

## Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği

### Developing methodology for energy demand estimation: 2030 year case of Turkey

Harika Ülkü<sup>1</sup> , Şükran Yalpir<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya, Türkiye

#### Özet

Dünya genelinde çeşitli etkenlerden dolayı her geçen gün elektrik enerjisine olan talep artmaktadır. Artan bu ihtiyacı karşılamak adına geleceğe yönelik verimlilik noktasında plan ve yatırımlara gereksinim vardır. Elektrik üretimi, iletilmesi, dağıtılması, sistemlerin birbirleri arasındaki entegrasyonu ve üretilen bu enerjinin hangi şebeke bağlantısından tüketiciye ulaştırılması gerektiği düşünüldüğünde güvenilir talep tahminleri önem arz etmektedir. Ülkemize kritik noktalarda fayda sağlayabilmek ve talep tahmini sonucuna farklı bir bakış yaratabilmek adına çalışmada yapay sinir ağları ve çoklu regresyon analizi yöntemleri kullanılarak Türkiye'nin iller bazında 2009-2018 yıllarına ait verileriyle 2030 yılı elektrik enerjisi ihtiyaç tahminleri için senaryolar üretilmiştir. Nüfus, ortalama hane halkı büyüklüğü, eğitim durumu, Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla, ihracat, ithalat, sanayi girdi ve elektrik enerji tüketim miktarı modellerde çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Modeller ile Türkiye'nin 81 iline ait 2030 yılı elektrik enerjisi talebinin tahmin performans analizlerinde ortalama %98 mutlak başarı elde edilmiş ve coğrafi bilgi sistemlerinden faydalanılarak sonuç haritaları üzerinde tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Coğrafi bilgi sistemleri, Çoklu regresyon analizi, Elektrik enerjisi talep tahmini, Yapay sinir ağları

#### 1 Giriş

Ülkeler arası rekabetin en önemli unsuru olan enerji, günlük yaşamın vazgeçilmez bir parçasıdır. Çeşitli sektörlerde de zorunlu bir faktör olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda bir ülkenin refah seviyesinin yükseltilmesinde aracı olan ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan temel göstergelerden biridir. Dünyada hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve gelişmekte olan teknoloji ile beraber enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla enerji üretim ve tüketimiyle ekonomik ve sosyal kalkınma arasında anlamlı bir ilişki vardır [1].

Hayatımızı anlamlı kılan ve devletlerin gelişmişlik seviyelerinin belirlenmesinde önemli rol oynayan enerjinin, öz kaynakları doğada bulunduğu haliyle kullanışlarına göre yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak çeşitlilik göstermektedir (Şekil 1). Bu öz kaynakların herhangi bir değişim görmemiş hali birincil enerji kaynağı olarak ifade edilirken uygun yöntemler kullanılarak birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji kaynaklarına ise ikincil enerji kaynakları denilmektedir.

Hem dünya genelinde hem de ülkemizde incelenen enerji kaynaklarının arz, üretim ve tüketim değerleri göz önüne alındığında, fosil yakıtların payının her geçen gün azaldığı

#### Abstract

The demand for electrical energy is increasing day by day due to various factors throughout the world. Plans and investment for productivity in the future are needed to meet this need increasing. Reliable demand estimations are important in matters considered such as electricity generation, transmission, distribution, integration with each other of systems, how much energy in power plants should be produced and the consumer should be delivered from which grid connection the generated energy. Using artificial neural networks and multiple regression analysis methods in the study, scenarios were produced for the 2030 year electrical energy needs estimates with the 2009-2018 year dates in provinces of Turkey to benefit our country at critical points and create a different perspective on the demand estimation result. Population, average household size, education level, gross domestic product, exports, imports, industrial were used as the input data of models and electrical energy consumption were used as the output data of models. An average of %98 absolute success in the models was obtained in estimation performance analysis of the 2030 year electricity energy demand with Turkey's 81 province. Utilizing geographic information systems was discussed on result maps.

**Keywords:** Geographic information systems, Multiple regression analysis, Electrical energy demand estimation, Artificial neural networks

görülse de üstünlüğünü koruduğu ve gelecekte de koruyacağı ikinci bölümde enerjinin durumu adı altında verilen istatistiki bilgilerde de gözlenmektedir. Fakat elektrik enerjisinde, enerjinin üretildiği kaynakların önemini yanı sıra talep, arz, iletim, dağıtım gibi konular da önemlidir [3].

Bu noktada elektrik enerji piyasasını da kapsayan planlama ve maliyet analizi gibi çalışmalarda geleceğe yönelik önünü görebilme noktasında talep tahmini öne çıkmaktadır. Birbirinden farklı konularda gerçekleştirilen talep tahmini çalışmalarına; Amerika'da otomobil sektöründe [4], kâğıt fabrikasında üretilen kâğıt ürünlerin gelecek tahmininde [5], şehrin su talebinin belirlenmesinde [6] ve İstanbul havalimanının gelecek yıllardaki yolcu ve yük talebinin planlaması [7] gibi sanayi ve kent gelişimini ilgilendiren alanlarda rastlanılmaktadır.

Ayrıca buğday verimliliğinde yapılan tahmin çalışması [8] ve Türkiye'deki gıda sektöründe [9] gelecek tahmini için yapılan çalışmalarda bulunmaktadır.

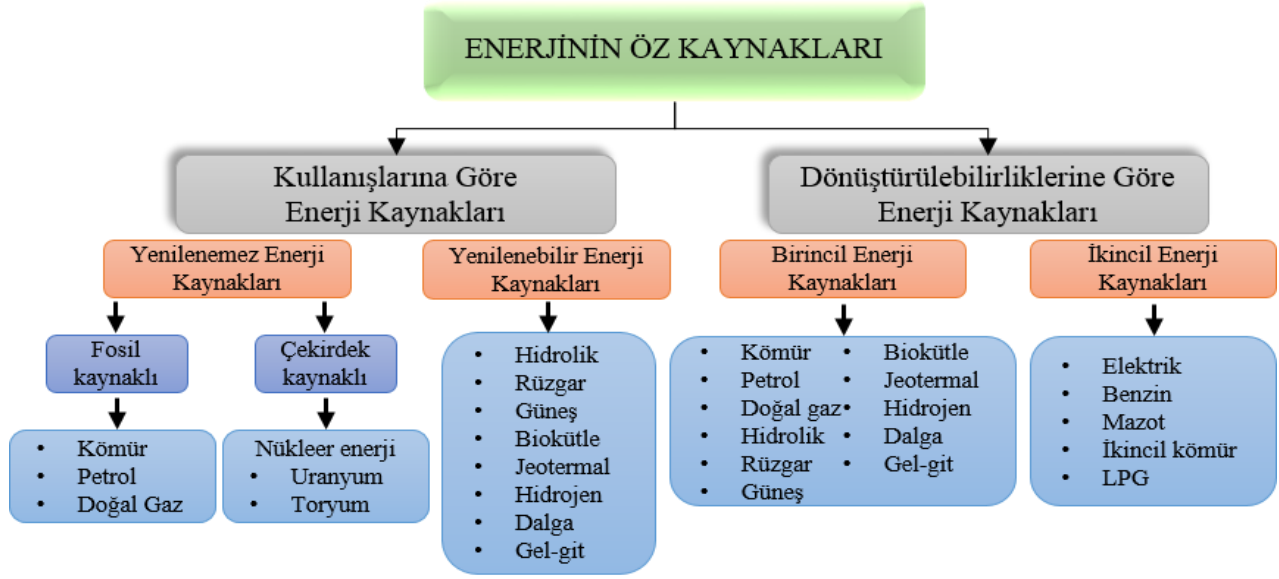
Tıpkı bu sektörlerde olduğu gibi geleceğe yönelik elektrik enerjisi talebi ve sanayi sektöründe enerji talebi konularında da uygulamalar mevcuttur [10, 11].

Elektrik enerjisi depolanamayan, üretildiği anda tüketilmesi gereken bir enerji türü olduğundan talep tahmininin yapılması elektrik enerjisi piyasasında da oldukça

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: syalpir@ktun.edu.tr (Ş. Yalpir)

Geliş / Recieved: 21.10.2020 Kabul / Accepted: 17.12.2020 Yayınlanma / Published: 15.01.2021

doi: 10.28948/ngmuh.814134



Şekil 1 Enerjinin öz kaynaklarının sınıflandırılması [1, 2]

önemlidir. Eğer tahmin edilen talep arzın altında ise sistemde kısıtlamalara neden olacaktır. Diğer yandan talep tahmini arzdan fazla olursa elektrik tüketimine fazla ücret ödenecektir. Bu nedenle arzın karşılanması için tüketim talebinin tahmin doğruluğu önemlidir [12].

Geçmiş dönemlere ait veriler kullanılarak geleceği tahmin etmek için çeşitli yapay zekâ ve istatistiksel yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Geçmişe ait bilginin mevcut olması, bilginin sayısal olarak ifade edilebiliyor olması ve değişkenin geçmişte gösterdiği yapının gelecekte de devam edeceği düşüncesine sahip olması matematiksel modellerin oluşturulmasına yardımcı olur ve bu ilişkiler sayesinde gelecek tahminini nasıl şekillendireceği tespit edilmeye çalışılır [13-15]. Yapay sinir ağları (YSA) modeli [16-18], ARIMA [19], ANFIS [20], bulanık mantık [21], regresyon modeli [22, 23], genetik algoritma [24, 25], zaman serileri yöntemi [26] ve yapay arı kolonisi algoritması yaklaşımı [27] elektrik enerjisi talep tahmini çalışmalarında kullanılan yöntemlere örnek olarak verilebilir. Hamzaçebi ve Kutay [3]; çalışmalarında 2 farklı yöntem uygulamış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmada 1970-2002 yıllarına ait verileri kullanarak 2003-2010 yılları arasında uzun dönemli elektrik enerjisi tüketim tahmini yapılmıştır. YSA yöntemini kullanarak Box-Jenkins modelleri ve regresyon tekniği ile sonuçları karşılaştırılmış olan çalışmada YSA'nın elektrik enerjisi tüketiminde iyi bir tahmin aracı olduğu sonucuna varılmıştır.

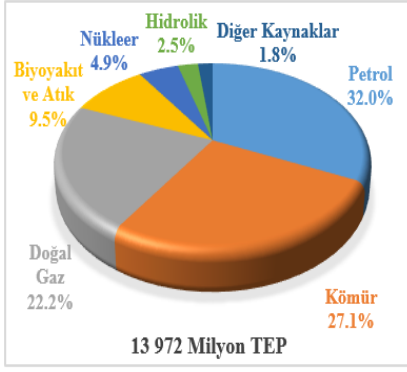
Genel anlamda enerji talep tahmini çalışmalarına bakıldığında, ülkelerin toplam enerji tüketimleri ile gelecek toplam talep miktarlarına ulaşıldığı gözlenmektedir. Hâlbuki ülkelerin nüfus başta olmak üzere sanayi ve diğer pek çok etken göz önüne alındığında kentlerin taleplerinde farklılıklar oluşacaktır. Bu sebeple çalışmada, enerji talep tahminini etkileyen etkenler ile her ilin ayrı ayrı değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca taleplere göre enerji üretiminde alternatif kaynaklar değerlendirmeye alınarak karar vericiler tarafından kullanılmasını amaçlayan bir altlık

veri üretiminde kullanılacak uygun yöntemin belirlenmesini sağlayacaktır.

Çalışmada; YSA ve çoklu regresyon analizi (ÇRA) yöntemleri kullanılarak Türkiye'nin 2030 yılı elektrik enerji tüketimi için talep tahminleri gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin 81 iline ait 10 yıllık verileri kullanılarak gelecek 12 yıllık enerji ihtiyaç tahminleri için senaryolar üretilmiştir. Literatürde sıkça kullanılan değişkenlere ek olarak elektrik enerjisi talebine etki eden farklı değişkenler saptanmış ve çalışmaya ilave edilerek modeller kurulmuştur. Türkiye'nin her bir iline ait enerji talebini tahmin etmek için 2009-2018 yılları arasındaki nüfus miktarı, ortalama hanehalkı büyüklüğü, eğitim durumu, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH), ihracat, ithalat ve sanayi modellerde girdi verisi olarak ve elektrik enerji tüketimi (MWh) çıktı verisi olarak kullanılmıştır. Her iki modelinde tahmin performansı ortalama yaklaşıklık oranı (%AA) ve determinasyon katsayısı olan  $R^2$  değerlerine göre analiz edilmiştir. Aynı zamanda modellerden elde edilen senaryo sonuçları Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) entegre edilerek Türkiye siyasi haritasında görselleştirilmiştir. Modellerden elde edilen Türkiye'nin 2030 yılı elektrik enerji talep sonuçları haritalandırılarak il bazında karşılaştırmalar yapılmış ve uygun yöntem tartışması gerçekleştirilmiştir.

## 2 Enerjinin genel durumu

Dünyada enerjinin durumu incelendiğinde, 2017 yılında toplam enerji üretiminin 14,034 milyon TEP (milyon ton eşdeğer petrol) miktarına ulaştığı gözlenmiştir. Aynı yıl içerisinde birincil enerji arz miktarı ise 13,972 milyon TEP olarak hesaplanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi dünyada sırasıyla petrol, kömür, doğal gaz başta olmak üzere fosil kaynaklar birincil enerji arzında en büyük paya sahip enerji kaynaklarıdır. Diğer kaynaklar olarak adlandırılan %1,8'lik paya sahip kaynaklar ise jeotermal, rüzgâr, gelgit/okyanus, ısı ve diğeri olarak ifade edilmektedir [28, 29].

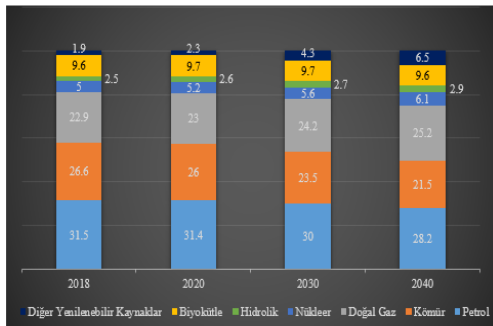


Şekil 2. 2017 yılına ait kaynak bazında toplam küresel birincil enerji arz oranları

Toplumsal yaşamı sürdürülebilir kılmak için neredeyse yaşamın her alanında kullandığımız enerji vazgeçilmez bir girdidir. 2019 yılında yayınlanan BP Statistical Review of World Energy raporuna göre 2017 yılında küresel birincil enerji tüketim miktarı 13.4746 milyon TEP olarak belirtilmiştir. Türkiye 152.7 milyon TEP miktarı ile küresel enerji tüketiminin %1,13'lük kısmında yer almaktadır. Dünyada tüketilen çok sayıda enerji kaynağı mevcut olmasına karşın, en fazla enerji %85 ile fosil kaynaklarından sağlanmaktadır [30].

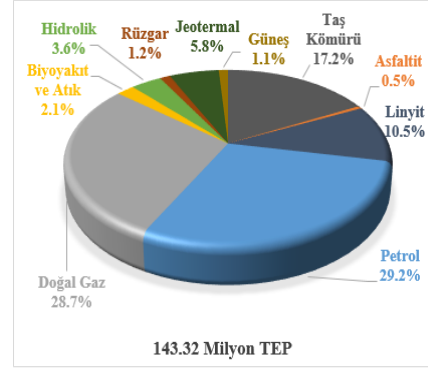
Ulaştırma sektöründe temel enerji kaynağı olarak kullanılan petrol %34.19 oranla küresel birincil enerji tüketiminde en büyük paya sahip olduğu gözlenmektedir. Petrolü takip eden dünya geneli enerji tüketiminde yüksek miktara sahip olan kömür ve doğal gaz kaynakları ise büyük ölçüde elektrik üretiminde kullanılmaktadır [31].

Uluslararası enerji ajansı (IEA), British Petroleum (BP), Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC) gibi farklı kurum ve kuruluşlar tarafından 2040 yılına kadar yapılan çeşitli projeksiyonlarda fosil kaynaklı yakıtlara düşen paylar günümüzde olduğu gibi ilk sıralarda yerini koruyacağı öngörülmektedir. Fosil yakıtlara olan bağımlılığımız ülke politikalarında radikal değişiklikler olmadığı sürece kısa ve orta vadeli projeksiyonlarda kayda değer bir azalma göstermeyecektir. Fakat Şekil 3'te de görüldüğü gibi her geçen gün birincil enerji kaynakları arasında fosil kaynakların payını azaltacağı ve buna bağlı olarak en hızlı büyüme oranına sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılında %19'luk bir paya ulaşacağı beklenmektedir [31, 32].



Şekil 3. Dünya birincil enerji talep projeksiyonlarının % oranı

Ülkemizin enerji durumu incelendiğinde ise 2018 yılında birincil enerji arzı toplam 143,32 milyon TEP miktarındadır. Dünya geneli arz verilerinde olduğu gibi ülkemizde de %86.21'lik oran ile fosil yakıtların üstünlüğü söz konusudur (Şekil 4). Toplam 19.775 milyon TEP miktarı ile yenilenebilir enerji kaynakları ise %13.79'luk kısmına sahip enerji kaynaklarıdır [33].



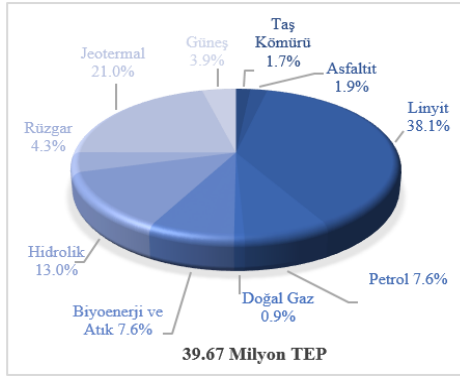
Şekil 4. 2018 yılına ait Türkiye genelinde kaynak bazında birincil enerji arz oranları

Türkiye birincil enerji arz dağılımındaki 2018 yılı yerli üretim ve ithal edilen kaynakların payında; yerli üretimin 39.67 milyon TEP miktarına sahip olduğu ve üretimdeki payı yüksek olan kaynakların linyit, jeotermal ve hidrolik şeklinde sıralandığı gözlenmektedir (Şekil 5). İthal edilen birincil enerji miktarı ise 115.052 milyon TEP olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda dışa bağımlı olduğumuz kaynakların sadece fosil yakıtlar olduğu açık bir şekilde belirtilmektedir [33].

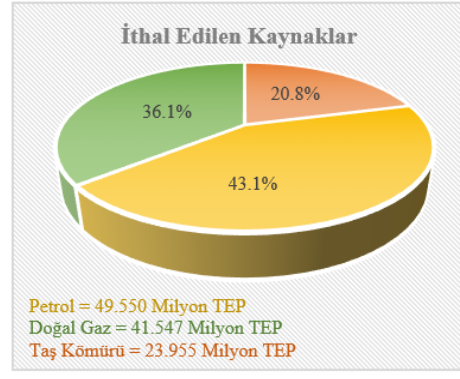
2017 yılında birincil enerji tüketim miktarı 152,7 milyon TEP iken %0.52'lik bir artış ile 2018 yılı enerji tüketimi 153.5 milyon TEP olarak hesaplanmıştır. 2018 yılı birincil enerji durumu incelendiğinde 49.6 milyon TEP petrol, 40.7 milyon TEP doğal gaz ve 42.3 milyon TEP kömür miktarı ile fosil yakıtlar ilk sırada yer alırken toplam yenilenebilir kaynakların miktarı ise 22 milyon TEP' tir (Şekil 6) [30].

2017 yılında birincil enerji tüketim miktarı 152,7 milyon TEP iken %0.52'lik bir artış ile 2018 yılı enerji tüketimi 153.5 milyon TEP olarak hesaplanmıştır. 2018 yılı birincil enerji durumu incelendiğinde 49.6 milyon TEP petrol, 40.7 milyon TEP doğal gaz ve 42.3 milyon TEP kömür miktarı ile fosil yakıtlar ilk sırada yer alırken toplam yenilenebilir kaynakların miktarı ise 22 milyon TEP' tir (Şekil 6) [30].

BP Statistical Review of World Energy raporuna [30] göre 2018 yılında Avrupa genelinde 21 ülke arasında birincil enerji tüketimi sıralamasında 323.9 milyon TEP miktarı ve %15.79'luk payı ile en çok enerji tüketen ülke Almanya'dır. Ardından 242.6 milyon TEP miktarı ile %11.82'lik paya sahip olan Fransa gelmektedir. Türkiye ise bu ülkeler arasında %7.48 oranı ile altıncı sırada yer almaktadır. 21 Avrupa ülkesinde enerji tüketimi nüfusa göre değerlendirilecek olursa; 2018 yılında yaklaşık olarak 80.81 milyon nüfusa sahip olan ülkemiz 153.5 milyon TEP birincil enerji tüketirken nüfusu bizden az olan Fransa ve İtalya sırasıyla 242.6 milyon TEP ve 154.5 milyon TEP enerji tüketmektedir

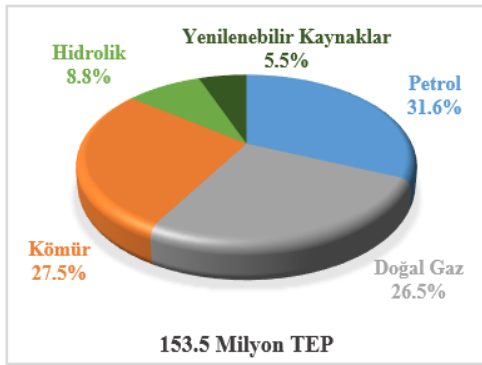


(a)



(b)

Şekil 5. 2018 yıllarına ait Türkiye birincil enerji arz dağılımında yerli üretim (a) ve ithal edilen kaynaklar (b)



Şekil 6. 2018 yılına ait Türkiye genelinde kaynak bazında birincil enerji tüketim oranları

Yapılan bu karşılaştırmada Türkiye'nin nüfusundan daha az nüfusa sahip olan Fransa ve İtalya enerji tüketiminde Türkiye'nin önüne geçmektedir. Nüfusun ülkelerin enerji tüketimini artırmasında temel etken olduğu düşünülse de böyle bir durum söz konusu iken tam anlamıyla enerji tüketiminde talebin nüfusa bağlı olmadığı bir etki gözlenmektedir.

### 2.1 Elektrik enerjisi durumunu ve talebi etkileyen kriterler

Dünyada enerjinin üretimi ve tüketimi, ülkelerin sanayileşme ve ekonomik-sosyal kalkınmaya yönelik yaptıkları yatırımlarla ilişkilidir. Dünyadaki bütün ülkeler gelişmişlik statüsünü ileriye taşıyabilmek adına ülkeler arası rekabetin ve bağımsızlığın en önemli unsuru olan enerjiye olan yatırımlarını her geçen gün arttırmaktadır. Elektrik enerjisi de bu hususta ülkelerin en önem verdiği yatırım kaynaklarından biridir.

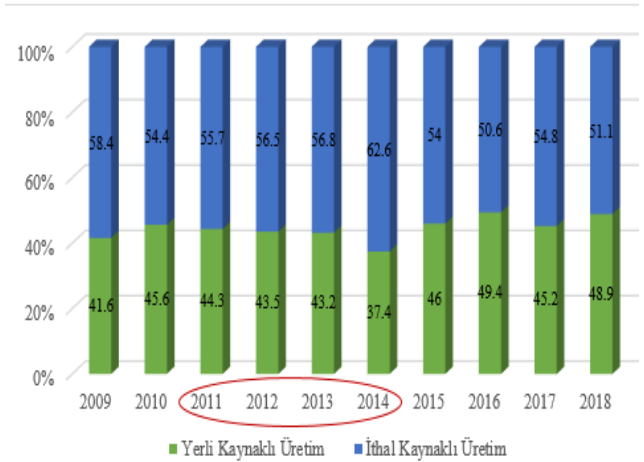
Dünya genelinde elektrik enerjisinin durumu incelendiğinde ise 2017 yılına ait toplam elektrik enerjisi üretim miktarının %3.7 oranında artış göstererek 2018 yılında 26,614.8 TWh miktarına ulaştığı gözlenmektedir. Dünyada elektrik enerjisi üretimi için en yaygın kullanılan kaynağın kömür olduğu ve toplam yenilenebilir enerji kaynaklarının ikinci sırada yer aldığı elektrik enerjisi üretim oranları ile açıklanmaktadır (Tablo 1). Ülkelerin elektrik enerjisi üretiminde kullandığı kaynaklara bakıldığında, kullanılan kömürün sırasıyla Hindistan, Çin ve Türkiye'de,

nükleer enerjinin ABD'de, petrolün Japonya'da, doğal gazın Rusya'da ve yenilenebilir enerjinin ise Kanada'da en fazla paya sahip olduğu görülmektedir [30].

Bazı ülkelerin elektrik üretim miktarları ise ülkelerin nüfusu ve kişi başına GSYH değerleri ile birlikte değerlendirilen ülkeler arasında en az nüfusa sahip olan Kanada'nın nüfusu ülkemizden fazla olan Almanya ile karşılaştırıldığında neredeyse aynı ekonomik ölçüte sahip oldukları ve yakın anlamda dünyadaki elektrik üretimi payına sahip olduğu gözlenmektedir (Tablo 2)

Ülkemizde ise 2017 yılına ait toplam elektrik enerjisi üretim miktarı 297.3 TWh'dır. Bu üretim miktarı %1.7 oranında artış göstererek 2018 yılında 302.5 TWh enerji üretilmiş ve bu üretimde fosil kaynakların payı %68 iken yenilenebilir kaynaklar toplam 98 TWh üretim miktarı ile %32'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir (Tablo 1) [30].

Ülkemizde 2009-2018 yılları arası 10 yıllık yerli ve ithal üretim oranlarında 2011'den 2014 yılını kapsayan 4 yıllık süreçte elektrik ithalat miktarında sürekli artışlar gözlenmiştir (Şekil 7) [36]. Ülkemizde oluşan bu durumu elektrik enerjisi üretimindeki maliyetleri, tüketici fiyatları ve komşu ülkelerdeki elektrik fiyatının yanı sıra o dönemde devletlerin enerji konusunda benimsediği politikaların incelenmesiyle bu ilişkiler anlamlandırılabilir [37]



Şekil 7. Türkiye elektrik enerjisi üretiminde yerli ve ithal kaynaklı üretim oranları

**Tablo 1.** Bazı ülkelerin 2018 yılı kaynak bazında elektrik enerjisi üretim oranları (%)

Ülkeler	Kömür	Petrol	Doğal Gaz	Nükleer	Yenilenebilir Enerji	Diğer Kaynaklar
Japonya	33.0	5.7	36.8	4.7	18.4	1.4
Almanya	35.3	0.8	12.8	11.7	34.9	4.5
ABD	27.9	0.6	35.4	19.0	16.8	0.3
Kanada	9.1	0.5	9.0	15.2	66.1	0.1
Çin	66.5	0.2	3.1	4.1	25.8	0.2
Hindistan	75.4	0.6	4.8	2.5	16.7	0.0
Rusya	16.0	1.0	46.9	18.4	17.2	0.4
<b>Türkiye</b>	<b>36.9</b>	<b>0.2</b>	<b>30.5</b>	<b>-</b>	<b>32.1</b>	<b>0.3</b>
Dünya	38.0	3.0	23.2	10.2	25.1	0.6

**Tablo 2.** Bazı ülkelerin 2018 yılı elektrik enerjisi üretim ve tüketim değerleri [34, 35]

Ülkeler	Nüfus (Milyon)	GSYH/kişi (\$/kişi)	Elektrik Üretimi (TWh)	Dünyadaki Üretim Payı (%)	Elektrik Tüketimi (TWh)	Dünyadaki Tüketim Payı (%)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (MWh/kişi)
Çin	1393	9770.85	7111.8	26.7	6833.1	27.6	4.9
ABD	327.2	62794.59	4460.8	16.8	4288.8	17.3	13.1
Hindistan	1353	2009.98	1561.1	5.9	1309.4	5.3	1
Rusya	144.5	11288.87	1110.8	4.2	999.4	4.0	6.9
Japonya	126.3	39289.96	1051.6	4.0	1012.8	4.1	8
Kanada	37.06	46232.99	654.4	2.5	572.1	2.3	15.4
Almanya	82.79	47603.03	648.7	2.4	567.8	2.3	6.9
<b>Türkiye</b>	<b>80.81</b>	<b>9370.18</b>	<b>302.5</b>	<b>1.1</b>	<b>272.5</b>	<b>1.1</b>	<b>3.4</b>
Dünya	7594	11312.44	26614.8	100	24738.9	100	3.3

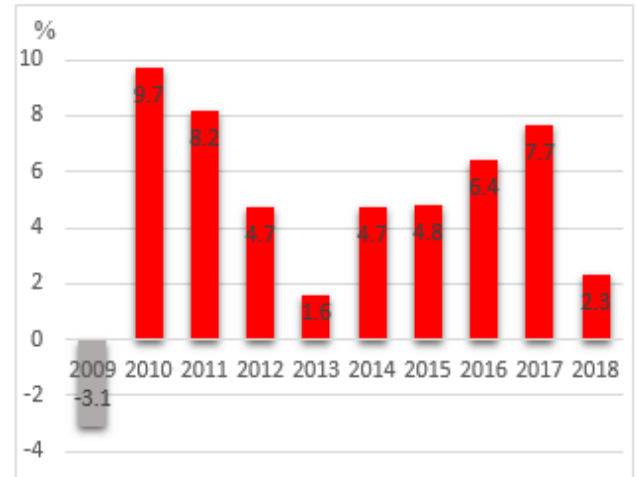
Elektrik enerjisi tüketiminin dünyada ve Türkiye'deki durumu incelendiğinde, IEA verilerine göre küresel elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında 24,738.9 TWh olarak hesaplanmıştır. Ülkemiz ise dünya genelinde yüzölçümü ve nüfusu itibarıyla kayda değer bir duruma sahiptir ve 272,5 TWh elektrik tüketimine ulaşmıştır (Tablo 2).

Elektrik enerjisi tüketim değerleri incelendiğinde tüketimi tam anlamıyla tek bir etkene bağlamanın doğru olmadığı Tablo 2'de görülmektedir. Bu durumu Kanada ve Hindistan örneği ile açıklamak mümkün olacaktır. Kanada'ya bakıldığında nüfusu ülkemize kıyasla düşük olmasına rağmen elektrik tüketim miktarının neredeyse 2 katı olduğu görülmektedir. İki ülke arasındaki bu durumu gelir seviyeleri ile açıklamak mümkün olacaktır. En düşük gelir ölçütüne sahip Hindistan'da ise nüfusu ile değerlendirildiğinde dünya geneli kişi başı elektrik tüketim miktarının altında bir değere sahip olduğu gözleniyor.

Ayrıca Tablo 1 ve Tablo 2 arasında ilişki kurulduğunda kişi başına düşen elektrik tüketiminin 15.4 MWh olan Kanada'da tüketim için sağladığı en büyük üretim kaynağının yenilenebilir enerji olduğu bilgisi çıkartılabilir. Ekonomik ölçütü düşük ve kişi başına tüketilen elektriğin 1 MWh olduğu Hindistan'da ise en büyük üretim kaynağının kömür olduğu gözlenmektedir.

Ülkemiz ise neredeyse dünya geneli kişi başı elektrik tüketim sınırında yer almaktadır ve son 10 yılda yıllık elektrik tüketim artış hızı ortalama %4.7 seviyelerinde gözlenmiş (Şekil 8) [36]. Çeşitli nedenlerden dolayı elektrik enerjisi talebindeki artış hızı yıllara göre değişiklik gösterdiği görülmektedir (Şekil 8). Ayrıca bölgesel,

mevsimsel ve anlık gibi durumlarda tüketim miktarında değişiklik olabilmektedir.



**Şekil 8.** Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimindeki değişim oranları

Aynı gün içinde bile farklılıklar gösteren elektrik enerjisi talebinin anlık olarak karşılanması gerektiğinden elektrik enerjisi üretimi için talep miktarının tahmini gereklidir [14]. Talep miktarının güvenilir bir şekilde planlanabilmesi için talebi etkileyen kriterlerin belirlenmesi önemlidir. Talebi etkilediği düşünülen elektrik talep tahmin modelinin girdi verisi olarak kullanılacak kriterler;

- Ekonomik büyüme ve gelişmeler
  - Nüfus ve demografik değişiklikler
  - Kişi başına düşen elektrikli alet sayısındaki değişimler
  - Elektrikten yararlanan nüfus oranı
  - Şehirleşme oranı
  - Elektrik enerjisi fiyatları ve politikaları
  - Ülkelerin coğrafi özellikleri
- şeklinde sıralanabilir [38].

Çalışmalarda ise girdi verisi olarak kullanılan elektrik enerjisi talep tahminini etkileyen kriterlere örnek olarak Tablo 3’de yer verilmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde farklı yöntemler, değişkenler ve dönemler kullanıldığı aynı zamanda ülke geneli ele alınarak gelecek enerji talebi tahmini yapıldığı gözlenmiştir.

**Tablo 3.** Bazı çalışmalarda kullanılan elektrik enerjisi talebini etkileyen kriterler

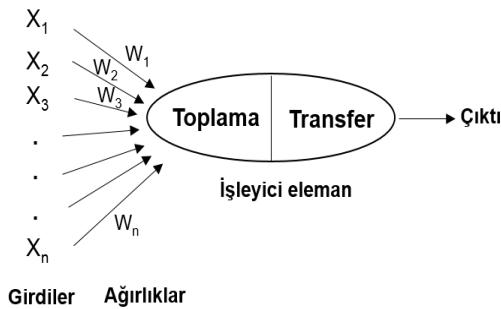
Yazarlar	Kriterler
[16]	Milli gelir, GSYİH, tüketici fiyat endeksi
[17, 39]	GSMH, nüfus, ithalat, ihracat
[22]	Nüfus, GSYİH, kişi başına GSYİH
[24, 40]	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat
[41]	GSYİH, elektriğin ortalama fiyatı, nüfus
[42]	Kurulu güç kapasitesi, brüt elektrik üretimi, nüfus, toplam abone sayısı
[43]	Brüt elektrik üretimi, kurulu kapasite, toplam abonelik, nüfus

### 3 Materyal ve metot

#### 3.1 Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi

Gelişen teknolojiyle insanlığı taklit etme çabalarının en son ürünlerinden bir tanesi olan YSA teknolojisi, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini örnek olarak tasarlanan bir modeldir. Nöronlar içeren sinir hücreleri taklit edilir ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirine bağlanarak ağ oluşturulmaktadır. Bu ağlar öğrenme, hafızaya kaydetme ve tanımlanan girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma gibi yeteneğe sahiptirler [44].

Biyolojik sinir sisteminden esinlenerek yapay sinir hücresinin matematiksel modelde işleyici eleman olarak tanımlanan nöronlar sayesinde girdi verileri kullanılarak çıktı verisi üretilmektedir (Şekil 9).



**Şekil 9.** Basit bir yapay sinir hücresinin yapısı

Biyolojik sinir ağı performansları son derece karmaşık olayları ilişkilendirebildiğinden YSA modeli bilgisayar

ortamına kazandırılmış ve endüstriyel, finansal, askeri ve savunma, sağlık, haberleşme ve ulaşım gibi birçok uyulama alanında kullanımına sıklıkla yer verilmektedir. Model, verilerin eğilimlerini tanımlayabilme imkânı sunduğu için tahmin çalışmalarında da kullanımı uygundur [9]. Yapılan çalışmalarda YSA'nın sağladığı avantaj ve dezavantajlar Tablo 4’te verilen bilgiler ile özetlenebilmektedir.

**Tablo 4.** YSA yönteminin avantaj ve dezavantajları [13]

YSA'nın avantajları	YSA'nın dezavantajları
Doğrusal olmama	YSA yönteminin donanıma bağlı olması
Öğrenme	Belirli bir kural olmadığından probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için deneme yanılma yolunun uygulanması
Genelleme	Ağın davranışlarının açıklanamaması.
Uyulanabilirlik	Ağın eğitiminin ne zaman sonlanacağına dair karar vermek için bir yöntem olmaması
Hata toleransı	Geniş veri seti gereksinimi
Paralellik	Modelleme yapılarına rağmen uygulamanın zor ve karmaşık olması
Eksik verilerle çalışma	YSA yönteminin donanıma bağlı olması
Adaptasyon	

#### 3.1.1 YSA metodolojisi

Model kurulurken öncelikle girdi (İthalat, ihracat, sanayi, nüfus, GSYİH... vb.) ve çıktı (elektrik enerjisi tüketim değeri) verileri belirlenir ve ağa tanıtılmadan önce normalize edilmesi gerekmektedir. Girdi ve çıktı verilerinden oluşturulan veri setinin %70’i ağın eğitiminde %30’u ise ağın test edilmesindeki işlem adımları için ayrılmalıdır. Eğitim ve test verisi olarak düzenlendikten sonra ağ mimarisi oluşturulmaktadır. Ağ mimarisinin oluşturulmasında gizli katman sayısı, katmandaki nöron sayısının belirlenmesi ve ağ parametrelerinin saptanması gerekir. Ağ mimarisinin oluşturulmasına yardımcı olan tüm bu işlemler farklı kombinasyonlar gözden geçirilerek ağın performans sonuçlarına göre belirlenmektedir. Ayrıca ağdaki girdi verilerinin ağırlıkları kullanıcı tarafından bilinmemektedir. Kurulan model tarafından rastgele belirlenir.

Daha sonra eğitim verileri ağa tanıtılır ve öğretilir. Bu işlem sırasında her bir bağlantının ağırlığı öğrenme kuralına göre güncellenir ve yeni ağırlıklara göre ağ tekrar çıktı üretebilmektedir. Tüm bu yenileme işlemlerinin sonlandırılması iki şekilde yapılabilir. Ağın eğitilmesi belli bir iterasyon değerine ulaştığında ya da hata değeri kabul edilebilir bir sonuç verdiğinde eğitim sonlandırılır. İstenilen bu şartlar sağlanmıyorsa veri seti gözden geçirilmeli ve ağ mimarisi tekrar kurulmalıdır.

Ağın eğitimi kabul edilebilir bir şekilde tamamlandığında test verilerinden yararlanılarak ağ test edilir ve tahmin performansı ölçülür. Eğer test sonucu kabul edilebilir bir başarıya ulaşırsa yeni girdi verileri ağa tanıtılır ve çıktı verileri elde edilir. Eğer test sonucu kabul edilebilir bir başarıya sahip değil ise işlemler tekrarlanmalıdır.

### 3.2 Çoklu regresyon analizi (ÇRA)

Regresyon analizi, çalışmalarda model doğrulama yöntemi olarak sıklıkla karşılaşılan istatistiki bir analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemi bağımlı ve bağımsız değişkenlerin olduğu bir konu üzerinde sebep-sonuç ilişkisini belirleyerek matematiksel bir denklem türetir ve gelecek tahmini yapılmasına yardımcı olur [45].

Çoklu regresyon analizinde (ÇRA), oluşturulan modeldeki bağımsız değişkenlerin her biri bağımlı değişkendeki değişimi anlamlandırmaya çalışır ve ÇRA modelinin matematiksel olarak formülü,

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

$y_i$ : Bağımlı değişken (elektrik enerjisi tüketim değeri)

$x_n$ : Bağımsız değişkenler (İthalat, ihracat, sanayi, nüfus, GSYİH... vb.)

$\varepsilon$ : Bozulma ve hata terimi

$\beta_0$ : Sabit katsayı

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ : Değişken katsayıları şeklinde ifade edilmektedir.

ÇRA modelinin sonucunda bulunan F ve R<sup>2</sup> değerleri model kontrolü için önemlidir. ANOVA testi sonucunda çıkan F değeri oluşturulan modelin anlamlı olup olmadığı noktasında yardımcı olmaktadır. F değerinin 0.05'ten düşük olması gerekmektedir. R<sup>2</sup> değeri ise bağımsız değişkenler tarafından bağımlı değişkenin % kaçının açıklandığını ifade etmektedir. R<sup>2</sup> değerinin 1'e yakın olması modeldeki bağımlı değişkenin, bağımsız değişkenler tarafından o kadar iyi açıklandığı anlamına gelmektedir [46].

### 4 Uygulama

Çalışmada Türkiye'nin ekonomisine yönelik olan elektrik enerjisi tüketim değişkenine ait talep tahmini yapılmıştır. Türkiye'nin 2030 yılı talep tahmini için YSA ve ÇRA yöntemine göre elektrik enerjisi tüketim tahmini modelleri oluşturulmuştur. YSA ve ÇRA yönteminin tahmin gücü için performans analizleri gerçekleştirilerek her iki modelde de ortak olan test verilerinin tahmin sonuçları ile gerçek değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 10).

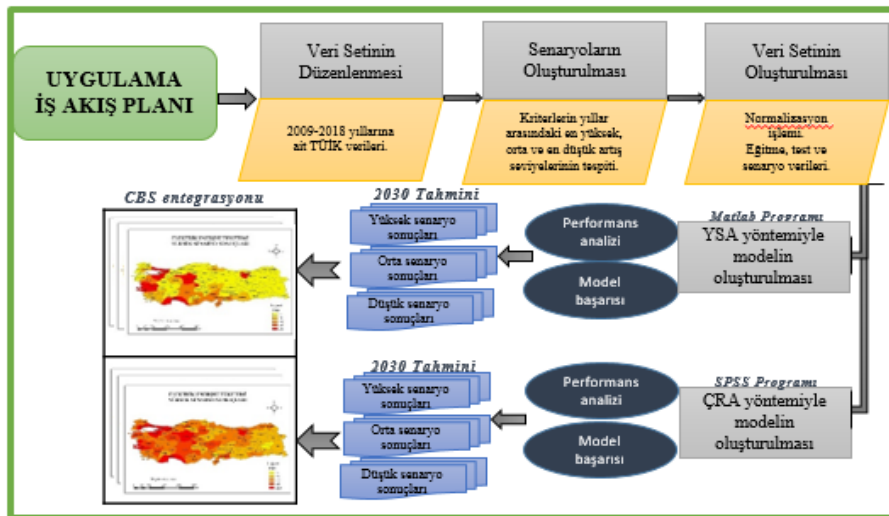
### 4.1 Çalışmada kullanılan veri seti

Türkiye'nin 2009-2018 yıllarına ait elektrik enerjisi talep tahminini etkileyen nüfus miktarı, ortalama hanehalkı büyüklüğü, eğitim durumu, GSYH, ihracat, ithalat, sanayi girdi verisi olarak ve elektrik enerjisi tüketim verileri çıktı verisi olarak çalışmada kullanılmıştır. Her bir kriter TÜİK verilerinden 81 il için elde edilmiş ve bu kriterler ele alınırken Her bir ilin 10 yıllık verileri ile veri seti düzenlenmiştir. Bu verilerden genel anlamda nüfus, ortalama hanehalkı büyüklüğü eğitim durumu, GSYİH değerleri yıldan yıla artış gösterirken, ihracat, ithalat ve sanayide bazı illerde ve bazı dönemlerde düşüş gözlemlenmektedir. Çıkış değişkenimiz ise elektrik enerjisi tüketim verisi 2008-2009 geçiş dönemine ait verilerde küçük düşüşler olduğu gözlemlenmektedir.

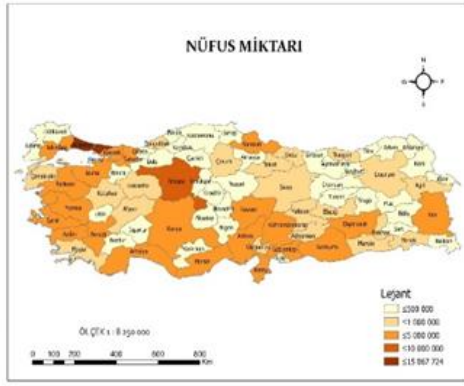
Çalışma modelinde kullanılan girdi ve çıktı verileri değerlendirilmek üzere CBS ortamında hazırlanarak haritaya aktarılmıştır. Girdi ve çıktı verilerinin 2018 yılına ait değerleri genel durumu göstermek amacıyla Şekil 11 ve Şekil 12'teki haritalarda gösterilmektedir.

Modelde kullanılan girdi ve çıktı verilerinin yoğun olması, veri setini karmaşık bir hale sokmaktadır. Veri setini yakından tanıyabilmek ve mevcut durumunu izleyebilmek adına her bir kriter ayrı ayrı CBS ortamına entegre edilmiştir. Böylece veri setinin yoğunluğunun çözümlenmesinde CBS'den araç olarak faydalanılmış ve modele etki eden tüm kriterlerin mevcut durumunu Türkiye haritasında görsel bir ifade ile sunma imkânı vermiştir.

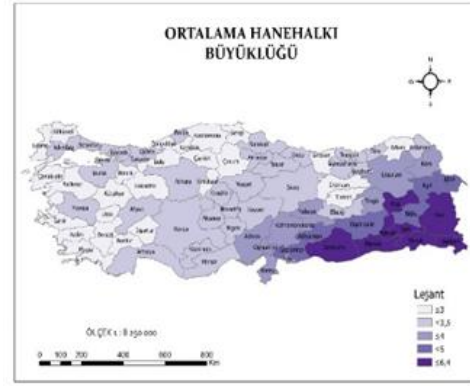
Uygulamada 2030 yılı elektrik enerjisi tahmininin belirlenmesine yardımcı olan tüketime etki eden her bir kriterin yıllar arasındaki en yüksek, orta ve düşük artış seviyeleri belirlenerek senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolarda veri setinde yer alan enerjisi talep tahminini etkileyen nüfus miktarı, ortalama hane halkı büyüklüğü, eğitim durumu, GSYH, ihracat, ithalat ve sanayi girdi verilerinin 10 yıllık artış hızlarının, 81 ile ait % değişim oranları tespit edilmiştir. Her bir giriş verisinin en yüksek, ortalama ve en düşük oranlarına göre 81 il için 3 ayrı senaryo oluşturulmuştur.



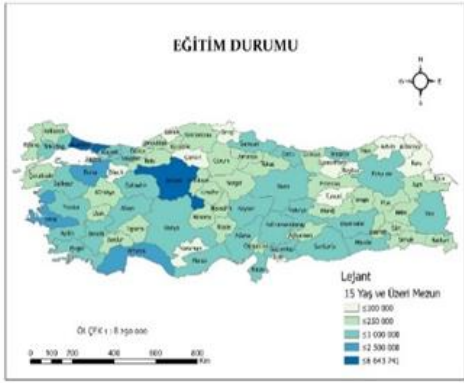
Şekil 10. Uygulamada kullanılan iş akış planı



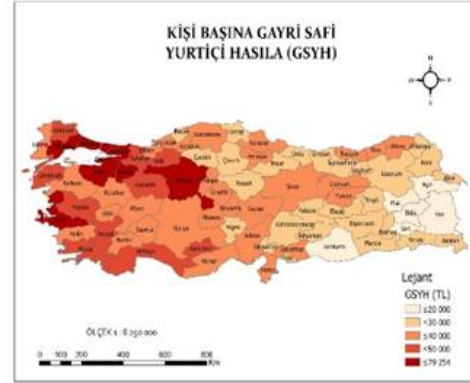
(a)



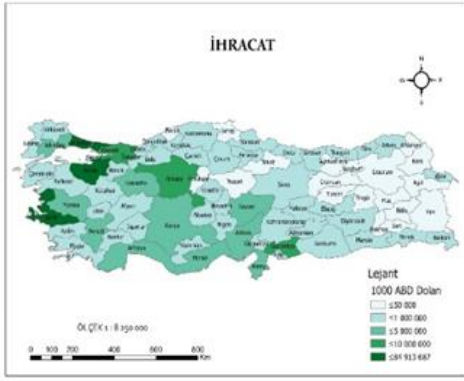
(b)



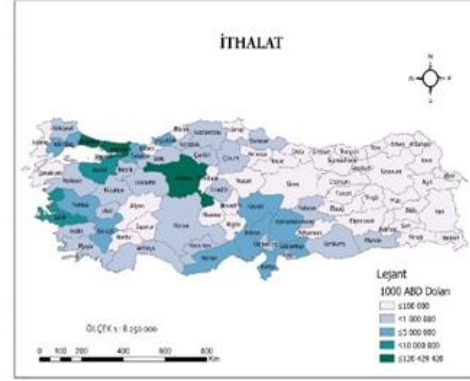
(c)



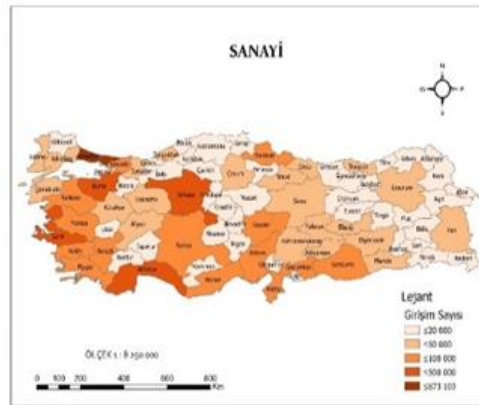
(d)



(e)



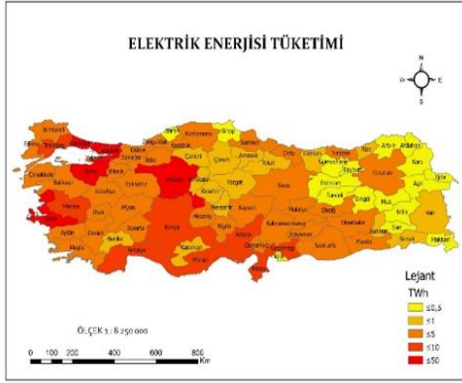
(f)



(g)

Şekil 11. Modelin girdisi olan elektrik enerjisi talep tahminini etkileyen kriterlerin 2018 yılı haritası





Şekil 12. Modelin çıktısı olan elektrik enerjisi tüketiminin 2018 yılı haritası

Bu senaryolar daha sonra veri setine dâhil edilmiştir. Düzenlenen veri setindeki değerler birbiri ile orantılı olmadığından, veriler arasında aşırı derecede büyük ve küçük değer olduğundan verilerin YSA ve ÇRA yöntemlerine entegre edilebilmesi için belirli bir aralığa getirilmesi gerekmektedir. Girdi ve çıktı verilerinden oluşan veri setinin modellerde kullanımı için [1, 2] aralığında normalizasyon işlemi yapılmıştır (Denklem (2)).

$$X_n = (X_r - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) + 1 \quad (2)$$

Burada  $X_r$ , kriterin gerçek değeri ve  $X_{max}$ ,  $X_{min}$ 'de kriterlerin en büyük ve en küçük değerleridir.

Veri setinin eğitime ve test olarak modelin oluşması için ayrılması gerekmektedir. Eğitimde yer alan veriler ile model oluştururken test verileri ile modelin tahmin başarısı ortaya çıkmaktadır. Çalışmada enerji tahmininde gelecekte olabilecek ihtiyaçlara göre oluşturulan senaryolarda normalizasyona dahil edilerek giriş verilerinin senaryo veri seti oluşturulmuştur. Bu nedenle tüm normalize edilmiş değerlerin modelde eğitime başarılı olması için sistematik olarak eğitime verileri oluşturmak yerine rastgele ama tüm veri içeriklerini yansıtacak şekilde normalize veri setinde;

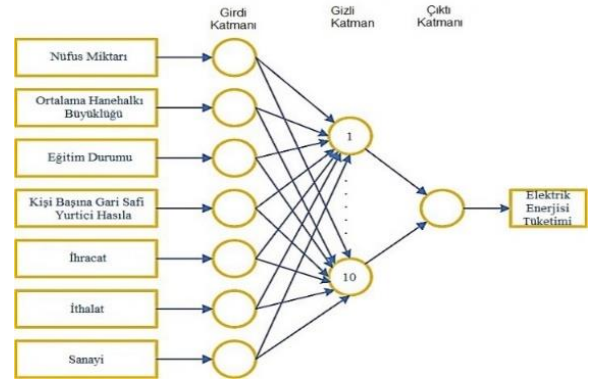
- 2009, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 yıllarına ait 567x8 il verileri eğitime,
- 2010, 2014, 2018 yıllarına ait 243x8 il verileri testte
- 2030 yılı için düşük, orta ve yüksek verilerin artışına göre düzenlenen 243x7 il senaryo verilerinde,

kullanılmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Eğitim veri seti YSA ve ÇRA'da modelin oluşmasında, test verileri her iki modelin tahmin başarılarını test etmede kullanılmıştır. 2030 yılına ait senaryo verileriyle ise oluşan modellerle gelecek tahmin değerlerine bakılmıştır.

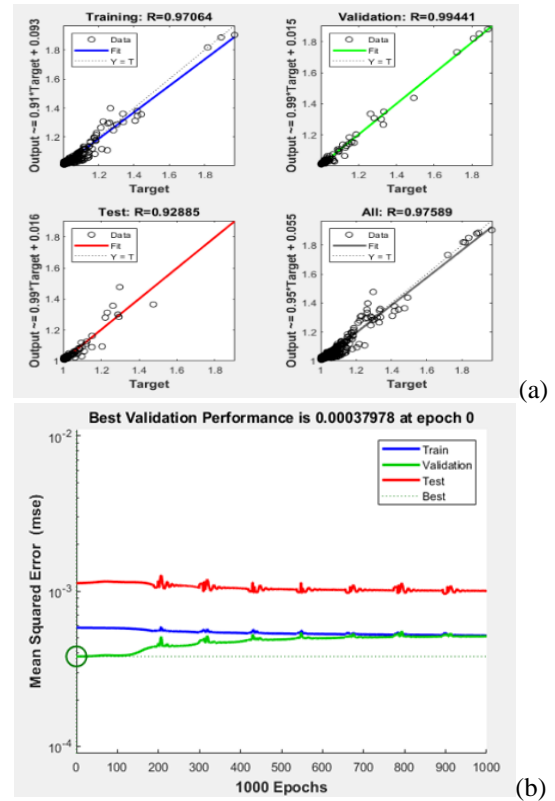
#### 4.2 Yapay sinir ağları (YSA) uygulaması

Çalışmada gerçekleştirilen yöntemlerden biri olan YSA metoduna göre oluşturulan metodolojide yedi input ve bir output ile model kurulmuştur. Çalışmada kullanılan 7 kriterli YSA'nın yapısı Şekil 13'te gösterilmektedir. YSA ile

problemin başarılı bir şekilde çözümlenebilmesi için ağ topolojisinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. YSA topolojisinin seçimi problemin türüne göre değişiklik gösterebilmektedir. Fakat ileri geri yayılım ağları neredeyse tüm problemlerin çözümünde kullanılmaktadır [47]. Bu çalışmada ağıncı topolojisi ileri beslemeli geri yayılım üzerine oluşturulmuştur. Katman ve nöronların sayılarının belirlenmesinde, farklı kombinasyonlar deneyerek performansına göre karar verilmiştir. Çalışma sonucunda 1 katmanlı ve 10 nöron sayısına sahip olan ağ uygun bulunmuştur (Şekil 13). Ağın eğitime başarısı geri dönüş değerleri 1000 iterasyon sonucunda  $R=0,97064$  olarak elde edilmiştir (Şekil 14.a,b)



Şekil 13. Yapay sinir ağı modeli



Şekil 14. YSA modelinin eğitilmesi sonucu regresyon değerleri (a) ve modelin ortalama kare hatası ile en iyi doğrulama performans değeri arasındaki ilişki (b)

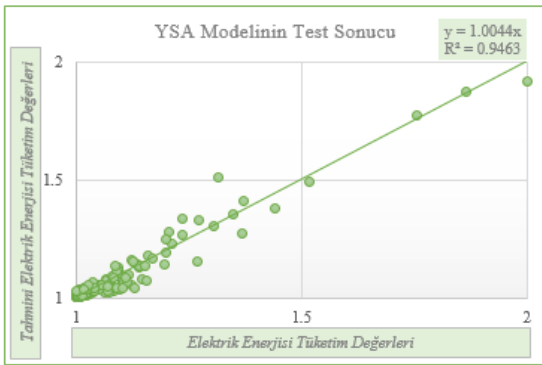
YSA'nın performanslar sonucunda eğitim verileri ile oluşan model başarısı kabul edilir olduğundan test verileri ağa tanımlanır. Ağ bu test verileri sonucunda bize tahmini bir çıktı üretmektedir. Elde edilen sonuçların doğruluk derecesi gerçek çıktı verileri ile değerlendirilmek üzere oluşturulan YSA modelinin performansı ölçülür. Modelin doğruluğu ortalama yaklaşıklık oranı (%AA) ve determinasyon katsayısına ( $R^2$ ) göre incelenmiştir.

$$\%AA = \frac{\sum_{i=1}^n (1 - \frac{|Xp - Xi|}{Xp})}{n} \times 100 \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Xp - Xi)^2}{\sum (Xi - \bar{X})^2} \quad (4)$$

Denklemlerde belirtilen  $X_p$  elektrik enerjisi tüketiminin tahmin değeri,  $X_i$  gerçek elektrik enerjisi tüketim değeridir.  $i: \{1.2.3...n\}$  ise veri setinde bulunan 81 ilin numaralandırılmasıdır.

YSA modeli ile elde edilen ortalama yaklaşıklık oranı %98 mutlak başarı ile elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan elektrik enerjisi tüketim değerleri ile modelden elde edilen tahmini elektrik enerjisi tüketim değerleri arasında en iyi uyum eğrisi ( $y=x$  eğrisi) ile gösterilmektedir.  $R^2$  değeri 1'e yakın olduğunda model başarılı sayılır ve çalışma modelinin  $R^2$  değeri 0,9463 olarak elde edilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. YSA modelinin  $y=ax$  ve  $R^2$  değeri

### 4.3 Çoklu regresyon analiz (ÇRA) uygulaması

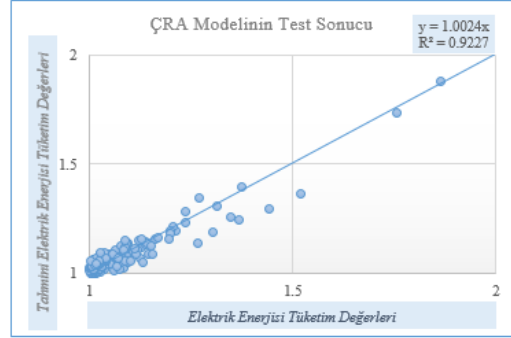
Çalışmada yapılan tahmin başarısını ölçmek için kullanılan başka bir yöntemde ÇRA yöntemidir. YSA yönteminde olduğu gibi aynı veri seti ile ÇRA modeli oluşturulmuştur. Yedi bağımsız değişken girdi ve bir bağımlı değişken olan çıktı verisine çoklu regresyon modeli uygulandığında elde edilen denklem aşağıdaki gibidir.

$$Y = -3.303 + 1.361 * X_1 + 0.768 * X_2 + 5.472 * X_3 - 2.81 * X_4 - 0.078 * X_5 - 0.416 * X_6 - 0.018 * X_7 \quad (5)$$

Nüfus miktarı ( $X_1$ ), GSYH ( $X_2$ ), ihracat ( $X_3$ ), ithalat ( $X_4$ ), sanayi ( $X_5$ ), eğitim durumu ( $X_6$ ), ortalama hanehalkı büyüklüğü ( $X_7$ ) değişkenleri YSA modelinde olduğu gibi ÇRA'da da bağımsız değişken ve elektrik enerjisi tüketimi (Y) bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Elde edilen regresyon modelinin performansını belirlemek için test

verileri regresyon denklemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra gerçek olan elektrik enerjisi tüketim değeri ile kıyaslanmıştır. Oluşturulan modelin başarısını ölçmek için YSA modelinde olduğu gibi % AA,  $R^2$  gibi performans analizleri yapılmıştır.

Bu modelden elde edilen ortalama yaklaşıklık oranı %98 mutlak başarı ile elde edilmiş ve  $R^2$  sonucu 0.9227 olarak bulunmuştur (Şekil 16).



Şekil 26. ÇRA modelinin  $y=ax$  ve  $R^2$  değeri

## 5 Bulgular ve tartışma

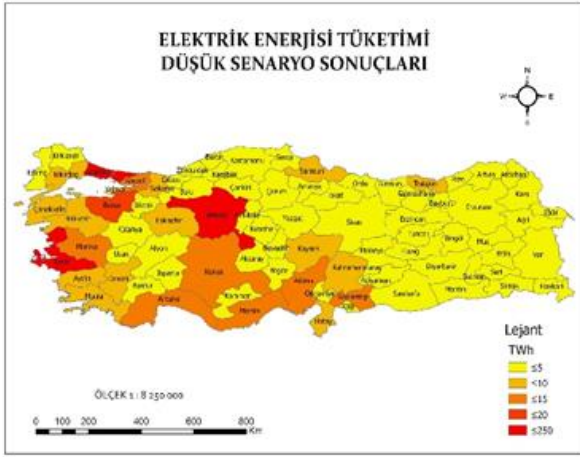
Küçükali ve Barış [21], Lin [48], Ervural [49]' e göre %10'dan daha az olan tahmin hatasına sahip modeller yüksek doğruluk derecesine sahip tahmin modelleri olarak ifade edilmektedir. YSA ve MRA modellerinin %2 tahmin hatasına sahip olması bu çalışmanın elektrik enerjisi tüketim tahmininde literatüre göre her iki modelde başarılı olarak kabul edilmektedir.

Türkiye'nin 10 yıllık verileri kullanılarak modelin başarısı test edildikten sonra gelecek 2030 yılı elektrik enerjisi tahmini için üretilen senaryolar ile enerji talep tahmini gerçekleştirilmiştir. Üç farklı senaryonun YSA ve ÇRA modellerine göre tanımlanmasıyla elde edilen Türkiye'nin 81 iline ait 2030 yılı elektrik enerjisi tüketim tahmini sonuçlarının haritası Şekil 17, 18'de üretilmiştir.

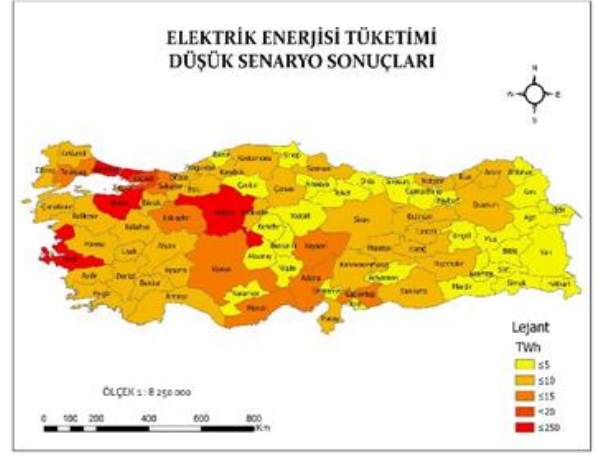
Modellemeler sonucu oluşan Türkiye'nin enerji talep tahmin haritalarına bakıldığında, genel anlamda İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa ve Antalya'nın daha fazla taleple öne çıktığı görülmektedir. Bu illerin sadece nüfus olarak değerlemeye alınması durumunda Bursa ve Antalya'nın dikkat çekmesi anlaşılacaktır. Çalışma il bazında gelecek tahmini için yedi farklı etkenin göz önüne alınarak değerlendirilmesinde etkin bir kullanım altlığı olabileceğini göstermektedir.

Ülkemizde il bazında yapılmış olan elektrik enerjisi talep tahmini çalışması bulunmamaktadır. Fakat bakanlık tarafından her iki yılda bir hazırlanan Türkiye'nin genel Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporuna göre yıllık bazda talep tahmin modeli düşük, referans/orta ve yüksek senaryolar şeklinde kurulmuş ve tahmin edilmiştir. Bakanlığın sunmuş olduğu sonuçlar ile iller bazında uygulanan bu çalışmanın sonuçlarını toplayarak genel anlamda Türkiye'nin 2030 yılı toplam tüketim talebi kıyaslanabilmektedir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından sunulan Türkiye'nin 2030 yılı projeksiyon sonuçları ve çalışmada modellenen il bazındaki model sonuçlarının toplamına göre karşılaştırma

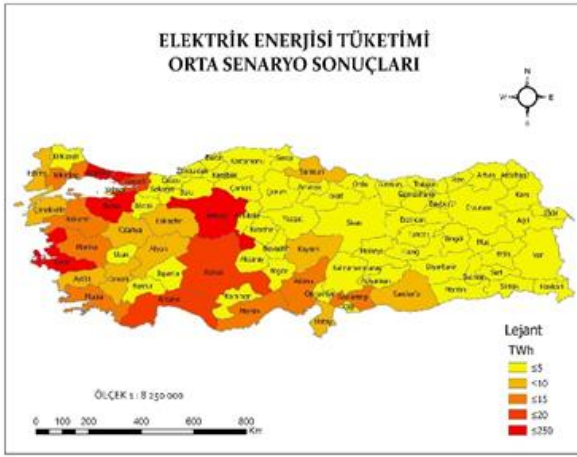
yapıldığında YSA ile enerji talep tahmininde daha sağlıklı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmektedir (Tablo 5).



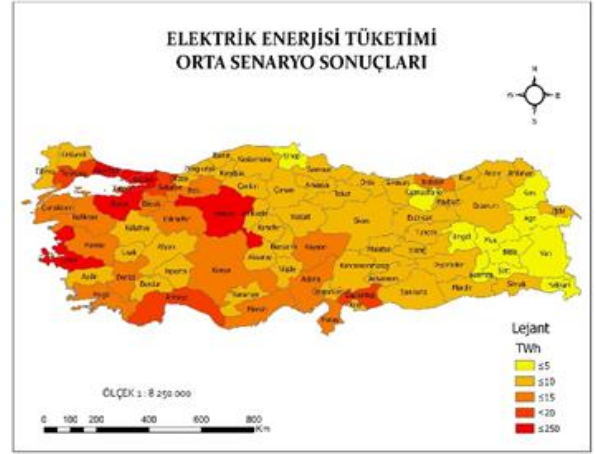
(a)



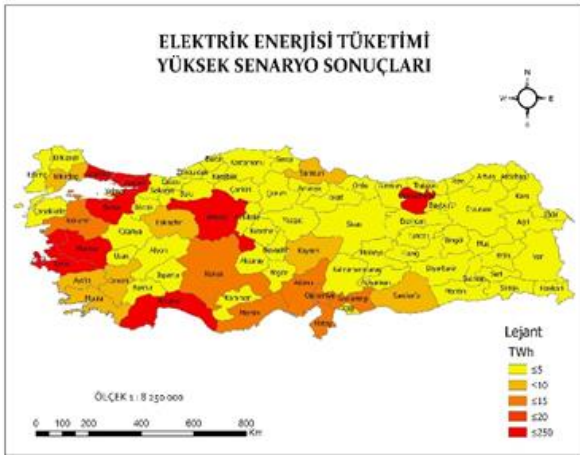
(a)



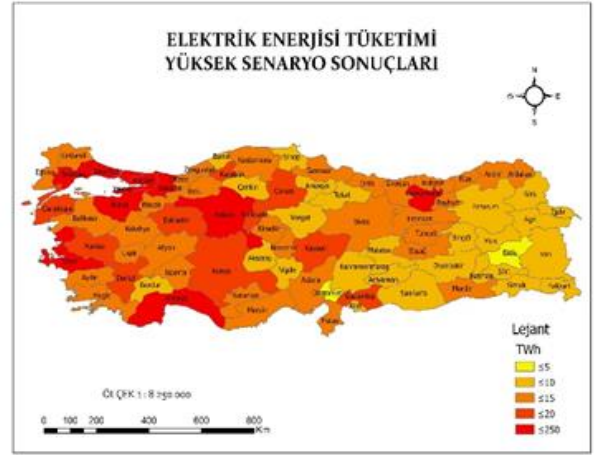
(b)



(b)



(c)



(c)

Şekil 17. YSA modeli ile Türkiye'nin 2030 yılı elektrik enerjisi tüketim tahmini haritası

Şekil 18. ÇRA modeli ile Türkiye'nin 2030 yılı elektrik enerjisi tüketim tahmini haritası

**Tablo 5.** Türkiye'nin 2030 yılı elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçları

2030 Yılı Sonuçları	Senaryolar (TWh)		
	Düşük	Referans/Orta	Yüksek
ETKB raporu	453.0	481.7	515.4
YSA modeli	453.0	456.2	493.4
ÇRA modeli	1293.3	762.1	595.8

YSA modeli ile ETKB'nin raporuna göre 2030 yılı toplam enerji talep tahminlerinin ÇRA ya göre daha yakın bulunmasının sebebi: ÇRA yönteminin lineer olmasından dolayı sürekli verilerde sistematik artış gösterdiği ilkesine göre hareket ederek model oluşmasıdır. Hâlbuki YSA insan beynini taklit ederek sonuç ürettiğinden daha makul tahmin değerleri elde etmiştir. Oluşan talep haritalarına bakıldığında da ÇRA yöntem tahminlerinde gelecekte olması beklenenden daha fazla ilin talebinin arttığı gözlemlenmektedir.

## 6 Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda yapay zekâ yöntemlerinden olan YSA modeli ve istatistiksel analiz yöntemi olan ÇRA modeli kurularak Türkiye'nin iller bazında 2030 yılı elektrik enerjisi talep tahmini gerçekleştirilmiştir. 81 ile ait elektrik enerjisi talep tahmini sonuçları toplanarak elde edilen ülke geneli toplam talep sonuçlarına bakıldığında, YSA yöntemi ile yapılan model sonuçlarının bakanlığın elde ettiği sonuçlara daha yakın olduğu gözlenmiştir. Fakat bu çalışma sonucunda elde edilen enerji ihtiyaç haritaları tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Oluşturulan bu üç senaryonun haritası yenilenebilir ya da alternatif enerji kaynaklarının ilgili potansiyel haritaları ile beraber incelenmelidir. Ancak iki durum beraber gözlemlenirse enerjinin yerinde üretimi ve tüketimiyle ekonomik anlamda ülkemize kazanım sağlayacaktır.

Tablo 6'da örnek olarak verilen ülkemizin 2018 yılı elektrik enerjisi durumu incelendiğinde, yaşanan iç tüketim ve kayıplardan dolayı üretilen enerji miktarının azaldığı görülmektedir. Bu çalışma sonucu üretilen çıktı haritaları ile enerjinin en fazla üretimini sağlayacak alanla birlikte üretilecek enerjinin en fazla potansiyelinde alternatif kaynaklar dikkate alınarak geliştirilebilir. Böylece enerji kaynağının yerinde üretimi ile kullanıma sunmak kayıpların önüne geçilmesine ve üretilen enerjinin etkin kullanımına katkı sağlayacaktır.

**Tablo 6.** Türkiye'nin elektrik enerjisi üretim-tüketim dengesi [36]

2018 yılı	TWh
Brüt Üretim	304.8
İç Tüketim	14.3
Net Üretim	290.5
İthalat	2.5
Şebekeye Verilen	293.0
İletim Kaybı	5.1
Dağıtım Kaybı	29.8
İhracat	3.1
Net Tüketim	254.9

18 Ocak 2018 tarihli Elektrik Mühendisleri Odası açıklamalarına göre Türkiye'de 2018 yılında elektrik şebekesindeki beklenen kayıp-kaçak toplam üretimin %14.2'si olarak gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu oran Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ortalaması olan %6.4'ten ve seçilmiş ülkelerden önemli oranda yüksektir. Bu nedenle bu çalışma sonuçlarının bu oranı minimize etmede altlık olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca çalışma sonucu:

- Bu tür bir çalışmanın çıktıları kalkınma planlarının hazırlanmasında
- Yenilenebilir enerji kurulumlarının hangi bölgelerde öncelikli planlanması gerektiği konusunda
- Karar destek sisteminde etkili olan yöneticilere destek sağlamada kullanılabilir.

Ayrıca çalışma, sadece kaynak enerji kurulumları konusunda destek sağlamayacaktır. İhtiyaç duyulması halinde elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım şebeke merkezlerinin yer seçimi konusunda gerekli projelerde önemli bir etken olarak kullanılabilir.

## Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir

## Benzerlik oranı (iThenticate): %3

## Kaynaklar

- [1] E. Koç ve M.C. Şenel, Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 54(639), 32-44, 2013.
- [2] E. Koç ve K. Kaya, Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. Mühendis ve Makina, 56(668), 36-47, 2015.
- [3] C. Hamzaçebi ve F. Kutay, Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(3), 227-233, 2004.
- [4] R. L. Carlson and M. M. Umble, Statistical demand functions for automobiles and their use for forecasting in an energy crisis. The Journal of Business, 53(2), 193-204, 1980. <http://dx.doi.org/10.1086/296080>.
- [5] E. Gavcar, S. Şen ve A. Aytekin, Türkiye'de kullanılan kağıt-karton türlerinin talep tahminlerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Agriculture and forestry, 23, 203-211, 1999.
- [6] S. L. Zhou, T. A. McMahon, A. Walton and J. Lewis, Forecasting operational demand for an urban water supply zone. Journal of Hydrology, 259(1-4), 189-202, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00582-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00582-0).
- [7] M. Atay, Y. Eroğlu ve S. U. Seçkiner, Yapay sinir ağları ve adaptif nörobülün sistemler ile 3. İstanbul Havalimanı talep tahmini ve Türk Hava Yolları iç hat filo optimizasyonu. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 30(2), 141-156, 2019.
- [8] W. E. Griffiths, L. S. Newton and C. J. O'Donnell, Predictive densities for models with stochastic repressors and inequality constraints: forecasting local-area wheat yield. International Journal of Forecasting, 26(2), 397-412, 2010.

- [9] M. Karahan, İstatistiksel tahmin yöntemleri: yapay sinir ağları metodu ile ürün talep tahmini uygulaması. Doktora tezi, Konya Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, 2011.
- [10] Z. Dilaver and L. C. Hunt, Industrial electricity demand for Turkey: a structural time series analysis. *Energy Economics*, 33(3), 426-436, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.001>.
- [11] A. Kialashaki and J. R. Reisel, Development and validation of artificial neural network models of the energy demand in the industrial sector of the United States. *Energy*, 76, 749-760, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.072>.
- [12] E. Boltürk, Elektrik talebi tahmininde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2013.
- [13] D. Aydın, Yapay sinir ağları yardımı ile talep tahmin analizi ve deniz taşımacılığı sektöründe bir uygulama. Yüksek lisans tezi, İstanbul Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, 2012.
- [14] İ. Uygun, Yapay sinir ağları yardımıyla enerji sektöründe talep tahmini. Yüksek lisans tezi, İstanbul Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, 2015.
- [15] P. Masaebi, Yapay sinir ağları ile İran elektrik tüketim tahmini. Yüksek lisans tezi, Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2016.
- [16] H.T. Pao, Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan's electricity consumption. *Energy*, 31(12), 2129-2141, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.08.010>.
- [17] K. Kavaklioglu, H. Ceylan, H. K. Ozturk and O.E. Canyurt, Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2719-2727, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.06.016>.
- [18] H. A. Es, F.Y. Kalender ve C. Hamzaçebi, Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 495-504, 2014. <https://doi.org/10.17341/gummfd.41725>.
- [19] E. Erdogdu, Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey. *Energy Policy*, 35(2), 1129-1146, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.02.013>.
- [20] Ö. Demirel, A. Kakilli ve M. Tektaş, Anfis ve Arma modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 601-610, 2010.
- [21] S. Kucukali and K. Baris, Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach. *Energy Policy*, 38(5), 2438-2445, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.037>.
- [22] V. Bianco, O. Manca and S. Nardini, Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy*, 34(9), 1413-1421, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.034>.
- [23] K. Kavaklioglu, Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression. *Applied Energy*, 88(1), 368-375, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.07.021>.
- [24] Y. Vecihi, Genetik algoritma ile Türkiye net elektrik enerjisi tüketiminin 2020 yılına kadar tahmini. *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 37-41, 2011.
- [25] H. K. Ozturk, H. Ceylan, O. E. Canyurt and Arif Hepbasli, Electricity estimation using genetic Algorithm approach: a case study of Turkey. *Energy*, 30(7), 1003-1012, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.008>.
- [26] H. A. Amarawickrama and L. C. Hunt, Electricity demand for Sri Lanka: a time series analysis. *Energy*, 33(5), 724-739, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.12.008>.
- [27] F. Gurbuz, C. Ozturk and P. Pardalos, Prediction of electricity energy consumption of Turkey via artificial bee colony: a case study. *Energy Systems*, 4(3), 289-300, 2013.
- [28] International Energy Agency, IEA statistics: World energy balances overview 2019. <http://www.iea.org>, Accessed 6 April 2020.
- [29] International Energy Agency, IEA statistics: Key world energy statistics 2019. <http://www.iea.org/statistics/>, Accessed 6 April 2020.
- [30] British Petroleum (BP), BP statistical review of world energy 2019. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-statsreview-2019-full-report.pdf>, Accessed 6 April 2020.
- [31] Türkiye Petrolleri, 2018 yılı ham petrol ve doğal gaz sektör raporu. Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, Mayıs 2019.
- [32] Organization of the Petroleum Exporting Countries, Energy demand. <https://wo.opec.org/chapter.php?chapterNr=100>, Accessed 6 April 2020.
- [33] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Denge tablosu 2017-2018. <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari>, Erişilen tarih 8 Nisan 2020.
- [34] The Worlds Bank , <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>, Accessed 15 December 2020.
- [35] International Energy Agency, <https://www.iea.org/>, Accessed 15 December 2020.
- [36] Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Elektrik enerjisi üretimi-tüketimi-kayıplar 2017. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, Erişilen tarih 8 Nisan 2020.
- [37] O. Türkyılmaz ve Y. Bayrak, Türkiye'nin enerji görünümü 2018. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, MMO/691, Ankara.
- [38] Ö. Gültekin, Bursa ili orta dönem elektrik talep tahmini. Yüksek lisans tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2009.
- [39] C. Hamzaçebi, Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*,

- 35(3), 2009-2016, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.03.014>.
- [40] K. Kavaklioglu, Principal components based robust vector autoregression prediction of Turkey's electricity consumption. *Energy Systems*, 10(4), 889-910, 2019.
- [41] Z. Mohamed and P. Bodger, Forecasting electricity consumption in New Zealand using economic and demographic variables. *Energy*, 30(1), 1833-1843, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.012>.
- [42] M. Bilgili, B. Sahin, A. Yasar and E. Simsek, Electric energy demands of Turkey in residential and industrial sectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 404-414, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.005>.
- [43] F. Kaytez, M. C. Taplamacioglu, E. Cam and F. Hardalac, Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. *Electrical Power and Energy Systems*, 67(1), 431-438, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.036>.
- [44] H. Yurtoğlu, Yapay sinir ağları metodolojisi ile öngörü modellenmesi: bazı makroekonomik değişkenler için Türkiye örneği. DPT-Uzmanlık Tezi, yayın no:DPT:2683, Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, 2005.
- [45] F. O. Hocaoglu, K. Kaysal ve A. Kaysal, Yük tahmini için hibrit (YSA ve regresyon) model. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 3(2), 33-39, 2015.
- [46] F. B. Ünel, Taşınmaz değerlendirme kriterlerine yönelik coğrafi veri modelinin geliştirilmesi. Doktora tezi, Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2017.
- [47] D. Anderson and G. McNeill, Artificial neural networks technology. New York: Rome Laboratory, ELIN: A011, 1992.
- [48] C. Lin and P. Hsu, Forecast of non-alcoholic beverage sales in Taiwan using the grey theory. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 14(4), 3-12, 2002.
- [49] B. C. Ervural, I. U. Sarı ve B. Koçyiğit, Kural tabanlı bulanık yaklaşımla talep tahmini ve hızlı tüketim sektöründe bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 83-93, 2018.

