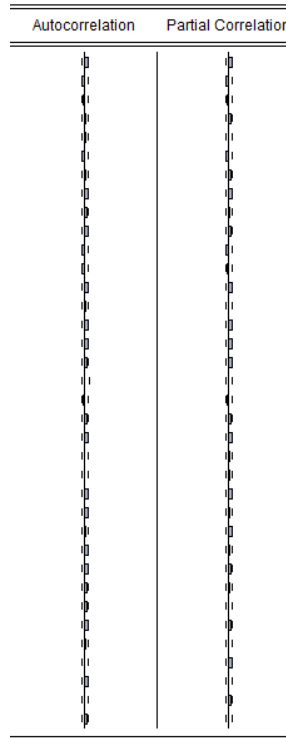
Bağımsız değişken	VIF	Bağımsız değişken	VIF	Bağımsız değişken	VIF
Ortalama sıcaklık	1,17	Ortalama rüzgar hızı	1,86	Ortalama nem	1,93
1 Ocak	1,03	1 Şubat	1,94	1 Mart	1,83
1 Nisan	1,09	1 Mayıs	1,94	1 Haziran	1,49
1 Temmuz	1,01	1 Ağustos	1,94		

EKK yöntemine göre modelin hata terimlerinin normal dağılıma sahip olması gerekmektedir. Şekil 7'ye bakıldığında hata terimlerinin normal dağıldığı ve ortalamalarının sıfır olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Hata terimlerine ait dağılım grafiği

Son varsayıma göre, hata terimlerinin birbirini izleyen değerleri arasında herhangi bir ilişki olmaması gerekmektedir. Bu nedenle, hata terimleri için otokorelasyon analizi yapılmıştır. Şekil 8'e bakıldığında hata terimleri, verilen gecikme uzunluklarında %5 düzeyinde anlamlı sonuçlar vermiştir. Yani, hata terimleri arasında otokorelasyon yoktur.

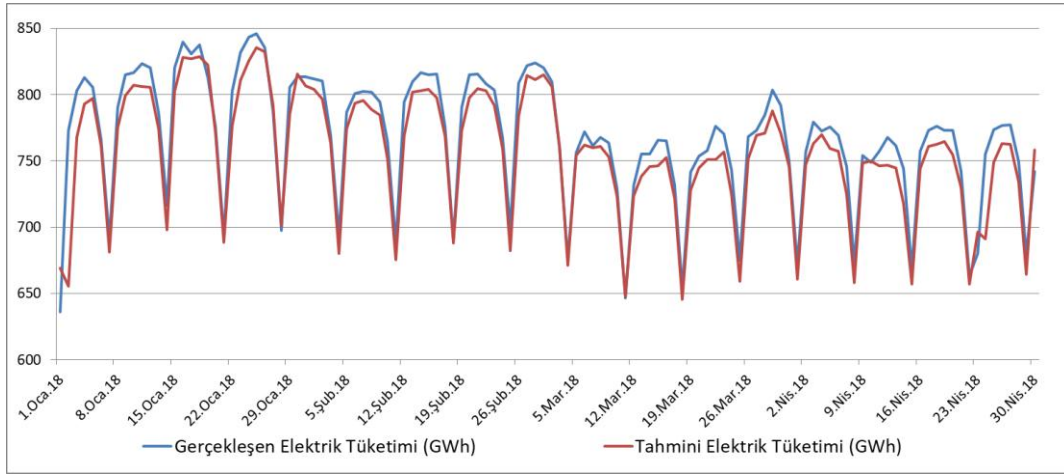


Şekil 8. Hata terimleri otokorelasyon analizi

6.3. Tahmin Sonuçları

Türkiye elektrik talebini günlük olarak öngörmesi hedeflenen modelin güvenilirliğine yönelik yapılan analizler sonucunda, modelin öngörü yapmakta kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında Ocak – Nisan 2018 dönemine ait günlük elektrik talep tahminleri yapılmış, tahminler gerçekleşmiş tüketim değerleri ile kıyaslanmıştır.

Şekil 9'da Türkiye için Ocak - Nisan 2018 dönemi elektrik talep tahminine ait grafik verilmiştir. Kurulan modelle tüketim trendi yüksek oranda yakalanmıştır.



Şekil 9. Ocak – Nisan 2018 dönemine ait gerçekleşen ve öngörülen elektrik tüketimleri

Tablo 6'da aylık frekansta öngörü sonuçları verilmiştir. Günlük tahminler, aylar bazında toplamları alınarak aylık frekansa dönüştürülmüştür.

Tablo 6. Aylık frekansta gerçekleşen ve öngörülen tüketim değerleri (GWh)

	Gerçekleşen Tüketim (GWh)	Tahmini Tüketim (GWh)
Ocak 2018	24544	24141
Şubat 2018	22816	22476
Mart 2018	23161	22846
Nisan 2018	21665	21946

7. Sonuç

Ülkemizde genellikle orta ve uzun dönem için elektrik talep tahminleri yapılmakta olup, tahminler özellikle yatırım ve kapasite belirleme amaçlı kullanılmaktadır. Ancak, dağıtım ve perakende şirketlerinin elektrik üretim ve iletim planlamalarını yapabilmeleri için kısa vadeli talep tahmin çalışmaları yaygınlaşmalıdır. Söz konusu şirketlerin, sürdürülebilir ve etkin bir yol haritası çizabilmeleri, tüketicilere kesintisiz, sürekli ve uygun fiyatlı hizmet verebilmeleri yapılan kısa vadeli tahminlerin başarısına bağlıdır. Bu amaçlara ulaşmak ve depolanamayan bir enerji türü olan elektrik enerjisini en verimli şekilde kullanmak amacıyla 2011 yılında, Gün Öncesi Piyasası (GÖP) adı verilen ve fiziki elektrik teslimatından bir gün önce işlem gören bir piyasa oluşturulmuştur. Piyasa katılımcılarının bir sonraki güne ait elektrik üretim ve tüketim planlarını paylaştığı bu piyasada ihtiyaç duyulacak enerjinin başarılı bir şekilde öngörülmesi, darboğazların veya enerji fazlasının ortaya çıkmasını engelleyecektir.

Yapılan literatür çalışması sonucu birçok faktörün elektrik tüketimini etkilediği görülmüştür. Ancak, kısa vadeli talep öngörülerinin yapılmasında en etkili faktörün sıcaklık olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcaklık ile elektrik tüketimi arasındaki parabolik ilişkinin varlığından yola çıkarak yeni bir değişken olarak eşik sıcaklık farkı değişkeni tanımlanmıştır. Bu değişken, modele hem sıcaklık hem de mevsimsellik etkisini vermiştir. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda bu sıcaklığın mevcut veriler için 14°C olduğu belirlenmiştir. Ocak 2012 – Nisan 2018 dönemine ait günlük veriler ve EKK yöntemi kullanılarak bağımsız değişken olarak eşik sıcaklık farkı, bir gün önceki elektrik tüketim değerleri ve zaman kukla değişkenlerinden oluşan model oluşturulmuştur. Modelde kullanılan tüm faktörler istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlıdır ve model %92,8 açıklayıcılıktadır. Kurulan modele göre Ocak – Nisan 2018 dönemi için günlük elektrik talep tahminleri yapılmıştır. Bu aylar için gerçekleşen günlük elektrik tüketim değerleri ile tahminler karşılaştırılmıştır. Elektrik talebi aylık frekansa getirildiğinde aylık tahmin ve gerçekleşen tüketim arasında Ocak ayı için %1,64, Şubat ayı için %1,49, Mart ayı için %1,34 ve Nisan ayı için %1,30 sapma mevcuttur. Söz konusu dönem için (Ocak-Nisan 2018) Türkiye'nin toplam elektrik tüketimi 92 bin 186 GWh olarak gerçekleşmiş; kurulan modelle tüketim 91 bin 409 olarak öngörülmüştür.

Kısa vadeli elektrik tüketim tahminlerinin başarısı, kullanılan veri setinin uzunluğu ile orantılıdır. Bununla birlikte, kurulan model neticesinde elde edilen sonuçlar elektrik tüketim talebini %92,8 oranında açıklamaktadır. Yapılan çalışmada, literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak günlük frekansta veriler kullanılmış ve eşik sıcaklık farkı değişkeni tanımlanmıştır. Ek olarak, elektrik tüketimleri sektörler bazında incelendiğinde, sanayi, mesken, ticarethane, aydınlanma ve diğerleri için farklı modeller kurulduğunda ya da sektörler için farklı ağırlıklar verilerek yeni bir model kurulduğunda gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akan, Yusuf ve Soner Tak. 2003. "Türkiye Elektrik Enerjisi Ekonometrik Talep Analizi." Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi: 21-41. Erişim tarihi:20 Şubat 2016. <http://e-dergi.atauni.edu.tr/atauniiibd/article/view/1025003570>.
- Akay, Diyar ve Mehmet Atak. 2007. "Grey prediction with Rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey." Energy 32: 1670-1675.
- Akın, Emre. 2010. "Hane Halkları Elektrik Talebi." Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi.
- Almehaie, Eisa ve Hassan Soltan. 2011. "A methodology for Electric Power Load Forecasting." Alexandria Engineering Journal 50: 137-144.
- Altınay, Galip. 2010. "Aylık Elektrik Talebinin Mevsimsel Model ile Orta Dönem Öngörüsü." Enerji, Piyasa ve Düzenleme: 1-23.
- Aydın, Derya, Ahmet Faruk Kavak ve Hüseyin Toros. 2015. "Isınma ve Soğuma Derece Günlerin Elektrik Tüketimi Üzerindeki Etkisi." Sempozyum bildirisi: 7TH ATMOSPHERIC SCIENCES SYMPOSIUM, İstanbul.
- Demirel, Özkan, Adnan Kakilli ve Mehmet Tektaş. 2010. "ANFIS ve ARMA Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini." Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi: 601-610.
- Dilaver, Zafer ve Lester C. Hunt. C. 2011a. "Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis." Energy Economics 33: 426-436.
- Dilaver, Zafer ve Lester C. Hunt. 2011b. "Turkish aggregate electricity demand: An Outlook to 2020." Energy 36: 6686-6696.
- EİGM. 2015a. "Bülten Ocak-Şubat 2015." Sayı 6: 4-9. Erişim tarihi: 22 Mayıs 2016. www.eigm.gov.tr/tr-TR/Bultenler.
- EİGM. 2015b. "Bülten Mart-Nisan 2015." Sayı 7: 72-84. Erişim tarihi: 22 Mayıs 2016. www.eigm.gov.tr/tr-TR/Bultenler
- EPIAŞ. 2018. "Şeffaflık Platformu." Erişim tarihi: 30 Mayıs 2018. <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/>.
- Erdoğan, Erkan. 2007. "Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey." Energy Policy 35: 1129-1146.
- Feinberg, Eugene A. ve Dora Genethliou. 2005. "Load Forecasting." Applied Mathematics Restructured Electric Power Systems içinde, yazar Eugene A. Feinberg ve Dora Genethliou, 269-285. Springer US.
- Gültekin, Ömer. 2009. "Bursa İli Orta Dönem Elektrik Talep Tahmini." Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- Hamzaçebi, Coşkun. 2007. "Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases." Energy Policy 3: 2009-2016.
- Hussain, Anwar, Muhammad Rahman ve Junaid Alam Memon. 2016. "Forecasting electricity consumption in Pakistan: the way forward." Energy Policy 90:73-80.
- Kankal, Murat, Adem Akpınar, Murat İhsan Kömürcü ve Talat Şükrü Özşahin. 2011. "Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables." Applied Energy 88: 1927-1939.
- Kullen, K. A. 1999. Forecasting Electricity Demand using Regression and Monte Carlo Simulation Under Conditions of Insufficient Data. Yüksek Lisans Tezi. West Virginia Üniversitesi, Tarım Ve Doğal Kaynaklar Ekonomisi. Batı Virginia.
- Mahmutoğlu, Murat ve Fahriye Öztürk. 2015. "Türkiye Elektrik Tüketimi Öngörüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri." Gazi Üniversitesi Ekonomik Yaklaşım Dergisi.
- MGM. 2018. "Türkiye için İller Bazında Günlük Meteorolojik Veriler." Dilekçe tarihi: Mayıs 2018.
- Nişancı, Murat. 2005. "Türkiye'de Elektrik Enerjisi Talebi ve Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki." Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi: 107-121.
- Pessanha, Jose Francisco Moreira ve Nelson Leon. 2015. "Forecasting long-term electricity demand in residential sector." Procedia Computer Science 55: 529-538.
- Rothe, J.P., A.K. Wadhvani ve S. Wadhvani. 2009. "Short Term Load Forecasting Using Multi Parameter Regression." International Journal of Computer Science and Information Security: 303-306.
- Singh, Arunesh Kumar, İbraheem S. Khatoun ve Md. Muazzam. 2013. "An Overview of Electricity Demand Forecasting Techniques." Journal of Network and Complex Systems: 38-44.
- Son, Hyojoo ve Changwan Kim. 2017. "Short-term forecasting of electricity demand for the residential sector using weather and social variables." Resources, Conservation and Recycling 123: 200-207.
- Taylor, James W., Lilian M. de Menezes ve Patrick E. McSharry. 2006. "A Comparison of Univariate Methods for Forecasting Electricity Demand Up to a Day Ahead." International Journal of Forecasting: 1-16.
- TEİAŞ ve TÜBİTAK. 2013. "2013 - 2022 Yılları Türkiye İletim Sistemi Bölgesel Talep Tahmin ve Şebeke Analiz Çalışması." Erişim tarihi: 4 Nisan 2016. <http://www.teias.gov.tr/Dosyalar/T%C3%BCrkiyeB%C3%B6lgeselTalepTahminPlaniv3.pdf>.
- TMMOB. 2015. Aylık Rapor. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a5a69d7ec06d9cd_ek.pdf, (05.05.2016). Ocak 2015 itibarıyla Türkiye'nin Enerji Görünüm Raporu. Ankara.
- Toker, Ahmet Cihat ve Ozan Korkmaz. 2009. "Türkiye Kısa Süreli Elektrik Talebinin Saatlik Olarak Tahmin

- Edilmesi." Erişim tarihi: 26 Mart 2016. http://www.emo.org.tr/ekler/d6d1c493ddc8662_ek.pdf.
- Tugal, Nergis. 2014. "Enerji Talebi ve Enerji Talebini Etkileyen Faktörler." Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Tutu, Behzat Ecem. 2017. "Türkiye İçin Kısa Vadeli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini." Yüksek Lisans Tezi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
- TÜİK. 2018. "Elektrik İstatistikleri." Erişim tarihi: 2 Haziran 2018. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029.
- Uslu, Mehmet Fatih, Barış Sanlı ve Tansel Temur. 2013. "Türkiye Aylık Elektrik Talep Modeli." Erişim tarihi: 15 Mart 2016. <http://www.barissanli.com/calismalar/2013/mfuslu-bsanli-ttemur-AETM.pdf>.
- Vaghefi, Seyed A., Mohsen A. Jafari, Emmanuel Bisse, Yan Lu ve Jack Brouwer. 2014. "Modeling and forecasting of cooling and electricity load demand." Applied Energy 136: 186-196.
- Yavuzdemir, Mustafa. 2014. "Türkiye'nin Kısa Dönem Yıllık Brüt Elektrik Enerjisi Talep Tahmini." Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi.