

## Elektrik Yükü Tahmin Yöntemlerinin Analizi

Tuğba AKMAN<sup>\*,a</sup>, Cemal YILMAZ<sup>\*,b</sup>, Yusuf SÖNMEZ<sup>\*,c</sup>

<sup>a,\*</sup> Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA, TÜRKİYE

<sup>b,\*</sup> Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA, TÜRKİYE

<sup>c,\*</sup> Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, ANKARA, TÜRKİYE

### MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 11.09.2018  
Kabul: 06.11.2018

#### **Anahtar Kelimeler:**

Yük tahmini, tahmin yöntemleri, YSA, enerji sistemleri

<sup>\*</sup>Tuğba Akman:

e-posta:  
tugba.akman@teias.go  
v.tr

### ÖZET

Enerji talebinin önemi, artan nüfus, şehirleşme, sanayi ve teknolojinin yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak yükselmesini sürdürmektedir. Enerjinin çok büyük bir kısmını ise elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Yük tahmini, güç sistemlerinin planlaması, işletilmesi ve kontrolünde önemli bir role sahiptir. Elektrik talebinden daha yüksek yük tahminleri, çok fazla güç besleme ünitelerinin devreye girerek aşırı enerji alımının başlatılmasına ve gereksiz rezerv sağlanmasına neden olur. Buna karşılık, daha düşük yük tahminleri, sistemin riskli bir bölgede çalışmasına neden olarak arz rezervinin yetersiz kalmasına neden olabilir. Aynı zamanda, enerji piyasalarında verilen pek çok kararın temelini yük tahminleri oluşturmaktadır. Yük tahmini sonuçlarına göre optimize edilen elektrik enerjisi fiyatları; elektrik piyasalarının etkin, şeffaf, güvenilir ve sektör ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde planlanmasına ve işletilmesine olanak sağlar. Bu çalışmada, literatürdeki akademik çalışmalarda yapılan yük tahmini için kullanılan yöntemlerin farklılıkları, avantajları ve dezavantajları anlatılmıştır.

DOI: 10.30855/GJES.2018.04.03.003

## Analysis of Electrical Load Forecasting Methods

### ARTICLE INFO

Received: 11.09.2018  
Accepted: 06.11.2018

#### **Keywords:**

Load forecasting, forecast methods, ANN, energy systems

<sup>\*</sup>Tuğba Akman

e-mail:  
tugba.akman@teias.go  
v.tr

### ABSTRACT

The importance of the energy demand sustains its rising in parallel with increasing population, urbanization, proliferation of industry and technology. A large part of the energy consists of electrical energy. The load forecasting has an important role in planning, operation and control of power systems. Higher load forecasting than the electrical demand leads to excessive energy intake by tripping the power supply units and causes ensuring unnecessary reserve. Conversely, lower load forecasting may cause ensuring insufficient reserves by resulting in the system to run in a risky area. At the same time, the basis for many decisions in energy markets is load forecasting. Electrical energy prices optimized according to the result of load forecasting allows the energy markets to plan and operate in an effective, transparent, reliable way and to meet sector needs. In this study, the differences, advantages and disadvantages of the methods used for load estimation in the academic studies in the literature are explained.

DOI: 10.30855/GJES.2018.04.03.003

## 1. INTRODUCTION (GİRİŞ)

Yük tahmini, güç sistemlerinin etkin çalışması ve planlanması için büyük bir öneme sahiptir. Tahmin doğruluğunun elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım sistemleri yatırımlarının planlanmasında, güç sistemi çalışmalarında, günlük sistem işletmesi üzerinde önemli etkisi vardır. Elektrik enerjisi talebinin yüksek tahmin edilmesi, yedek rezervlerin gereksiz kullanılmasına veya çok fazla güç ünitelerinin devreye girmesine neden olur. Bu durum da, riskli bir işletmeye ve güç sistemlerinin inşasında önemli ölçüde boşa harcamalara yol açar. Bununla birlikte düşük elektrik enerjisi tahminleri ise, elektrik enerji talebinin karşılanamayıp, arz rezervinin yetersiz kalmasına neden olabilir ve sistemin verimli bir şekilde işletilmesine engel olur. Yük tahmini genellikle enerji talebinin saatlik, günlük, haftalık ve yıllık değerlerinin tahmini ve puant yük talebi ile ilgilidir. Bu tahminler bazen zamana bağlı olarak kısa dönem, orta dönem ve uzun dönem tahminler olarak kategorize edilir. Son yıllarda elektrik enerjisi talebi tahmini için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. İstatistiksel modeller, parametrik yöntemler ve öğrenmeye dayalı tahmin yöntemleri benimsenmiştir. Özellikle lineer olmayan karmaşık problemlerde oldukça iyi tahmin sonuçları elde edilmesinden dolayı yapay zeka algortimalarına dayalı yöntemler kullanılarak yük tahmini yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının, sadece yük serilerini öğrenmekle kalmayıp, aynı zamanda yük ve hava durumu değişkenleri arasındaki belirsiz doğrusal olmayan bir ilişkiyi modelleyebilme yetenekleri olduğu görülmüştür. Son zamanlarda, makine öğrenme teknikleri ve bulanık mantık yaklaşımları yük tahmini için kullanılmış ve nispeten iyi performanslar elde edilmiştir. Bazı akademik çalışmalarda ise özellikle uzun dönem yük tahminleri için istatistiksel ve olasılıksal yaklaşımlar önerilmiştir. Günümüzde elektrik enerjisi talepleri doğrusal olmayıp ve değişken olup, hava koşulları, takvim etkisi, demografik ve ekonomik değişkenler ve bireysel kullanımdaki genel rastlantısallık gibi çok çeşitli dışsal değişkenlere tabidir. Çeşitli faktörlerin tahmin modeline nasıl etkin bir şekilde entegre edileceği ve doğru yük tahminlerinin nasıl elde edileceği, modern enerji sistemleri için her zaman bir sorun teşkil etmektedir. Bu çalışmanın amacı enerji piyasaları için kullanılan kısa dönem yük tahmini yöntemlerinin farklılıkları, avantajları ve dezavantajlarının araştırılarak olası uygun modellerin geliştirilmesine yardımcı olmaktır.

## 2. LİTERATURE REVIEV (LİTERATÜR TARAMASI)

Kaytez, kurulu güç, brüt elektrik üretimi, nüfus ve toplam abone sayısı bağımsız değişkenlerini belirleyip, çoklu lineer regresyon analizi (ÇLR), yapay sinir ağları (YSA) ve en küçük kareler destek vektör makineleri (EKK-DVM) metodlarını kullanarak 2018 yılına kadar Türkiye'nin net elektrik tüketim tahminini yapmıştır. EKK-DVM ile bulunan sonuçları, ÇLR ve YSA teknikleri sonuçları ile karşılaştırmıştır. Bulunan sonuçlar EKK-DVM'nin elektrik enerjisi tüketiminde iyi bir tahmin aracı olduğunu göstermiştir [1].

Başoğlu ve Bulut Türkiye'nin piyasa ve mevsimsel koşullarını göz önüne alarak, yapay sinir ağları ve uzman sistemlerin birlikte kullanıldığı, kısa vadeli elektrik talep tahminlerinde yüksek doğruluk derecesi sağlayan bir hibrit sistem geliştirmiştir. Geliştirilen hibrit sistem ile kısa vadeli dönemler için, gerçekleşen değerlere yakın tahmin sonuçları elde edilmiştir [2].

Kargar ve Charsoghi İran'daki yıllık elektrik tüketiminin tahmin edilmesine yönelik ekonomik kriterleri göz önüne alarak; nüfus, Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla (GSYİH), ithalat ve ihracat değişkenlerini girdi olarak kullanarak zaman serisi ARIMA modeli ve YSA modeli tasarlamıştır. Tasarlanan ağ modelleri karşılaştırıldığında YSA modelinin tahmin etme yeteneğinin gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır [3].

Fan ve Hyndman yük talebi ile takvim ve sıcaklık gibi bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için yarı parametrik regresyon modelleri önermiştir. Önerilen model, Avustralya Ulusal Elektrik Piyasası güç sistemleri için yarım saatlik tahminden yedi güne kadar olan sürede elektrik talebini tahmin etmek için kullanılmıştır. Kullanılan modelin performansını, örnek deneylerin yanı sıra güç sistemlerinden gelen gerçek veriler ile sistem işletmesi yerinde kullanılmasıyla doğrulamıştır [4].

Moturi ve Kioko kısa dönem elektrik yük tahminleri için yapay sinir ağına dayalı bir model geliştirmiştir ve Kenya Ulusal Elektrik İletim Şirketi güç sistemlerinde gerçek yük verilerini uygulayarak bir gün öncesinden yük tahmin etmek için modelin performansını değerlendirmiştir. Tahmin sonuçları incelendiğinde modelin yeterli sayıda veri ile test edilmesiyle oldukça iyi bir performans gösterebileceği anlaşılmıştır [5].

Senjyu ve arkadaşları yapay sinir ağları ile geliştirilmiş uyarlanabilir öğrenme algoritması ile gün içerisinde sıcaklık değişiminin yük tahminine etkisini araştırmıştır. Önerilen uyarlanabilir öğrenme algoritması öngörülen günün bir önceki yıl aynı gün öğrenme aralığını kullanmıştır. Önerilen yaklaşımın uygunluğu, Japonya'daki Okinawa Elektrik Şirketi'nin güç sistemi gerçek yük verilerine uygulanması yoluyla gösterilmiştir. Gün içerisindeki sıcaklık değişkenlerinin uyarlanabilir öğrenme algoritmasında kullanılmasıyla daha iyi tahminlerin yapıldığı görülmüştür [6].

Adepoju ve arkadaşları Nijerya Elektrik güç sistemi için yapay sinir ağları kullanarak yük tahminlerini bir saat önceden verebilen kısa dönem yük tahmini üzerine bir çalışma sunmuştur. Ağ, eğitim aşamasında kendisine verilen geçmiş yük verileri ile arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi belirleyerek yükün bir saat içinde ne olacağına dair bir tahmin yapabilmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, kısa dönem yük tahmini için yapay sinir ağlarının uygulanabilirliğini ve verimliliğini onaylamıştır [7].

Örün ve Karatekin İstanbul İli Avrupa Yakası'nı besleyen iletim hatları için yeterlilik analizi ile birlikte bölgenin elektrik enerjisi yük tahminini yapmıştır. Tahmin yöntemi olarak regresyon analizi kullanılmıştır. Puant yük verileri, şehrin nüfus ve Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) verileri bağımsız değişken olarak alınarak modellenen bölgenin 2025 yılına kadar puant yük tahmini yapılmıştır [8].

Oğurlu, Türkiye'nin 2010-2025 yılları arasındaki puant yük talebini ve toplam elektrik enerjisi talebini matematiksel modelleme kullanarak tahmin etmiştir. Kullanılan matematiksel model ile Model for Analysis of Energy Demand (MAED) karşılaştırıldığında oldukça pratik bir yöntem olması açısından matematiksel model ile yük tahmini yapılmasının kullanışlı ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu belirlemiştir [9].

Ceylan, 2002 ve 2003 yıllarına ait gerçek güç ve sıcaklık değerlerini kullanarak geriye yayılım algoritması ile eğitilen çok katmanlı yapay sinir ağı modeli ve regresyon analizi yöntemi ile Gölbaşı bölgesinin kısa dönem yük tahmini uygulamasını yapmış ve YSA yönteminin gerçek değerlere daha yakın sonuç verdiğini belirlemiştir [10].

Aksel, çok değişkenli regresyon analizi ve geri yayılım algortimalı yapay sinir ağı uygulamasını kullanarak yedi yıllık süreyi kapsayan uzun dönem yük tahmini çalışması yaparak, Türkiye ve İstanbul'un 2001, 2003 ve 2005 yılları puant yük ve enerji tüketim tahminlerini yapmıştır. Kullanılan iki yöntemin sonuçlarını birleştirme yöntemlerinden olan ağırlıklı ortalama yöntemiyle tek sonuca dönüştürmüştür [11].

Demirel ve arkadaşları tahmin yöntemlerinden Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems-ANFIS), Otoresif Hareketli Ortalamalar (Autoregressive Moving Average-ARMA) teknikleri ile elektrik enerjisi talep tahminlerini yapmış ve hangi yöntemin talep tahmininde daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur. ANFIS ve ARMA ile bulunan sonuçların karşılaştırmalı yorumları yapılarak önerilerde bulunmuştur [12].

Abdoos ve arkadaşları geçmiş benzer günlerin yük ve sıcaklık değerlerini kullanarak kısa dönem elektrik yük tahmini için yeni bir hibrit akıllı yöntem önermiştir. Tahmin doğruluğunu arttırmak için gün tiplerini belirleyerek destek vektör makineleri regresyon aracı olarak kullanmıştır. Karşılaştırmalı sonuçlar ile önerilen yöntemin, bazı tahmin algoritmaları ile karşılaştırıldığında, tahmin doğruluğu açısından önceliğini göstermiştir [13].

Eke, diferansiyel evrim algoritması (DE) ile yapay sinir ağlarının (YSA) karma bir çalışmasını DE-YSA yük tahmini için kullanmıştır. Yapay sinir ağları eğitiminde DE algoritmasının performansını test etmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında geliştirilen DE-YSA modelinin diğer metoda göre daha iyi bir performans gösterdiği anlaşılmıştır [14].

Shushu ve arkadaşları orta dönem yük tahmini için Grey modeli ile yarı-parametrik regresyon modelini birleştiren geliştirilmiş bir yöntem ortaya koymuştur. Tek model ile kombinasyon modeli arasında hata karşılaştırması yapmıştır. Test örneği sonuçlarına göre önerilen yöntemin daha yüksek hassasiyete sahip olduğu anlaşılmıştır. Önerilen yöntem için daha fazla veri kullanıldığında, daha doğru tahminler elde edilebileceğini belirtmiştir [15].

Ghanbari ve arkadaşları İran'ın yıllık elektrik yükünü tahmin etmek için Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon yaklaşımlarını kullanarak yük tahmini yapmıştır. Güvenilir ve

gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için GSYİH, nüfus, sosyo-ekonomik faktörler gibi yük tahminini etkileyen parametrelerin önemi belirtilmiştir. Yapılan tüm değerlendirmelere göre ANFIS modeli doğruluğunun diğer iki yaklaşımdan daha iyi olduğu belirtilmiştir [16].

Chogumaira ve Hiyama Avustralya Ulusal elektrik piyasası için geçmiş elektrik fiyat ve talep verilerini kullanarak yapay sinir ağı tabanlı kısa dönem yük tahmini yaklaşımı sunmuştur. Kesin olmayan ağı sınırları nedeniyle bulanık bir çıkarım tekniği kullanılmıştır. Geliştirilen sistemi test etmek için Avustralya Ulusal Elektrik Piyasası kullanılmıştır [17].

### 3. KISA, ORTA, UZUN DÖNEM YÜK TAHMİNLERİ (SHORT, MEDIUM, LONG TERM LOAD FORECAST)

Etkili güç sistemlerinin planlanması ve verimli bir şekilde işletilmesi için gerekli olan puant yük ve enerji talebinin tahmin edilmesinin temelini oluşturan yük tahmini kavramı ise; geçmişteki koşulların ve verilerin incelenerek gelecekteki durumun tahmin edilmesine dayanır. Zamana göre yapılan planlama çalışmalarına bağlı olarak yük tahminleri genel olarak kısa, orta, uzun dönem yük tahminleri olmak üzere tahmin döneminin uzunluğuna göre çeşitli dönemlere ayrılır.

#### 3.1. Kısa Dönem Yük Tahmini (Short Term Load Forecast)

Kısa dönem yük tahminleri genellikle saatlik tahminden bir haftaya kadar olan süre içerisinde yapılacak olan tahminleri kapsar. Kısa dönem yük tahminleri güç üretim koordinasyonu gibi işlevlerin planlanması için gereklidir. Bu koordinasyon, üretim kaynaklarının saatlik programlarının oluşturulması için kullanılabilir ve böylece enerji güç sistemleri işletme maliyeti en aza düşürülür. Aynı zamanda yapılan tahminler güvenlik analizi, ekonomik sevkiyat, yakıt planlaması ve ünite bakımı gibi enerji güç sistemleri temel işletme fonksiyonları için etkin bir rol oynamaktadır.

Buna ek olarak, kısa dönem yük tahmini kullanıcılara sürekli, güvenilir ve düşük maliyetli enerji sağlanması için akıllı şebekelerin önemli bir bileşenidir. Kullanıcıların enerji tüketimini azaltmaya veya enerji kullanım düzenini değiştirmeye yönelik enerji talep yönetimi için kolaylık sağlar. Değişen bu yük modellerinin önceden tahmin edilebilmesi için

yük tahmini yapılması gerekmektedir. Elektrik piyasalarının şeffaf, ekonomik ve güvenilir yönetilmesi, yük tahmininin ne kadar doğru olduğuna bağlıdır. Elektrik alım satımının fiyatlandırılması, mevcut enerji talebiyle ilgili alınan kararlara bağlıdır. Kısa Dönem Yük Tahmini için gerekli süreler göz önüne alındığında orta ve uzun dönem yük tahminlerine göre çok farklı parametreler içerir.

#### 3.2. Orta Dönem Yük Tahmini (Medium Term Load Forecast)

Orta dönem yük tahminleri bir aydan bir yıla kadar olan zamanı kapsayacak şekilde yapılan tahminlerdir. Orta dönem yük tahminleri güç sistemleri yıllık işletme bakım programlarının oluşturulmasında ve kısa süre içerisinde elektrik iletim sistemine dahil edilecek santrallerin planlanma çalışmaları ile kaynak yakıt planlaması ve hidroelektrik sistemlerin rezerv yönetimini belirlemek için kullanılır.

Uzun dönem yük tahminleri gibi orta dönem yük tahminleri de ülkenin ekonomik değerleri ile birlikte nüfus artışı, büyüme hızı gibi parametrelere bağlıdır. Ancak uzun dönem yük tahmininden farklı tahmin edilecek yıl veya ay içerisindeki bazı dönemlik olayların (Örneğin ülkede yapılacak bir olimpiyat aktiviteleri, mevsimlik iş kolları vs.) yük değerlerine etki etmesi söz konusudur.

#### 3.3. Uzun Dönem Yük Tahmini (Long Term Load Forecast)

Bir yıldan daha fazla tahminler söz konusu olduğunda bu uzun dönem yük tahmini olarak adlandırılır. Uzun dönem yük tahminleri için kullanılan parametreler daha çok ekonomik faktörlerdir. Örneğin ülkelerin büyüme hızı, nüfus artışı, GSMH gibi etkenler bu tahminler için önemli parametrelerdir.

Uzun dönem yük tahminleri gelecek nesil, enerji üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin geliştirilmesinde ilk adımdır. Uzun dönem yük tahminleri enerji sistemleri kapasitesinin genişletilmesi, enerji kaynak stratejilerinin belirlenmesi, sermaye yatırımları, gelir analizi ve enerji piyasası yönetimleri araştırma çalışmaları için gereklidir. Özellikle yeni piyasa yapısı altındaki tahminlerde önemli bir sapma, arz tesislerinin gereğinden fazla inşa edilmesine veya tüketici talebinin azaltılmasına neden olacaktır. Bununla birlikte, bazen önümüzdeki otuz yıl kadarını

kapsayacak şekilde karakterize edilen uzun dönem tahminler beraberinde çok sayıdaki belirsizliği de getirir. Bu belirsizliklere ülkelerin büyüme hızı, sosyo-ekonomik durum, özel durumların ortaya çıkması, aşırı iklim koşulları ve elektrik sektörünün serbestleştirilmesine bağlı olarak tarife yapılanmalarındaki olası değişiklikler nedeniyle üretimdeki rekabet oluşması örnek verilebilir.

Bu koşullar altında klasik tahmin teknikleriyle yapılan orta ve uzun dönem yük tahminleri, dinamik ve hızlı büyüyen güç sistemlerini planlanmak ve enerji talep tahmini oluşturmak için yetersiz kalabilir. Dolayısıyla, bu konu mevcut tahmin tekniklerinin daha fazla geliştirilmesi arayışıyla bu tür sistemlerin tahmin problemi için başka bir yaklaşım geliştirilmesi yoluyla ayrı bir öneme sahiptir. Sonuç olarak daha doğru ve güvenilir tahminler için güncel bilgileri kapsayan yeni yaklaşımların sürekli geliştirilmesi gerekir.

#### 4. MODELLER VE YÖNTEMLER (MODELS AND METHODS)

Bu bölüm, yük tahmini için çeşitli yaklaşımlara genel bir bakış sunmaktadır. Bunların birçoğu kısa dönem yük tahmini için geliştirilmekle birlikte, orta ve uzun dönem yük tahminleri de özellikle elektrik piyasalarının serbestleştirilmesi nedeniyle önem kazanmıştır. Literatürde yük tahmini için uygulanan çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Aşağıda, bazı model ve yöntemlere ilişkin kısa bir genel bakış verilmiştir. Geliştirilen modellerin performansını değerlendirmek için ortalama mutlak yüzde hatası (The mean absolute percentage error, MAPE) en sık kullanılan performansın ölçüsüdür.

##### 4.1. Regresyon Analizi (Regression Analysis)

İstatistiksel yaklaşımlar, yük ve çeşitli girdi parametreleri arasındaki ilişkiyi veren açık bir matematiksel model gerektirir. Yük tahmini için, örneğin regresyon tabanlı yöntemler, zaman serileri yöntemleri, gibi çeşitli istatistiksel tahmin yöntemleri uygulanmaktadır [1, 4, 15]. Regresyon modelleri yük tahmininde oldukça yaygındır ve örneğin hava durumu ve takvim bilgisi gibi yük ve dış faktörler arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılır. Temel olarak, doğrusal regresyon kullanılır, sıcaklığın etkisi genellikle doğrusal olmayan şekilde modellenir. Regresyon yöntemlerinin uygulanması nispeten kolaydır. Diğer bir avantaj ise giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkinin anlaşılması kolaydır. Regresyon modelleri ayrıca daha kolay performans

değerlendirmelerine olanak tanır. Doğru modelin belirlenmesinde, yük ve etki eden faktörler arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkiye bağlı olarak, yapısal sorunlar olabilir.

Basit doğrusal regresyon modelinde, tahmin değişkenlerin birbirleriyle doğrusal olarak ilişkili olduğu varsayılır ve Eş. 1'deki gibi basit bir ilişki ile ifade edilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon_1 \quad (1)$$

Basit doğrusal regresyon analizi için Eş. 1'de  $x$  ve  $y$  değişkenlerin değerlerini göstermektedir.  $X$  değişkeni, bağımsız veya açıklayıcı değişkenler olarak adlandırılırken;  $y$  değişkeni, tahmin değişkeni olarak davranır ve bağımlı veya açıklanan değişken olarak adlandırılır.  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametreleri sırasıyla doğru kesimini ve eğiminin sapmasını belirleyen regresyon katsayılarıdır.  $\varepsilon_1$ , rastgele hata olarak varsayılan düz çizgi modelinden sapmayı temsil eden hata terimidir. Yukarıdaki basit doğrusal regresyon modelinde bağımlı değişken  $y$  için tahmin değeri, bağımsız değişken  $x$ 'in mevcut verileri kullanılarak bir  $\varepsilon_1$  marjı ile değerlendirilip tahmin edilebilir.

Çok değişkenli regresyon modeli basit doğrusal regresyon modeline benzer ancak çoklu değişkenler içerir. Çok değişkenli regresyon modelinin genel formülü Eş. 2'de verilmiştir.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + e_i \quad (2)$$

Yukarıdaki Eş. 3.2'de  $y_i$  tahmin edilecek değişken,  $x_1, \dots, x_k$  bağımsız değişkenler iken,  $\beta_1, \dots, \beta_k$  regresyon katsayılarıdır. Basit doğrusal regresyon modeline benzer şekilde  $e_i$  tahmin sırasında oluşan hatayı gösterir. Modeldeki tüm parametrelerin etkisi de hesaplanarak bağımlı değişken  $y_i$  için tahmin değeri belirlenir. Çok değişkenli regresyon modelinde yer alan değişkenlerin değerlendirilmesi, çeşitli istatistiksel tahminlerin uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir.

##### 4.2. Zaman Serileri Analizi (Time-Series Analysis)

Zaman serileri yaklaşımları, yük tahmininde uygulanan en eski yöntemler arasındadır. Bunlar çeşitli düzeylerde ayırt edilebilir. Öncelikle, tek değişkenli ve çok değişkenli yöntemler vardır. Birincisi, genellikle çok kısa dönem yük tahminleri için kullanılırken, ikincisi tüm zaman aralıklarında

uygulanır. Zaman serilerinin genellikle doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte, doğrusallık varsayımının genellikle sıcaklığın etkisini içermediği ise dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Otoregresif-Hareketli Ortalamalar Modeli ARMA (Autoregressive Moving Average), Birleştirilmiş Otoregresif-Hareketli Ortalama Yöntemi ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) ve Dışa Dönük Değişkenlerle Otoregresif-Hareketli Ortalama ARIMAX (Autoregressive Integrated Moving Average With Exogenous Variables) en sık kullanılan zaman serileri yöntemleridir. Söz konusu yöntemlerden ARMA modelleri sabit işlemler için çoğu zaman kullanılmaktadır ve son yıllarda zaman serisi tahmininde popüler doğrusal modellerden birisidir. ARIMA modeli ARMA modelinin yanı sıra, durağan olmayan süreçleri de içerir.

Her iki modelde yük ve zaman bilgileri girdi parametreleri olarak kullanılır [3, 12]. ARIMAX modelinin bu modeller arasında yük tahmini için en verimli ve doğru yöntem olduğu geçmiş çalışmalardan gözlemlenebilir, çünkü yük tahmini genellikle yöntemin uyguladığı zaman ve havaya bağlıdır. Bununla birlikte, bu yöntemin en büyük dezavantajı, belirli olayların serinin geçmiş düzenlemelerini bozması durumunda, geçmiş eğilimlerin basit ekstrapolasyonunun yanlış sonuçlar verebilmesidir.

### 4.3. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay zeka nispeten yeni bir araştırma alanıdır. Yapay zeka, bulanık sistemler, yapay sinir ağları (YSA), evrimsel hesaplama ve sürü zekası alanlarına değinmek için yaygın olarak kullanılır. Bu alanlardan, yapay sinir ağları, yük tahmininde en sık uygulanan yöntemlerdendir [5, 6]. Birkaç nörondan oluşan sinir ağları, insan beyninin temel çalışma prensibine göre modellenir. Bir nöron, giriş düğümleri üzerinden bilgi alır ve bilgiyi toplar. Daha sonra, aktivasyonunu belirler ve çıkış düğümü üzerindeki yanıtı diğer nöronlara iletir. Sinir ağları, yük tahmini için çok sık uygulanır. Bununla birlikte, ileri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağları en sık uygulanan ağ tipidir. İleri besleme ağı, bir giriş katmanı, birkaç gizli katman ve bir çıkış katmanı ile birkaç ardışık nöron katmanından oluşur. Nöronlar, ağırlık vektörleri kullanılarak birbirine bağlanır.

Yapay sinir ağlarını yük tahmini için son derece uygun kılan temel faktörler şöyle sıralanabilir:

Elektrik yükü ve hava koşulları gibi diğer değişkenler arasında önceden varsayılmış bir işlevsel ilişki gerektirmez. Önceden belirlenmiş modele gerek duymadan elektrik yükü, hava değişkenleri ve geçmiş yük modelleri arasında doğrusal olmayan bir eşleşme sağlar [7, 10]. Genellikle hataya dayanıklı ve güvenilirdir.

Yapay sinir ağlarının çalışma mantığı bilinen hesaplama yöntemlerinden farklı hesaplama yöntemleri önermektedir. Buldukları ortama uyum sağlayan, adaptif, eksik bilgi ile çalışabilen, belirsizlikler içerisinde karar verebilen, yüksek hata toleransı olan hesaplama yöntemlerine sahiptir. Uygulamada kullanılacak olan ağ modelinin belirlenmesinde ve ağ parametrelerinin seçiminde belirli bir standardın olmaması, problemlerin sadece nümerik bilgiler ile gösterilebilmesi, eğitimin nasıl bitirileceğinin bilinmemesi ve ağın davranışlarının açıklanamamasına rağmen yapay sinir ağları ile geliştirilen uygulamalar oldukça yaygındır. Yapay sinir ağlarının sahip olduğu bu özellikler sayesinde, sınıflandırma, örüntü tanıma, sinyal filtreleme, veri sıkıştırma ve optimizasyon çalışmalarında yapay sinir ağları en güçlü teknikler arasında sayılabilirler. (Öztemel, 2003: 30-35).

### 4.4. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine)

Destek vektör makineleri veya daha doğru bir şekilde vektör regresyonunu destekleme, nispeten yakın zamanda yük tahmini alanına girmiştir. Destek vektör makineleri genellikle veri sınıflandırma ve regresyon için kullanılır [1]. Destek vektör makineleri geleneksel sinir ağları modellerinin deneysel/gözlemsel risk minimizasyonu ilkesinden ziyade yapısal risk minimizasyonu prensibine dayanan bir tekniktir.

Destek Vektör Makinesi, veri sınıflandırması için yararlı bir tekniktir. Sinir ağlarından daha kolay kullanıldığı düşünülse de bununla birlikte, DVM' ye aşına olmayan kullanıcılar genellikle ilk uygulamalarda tatmin edici sonuçlar elde edememektedir. Doğrusal olmayan regresyon tahmin problemlerini çözmek için DVM' ler geliştirilmiştir. DVM regresyonunun temel kavramı, orijinal veriyi  $x$  doğrusal olmayan olarak daha yüksek boyutlu bir öznitelik uzayına eşlemektir. Burada, Eş. 3'de bir dizi veri ele alındığında  $x_i$  girdi vektörü,  $a_i$  gerçek değer ve  $N$  toplam veri örneği sayısıdır.

$$G = \{ (x_i, a_i) \}_{i=1}^N \quad (3)$$

DVM regresyon fonksiyonu Eş. 4’de verilmiştir:

$$f = g(x) = W_i \psi_i(x) + b \quad (4)$$

Eş. 3.6’da  $\psi_i(x)$  girişlerin özelliği  $W_i$  ve  $b$  ise katsayılarıdır. Katsayılar ( $W_i$  ve  $b$ ) Eş. 5’deki düzenlenmiş risk fonksiyonunu asgariye indirgeyerek tahmin edilir:

$$r(C) = C \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Gamma_{\varepsilon} (a_i, f_i) + \frac{1}{2} \|\omega\|^2 \quad (5)$$

$$\Gamma_{\varepsilon} (a, f) = \begin{cases} 0, & |a - f| \leq \varepsilon \\ |a - f| - \varepsilon, & \text{diğer} \end{cases} \quad (6)$$

Eş. 5 ve Eş. 6’daki  $C$  ve  $\varepsilon$  kullanıcı tarafından belirtilen parametrelerdir.  $\Gamma_{\varepsilon} (a, f)$ ,  $\varepsilon$ -duyarsız kayıp fonksiyonu olarak adlandırılır. Eğer tahmin edilen değer  $\varepsilon$  sınırları içerisinde ise kayıp sıfıra eşittir.  $\frac{1}{2} \|\omega\|^2$ , fonksiyonun düzgünlüğünü ölçer. Dolayısıyla  $C$ , deneysel risk ile model düzgünlüğü arasındaki dengeyi belirtir.

#### 4.5. Hibrit ve Diğer Yaklaşımlar (Hybrid and Other Approaches)

Hibrit yaklaşımlar da yük tahmini için oldukça yaygındır. Genel olarak bu yaklaşımlar, orijinal yöntemlerin bazı dezavantajlarının üstesinden gelmek için iki veya daha fazla farklı yaklaşımı birleştirir. Genellikle, zaman serileri metotları ve klasik metotların kombinasyonları gözlemlenebilir. Buluşsal optimizasyon teknikleri, bulanık sinir ağları, sinir ağları ve destek vektör makinelerinin de birlikte kullanıldığı yaklaşımlarda bulunmaktadır [2, 13, 14].

Bir parçacık sürüsü, bir kuş veya bir balık sürüsünün kaynaştırma davranışını modellemektedir. Her biri olası bir çözümü temsil eden birkaç bireyden oluşan bir popülasyondan oluşur. Bireyler, pozisyonlarını ve hızlarını, popülasyondaki en iyi konuma göre güncelleştirirler. Genellikle yapay sinir ağları ile birlikte genetik algoritmalar veya diğer evrimsel algoritmaların birlikte kullanıldığı hibrit yük tahmini uygulamaları mevcuttur. Evrimsel algoritmalar doğal evrimi taklit eder. Bunlar, iyi çözümler bulmak için rekombinasyon, mutasyon ve seçim ilkelerini uygulayan popülasyon tabanlı arama veya buluşsal optimizasyon teknikleridir. Hem

popülasyona dayalı hem de diğer random algoritmalar üzerinde oldukları için, gürültü kaynaklı bir yakınsamaya karşı daha sağlam olmaları beklenir. Dahası, bazı klasik yaklaşımlarla aynı kısıtlama varsayımlarını gerektirmezler. Genetik programlama, ana yöntemin kontrol parametrelerinin optimal bir şekilde ayarlanması için programları geliştiren özel bir evrimsel algoritmadır.

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Enerji sektöründe karar süreçleri için yük tahmini çok önemlidir. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan girdi değişkenleri ve tahmin yöntemlerine genel bir bakış verilmiştir. Daha sonra çeşitli sınıf yöntemler ve modeller anlatılmıştır. Bazı yeni yaklaşımlarda bahsedilmiştir. Destek vektör regresyonu ve hibrit yaklaşımlar, yük tahmini için nispeten yeni ve rekabetçi bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Yük tahmini sadece güç sisteminin işletilmesi için doğru tahminler sağlamak için değil, aynı zamanda enerji işlemlerinde ve enerji piyasalarında karar verme için bir temel olarak önemlidir. Tahminlerin doğruluğu çok önemli bir faktördür. Enerji sektöründeki karar vericilerin doğru tahminlere ihtiyacı vardır, çünkü kararların çoğu zorunlu olarak gelecekteki taleplerin tahminlerine dayanmaktadır. Alınacak ilk kararlardan biri, uygun bir modelin seçilmesidir. Bu, yük tahmini yapılacak bölgenin özel durumlarına bağlıdır. Bu nedenle, genel bir tavsiye verilememektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] F. Kaytez, “En küçük kareler destek vektör makineleri ile Türkiye’nin uzun dönem elektrik tüketim tahmini ve modellenmesi,” *Yayımlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Ens., Ankara, Türkiye, 2012.*
- [2] B. Basoğlu ve M. Bulut. “Kısa dönem elektrik talep tahminleri için yapay sinir ağları ve uzman sistemler tabanlı hibrit sistem geliştirilmesi.” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 32, pp. 575-583, 2016.
- [3] M. C. Karşar ve K. Charsooghi. “Predicting annual electricity consumption in Iran using artificial neural networks (nrx),” *Indian J.Sci.Res*, vol. 5, pp. 231-242, 2014.
- [4] S. Fan ve R. J. Hvndman. “Short-term load forecasting based on a semi-parametric additive model,” *Monash Univ., Clayton, Australia, August 2010.*
- [5] C.A. Moturi ve F.K. Kioko. “Use of artificial neural networks for short-term electricity load

- forecasting of Kenya national grid power system.” *International Journal of Computer Applications*, vol. 63, pp. 0975 – 8887, February 2013.
- [6] T. Senivu. H. Sakihara. Y. Tamaki ve K. Uezato. “Next day peak load forecasting using neural network with adaptive learning algorithm based on similarity.” *Electric Machines & Power Systems*, vol. 28, pp. 613–624, November 2010.
- [7] G. A. Adepolu. S. O. A. Oguniyigbe ve K.O. Alawode. “Application of neural network to load forecasting in Nigerian electrical power system.” *Ladoke Akintola University of Technology Nigeria. The Pacific Journal of Science and Technology*, vol. 8, pp. 68-72, 2007.
- [8] S. Örün ve C. Karatekin. “İstanbul ili avrula vakası için uzun dönem elektrik enerjisi yük tahmini long term load forecasting for Istanbul european side.” *İstanbul Teknik Üniversitesi. Fleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım 2014, Bursa*.
- [9] H. Oğurlu, “Matematiksel modelleme kullanarak Türkiye'nin uzun dönem elektrik yük tahmini,” *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Ens., Konya, Türkiye, 2011*.
- [10] G. Ceylan, “Yapay sinir ağı ile kısa dönem yük tahmini,” *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Ens., İstanbul, Türkiye, 2004*.
- [11] F. Aksel, “Regresyon analizi ve yapay sinir ağı yöntemleri ile uzun dönem yük tahmini,” *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Ens., İstanbul, Türkiye, 2000*.
- [12] Ö. Demirel. A. Kakilli. M. Tektas. “Anfis ve arma modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini.” *Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 25, pp. 601-610, 2010.
- [13] A. Abdoos. M. Hemmati. “Short term load forecasting using a hybrid intelligent method.” *Knowledge-Based Systems*, vol. 76, pp. 139-147 2015.
- [14] İ. Eke. “Diferansiyel evrim algoritması destekli vanav sinir ağı ile orta dönem yük tahmini.” *International Journal of Research and Development*, vol.3, no.1, pp. 28-32, January 2011.
- [15] M. Shushu. C. Xingving. D. Xiaohua. “The variable weight combination load forecasting based on grey model and semi-parametric regression model,” *Hohai Univ., Nanjing, China, IEEE*, vol. 9, pp. 4799-2827, 2013.
- [16] A. Ghanbari. S.F. Ghaderi. M.A. Azadeh. “Adaptive neuro-fuzzy inference system vs. regression based approaches for annual electricity load forecasting,” *Department of Industrial Engineering, College of Engineering Univ. of Tehran, Tehran, Iran, IEEE*, vol. 7, pp. 4244-5586, 2010.
- [17] E.N. Chogumaira. T. Hivama. “Short-term electricity price forecasting using a combination of neural networks and fuzzy inference.” *Energy and Power Engineering*, vol. 3, pp. 9-16, 2011.
- [18] E. Inc, *Electrical Load Forecasting: Modeling and Model Construction*, pp. 79-97, 2010.
- [19] E. Öztemel, *Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık*, pp. 34-140, 2003.

### Tuğba AKMAN

Tuğba Akman was born in Ankara, Turkey, on 14 July 1990. She graduated from the Electrical and Electronics Engineering Department in Dumlupınar University, Kütahya, Turkey, in 2012. In 2015, she attended the MSc programme at the Electrical and Electronics Engineering Department in Gazi University. She has been working as an engineer at the Department of Communication and Information Systems in Turkish Electricity Transmission Corporation (TEIAS) since August, 2013. Her current fields of research are energy systems, communication systems, energy policies.

### Cemal YILMAZ

CEMAL YILMAZ received the B.Sc. degree from Gazi University, Turkey, in 1997, M.S. degree from the Gazi University in 2001, and Ph. D. degree from Gazi University in 2007 all in electrical engineering. He has more than 40 articles published in qualified scientific journals and conferences. He is currently an Associate Professor at Gazi University. His research interests include power system modeling and analysis, smart building, artificial neural networks, fuzzy logic, intelligent and adaptive systems, and renewable energy systems.

### Yusuf SÖNMEZ

Yusuf Sonmez (Non-member) received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees in electrical education from Gazi University (GU), Ankara, Turkey, in 2002, 2005, and 2008, respectively. Currently, he is an Associate Professor with GU. His research interests include automatic control, artificial intelligence, and algorithms