

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOĞİ YÖNETİMİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**UZUN DÖNEMLİ ENERĐİ PLANLAMASI İÇİN ELEKTRİK ÜRETİM
SENARYOLARININ OLUŞTURULMASI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAZIRLAYAN
İHSAN BAHADIR**

**TEZ DANIŐMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ BURÇİN ÇAKIR ERDENER**

ANKARA-2020

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde İhsan BAHADIR tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 21 / 01 / 2020

Tez Adı: Uzun Dönemli Enerji Planlaması İçin Elektrik Üretim Senaryolarının Oluşturulması Ve Analizi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY

Başkent Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR ERDENER

Başkent Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayyüce AYDEMİR KARADAĞ

Çankaya Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: 05/02 / .2020.

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 03 / 02 / 2020

Öğrencinin Adı, Soyadı : İhsan BAHADIR

Öğrencinin Numarası : 21720483

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı : Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR ERDENER

Tez Başlığı : Uzun Dönemli Enerji Planlaması İçin Elektrik Üretim Senaryolarının Oluşturulması Ve Analizi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 79 sayfalık kısmına ilişkin, 21/01/2020 tarihinde tez danışmanım tarafından TURNITIN adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %9'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:



Onay

03 / 02 / 2020

Dr. Öğr. Üyesi Burçin ÇAKIR ERDENER



TEŐEKKÜR

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Tez dönemimde yanımda olduğu için sevgili niŐanlıma ayrıca teŐekkür ederim.

Tez çalışmamın gerçekleştirilmesindeki verdiği her türlü destek ve katkılarından dolayı danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Burçin Çakır Erdener'e, Doç. Dr. Kumru Didem Atalay'a ve Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı Doç. Dr. Yusuf Tansel İç'e içtenlikle teŐekkür ederim.

ÖZET

İhsan BAHADIR

UZUN DÖNEMLİ ENERJİ PLANLAMASI İÇİN ELEKTRİK ÜRETİM SENARYOLARININ OLUŞTURULMASI VE ANALİZİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2020

Dünyada ve ülkemizde dışa bağımlılığın azaltılması için yerli kaynakların kullanımının artması gelecekteki enerji politikalarının temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye elektrik arz piyasasında 2038 yılı için farklı arz senaryolarını sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde belirlenen kriterlere göre karşılaştırmaktır. Elektrik enerjisinde hızla artan talebi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırarak karşılayabilmek için senaryolar üretilmiş ve karşılaştırılmıştır. Oluşturulan senaryolarda rüzgâr ve güneş enerjisinin kullanımının arttırılması temel alınmıştır. Çalışmada, son iki yılda gerçekleşen tüketim verileri dikkate alınarak tutarlı bir talep tahmin modeli oluşturulmuş ve bu talebi karşılayabilmek için ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin en üst düzeyde kullanılması hedeflenmiştir. 2038 yılı için güneş ve rüzgâr enerjisinin mevcut kapasitelerinin arttırılmasına yönelik senaryolar oluşturulmuş ve her bir senaryo EnergyPlan modeli kullanılarak çalıştırılmıştır. Model çıktıları belirlenen kriterler açısından Tercih seçim indeksi yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve en iyi senaryo seçilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Talep Tahmini, EnergyPlan, Minitab, Tercih Seçim İndeksi, Winters yöntem

ABSTRACT

İhsan BAHADIR

**CREATING AND ANALYZING ELECTRICITY GENERATION SCENARIOS FOR
LONG TERM ENERGY PLANNING**

Başkent University

Institute of Science and Technology

Department of Industrial Engineering

2020

The aim of this study, to compare the sustainability criteria set out in the framework of different supply scenarios may be possible for the supply electricity market in the year of 2038 in Turkey. Possible scenarios have been generated and compared to meet the rapidly increasing demand in the electricity by taking into account the existing resources and increasing the use of renewable energy sources. Increasing use of domestic resources to reduce foreign dependence is the basis of future energy policies both in the world and in the our country. In this thesis, approaches to analyze the electricity supply scenarios and select the best scenario are used to support these policies. In this study, a consistent demand forecasting model has been formed based on the production and consumption data realized in the last two years and it is aimed to use the renewable energy potential of our country at the highest level in order to meet this demand. Scenarios for increasing the existing capacities of solar and wind energy have been created for 2038 and each scenario has been operated using the EnergyPlan model. The model outputs were analyzed in terms of determined criteria by using the preference selection index method and the best scenario was selected.

KEYWORDS: Demand Forecasting, EnergyPlan, Minitab, Preference Selection Index, Winters method.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
1. GİRİŞ	7
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR	13
2.1. Türkiye’de Enerji Durumu	13
2.2. Türkiye’de Elektrik Üretim ve Tüketim Durumu	17
2.3. Türkiye’nin Enerji Politikaları	21
2.4. Literatür Araştırması	23
2.4.1. Uzun dönem enerji planlaması üzerine yapılan çalışmalar	24
2.4.2. Enerji talep tahmini üzerine yapılan çalışmalar	33
3. TÜRKİYE ENERJİ ARZ MODELİNİN OLUŞTURULMASI	38
3.1. EnergyPlan ile Baz Senaryo Oluşturma.....	38
3.1.1. Modelin girdileri ve çıktıları.....	39
3.2. Gelecek Senaryolar için Talep Tahmini.....	44
3.2.1. Winters metodu.....	44
3.3. MINITAB Uygulaması.....	46
3.4. Senaryoların Oluşturulması.....	48
3.5. Tercih Seçim İndeksi(TSI)	63
4. SONUÇ	70
KAYNAKLAR.....	71

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Türkiye'de 2008-2018 Yıllarında Enerji Durumu [22]	18
Tablo 2.2. Türkiye'de Enerji Talep Gelişimi [10]	20
Tablo 3.1 Elektrik Üretim Tesisleri için Verim Katsayıları	41
Tablo 3.2. Elektrik Üretim Tesisleri için Maliyet	41
Tablo 3.3. EPİAŞ Üzerinden Alınan Gerçek Veriler ile EnergyPlan Modeli Üzerindeki Talep Verilerinin Doğrulanması	42
Tablo 3.4. Gerçek Veriler ile EnergyPlan Üzerindeki Verilerin Karşılaştırılması.....	43
Tablo 3.5. CO ₂ Salınım Miktarı Karşılaştırma	43
Tablo 3.6. ETKB Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Sonuçları Yıllık Bazda Talep ve Değişim Oranları [83].....	48
Tablo 3.7. 2038 Yılı Baz Senaryosu (Senaryo -1).....	50
Tablo 3.8. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -2)	51
Tablo 3.9 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -3)	51
Tablo 3.10. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -4)	52
Tablo 3.11. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -5)	52
Tablo 3.12. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -6)	53
Tablo 3.13. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -7)	53
Tablo 3.14. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -8)	54
Tablo 3.15. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -9)	54
Tablo 3.16. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -10)	55
Tablo 3.17. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -11)	55
Tablo 3.18. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -12)	56
Tablo 3.19. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -13)	56
Tablo 3.20. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -14)	57
Tablo 3.21. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -15)	57
Tablo 3.22. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -16)	58
Tablo 3.23. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -17)	58
Tablo 3.24. 2038 Yılı Rüzgar ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -18)	59
Tablo 3.25. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -19)	59
Tablo 3.26. 2038 Yılı Rüzgar ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -20)	60
Tablo 3.27. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -21)	60

Tablo 3.28. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -22)	61
Tablo 3.29. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -23)	61
Tablo 3.30. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -24)	62
Tablo 3.31. Oluşturulan Senaryolar	63
Tablo 3.32. Normalleşen Değerler	64
Tablo 3.33. Tercih Varyasyon Değerleri	65
Tablo 3.34. Tercih Seçim İndeks Değerleri	67
Tablo 3.35. En İyi Sonuç Sıralamaları	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Petrol, Kömür Ve Gaz Kaynaklarından Enerji Üretimi (Toplam %) – WorldBank [16]	13
Şekil 2.2. Türkiye Hidroelektrik Kaynaklardan Enerji Üretimi (Toplam %) - Worldbank [16].....	14
Şekil 2.3. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Enerji Üretimi (Toplam %) - Worldbank [16].....	14
Şekil 2.4. Türkiye'de Kurulu Güç Gelişimi [21]	16
Şekil 2.5. Türkiye'de Kurulu Güç [22], [23]	17
Şekil 2.6. Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye'nin Kurulu Güç Dağılımı (2008- 2018) [10].....	18
Şekil 2.7. Yıllar İtibariyle Türkiye’de Kurulu Güç Ve Üretimi [10]	19
Şekil 2.8. Bütüt Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Bütüt Talep Gelişimi [10].....	19
Şekil 3.1. EnergyPlan Ara Yüzü.....	39
Şekil 3.2. EnergyPlan Girdileri ve Çıktıları	39
Şekil 3.3. EnergyPlan Saatlik Talep Verilerinin Tanımlanması.....	40
Şekil 3.4. EnergyPlan Saatlik Üretim Verilerinin Tanımlanması	40
Şekil 3.5. EnergyPlan Simülasyonunun Çalıştırılması.....	42
Şekil 3.6. EPIAŞ ve EnergyPlan Karşılaştırma.....	43
Şekil 3.7. MINITAB Winters Metodu-I.....	47
Şekil 3.8. MINITAB Winters Metodu-II.....	47

1. GİRİŞ

Enerji; kavram itibariyle yunan kökenli bir sözcük olup “en” yani “iç” ve “ergon” yani “iş” sözcüklerinden meydana gelmiştir. Bu terimler toplumsal anlamda bir nitelik kazanarak “Enerji” ifadesini oluşturmuştur. Başka bir açıdan enerji; fiziksel olarak ölçülebilen bir kavramdır ve benzer şekilde farklı türlere dönüştürülebilir [1]. Enerji terimini pek çok tanımla bulunmaktadır. Farklı bir açıdan enerji, dünyanın siyasal politikasını düzenleyen ve mevsimsel değişikliklerle ülkelerde sosyal, iktisadi ve coğrafi yapıyı etkileyen önemli bir faktördür [2]. Bu anlamda enerji, devletlerin sosyal ve ekonomik bakımdan gelişim sağlayabilmeleri ve küresel ekonomideki rekabet gücünü elde etmeleri için önemli bir unsurdur [3].

Enerjinin başlı başına bir güç olduğu küreselleşen dünyada sürdürülebilir enerji politikalarının ortaya konulması ve uygulanması büyük önem arz etmektedir. Enerji, yaşam alanlarımızda hayatımızı kolaylaştırmanın yanında pek çok endüstriyel alanda da teknoloji kullanımını açısından vazgeçilmez bir unsurdur. Günümüzde özellikle, gelişmekte olan ülkelerde enerji, genellikle fosil yakıtlardan (petrol, doğalgaz, kömür vb.) elde edilmektedir. Fosil yakıtların tükenebilir olması ve gelecekte enerji üretiminde doğal kaynaklara olan yönelimin kaçınılmaz olması nedeni ile enerjinin tespit, durum, yönetim ve planlaması çok önemlidir. Enerji tüketiminin eksik olarak belirlenmesi ekonomi ve yaşam koşullarının kalitesinin düşmesine, fazla olarak değerlendirilmesi ise elde edilen kaynakların israfına yol açmaktadır. Günümüzde, nüfus ve yaşam standartlarına göre enerji kullanımının giderek artan bir yapı göstermesi, enerji talebinin ve arzının dengelenmesini küresel bir problem olarak karşımıza çıkarmaktadır.

Varoluşun başlangıcından beri bireyler ve toplumlar, hayatlarını devam ettirebilmek için gereken enerji miktarına farklı yollarla erişmişlerdir. Bunu elde ederken de pek çok unsuru dikkate almışlardır. Bu unsurlar içerisinde en önemlileri; enerji verimliliği ve enerji maliyetidir [4]. Bunlar arasında enerji maliyeti, enerjinin elde edilme politikaları arasında çok önemli bir yerde bulunmaktadır. Tüm ülkeler temin ettikleri enerjinin en uygun maliyetlerle ve sürdürülebilir olarak tüketicilere ulaştırılmasını hedeflemektedirler. Enerjinin verimliliğinde ise kullanılan enerji miktarının; kalite ve üretimi etkilemeden, ekonomik büyüme/kalkınmaya etki etmeden, sosyal yaşamı kesintiye uğratmadan minimum düzeyde tutulmasını ifade etmektedir. Bu anlamda mevcut bulunan enerji kaynaklarının

toplumsal açıdan maliyetleri en düşük seviyelere indirebilecek ve sosyal açıdan refah düzeyini maksimum düzeye çıkarabilecek şekilde kullanılması gerekmektedir [5], [1].

Talebi karşılayacak düzeyde enerji üretiminin sağlanması ve enerjinin maliyetli bir girdi olması, enerjinin üretim ve tüketimi hususunda uzun vadeli politika ve öngörülerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Dünya nüfusunun hızlı artışı, kentsel ve sanayi gelişimiyle beraber fosil ve doğal yakıtlardan elde edilen enerji tüketimi artarak devam etmektedir. Geleceğe yönelik enerji politikalarının belirlenmesinde kullanılacak en önemli faktörler ekonomik gelişim ve nüfus gelişimi olmaktadır. Değerlendirmelere bakıldığında dünya nüfusu 2013 yıllarında 7.1 milyar iken 2040'lı yıllarda 9 milyara ulaşacağı görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında dünyada 2040'lı yıllarda 1.9 milyar insan için enerji ihtiyacının bulunduğu ortaya çıkmaktadır [6].

Avrupa ve Asya kıtaları arasında bulunan ve çok önemli bir geçiş noktasında olan ülkemiz, hem geçiş güzergâhı ve hem de tüketim düzeyleri nedeniyle enerji politikaları bakımından çok önemli bir ülke konumundadır. Ülkemiz de özellikle son on yıl içerisinde enerji sektöründe önemli değişiklikler gerçekleşmiştir. 2000'li yıllardan 2010'lu yıllara gelindiğinde ülkemizin nüfusu %8,7 artmış ve 73.7 milyona ulaşmıştır. Bu anlamda yine 2000'li yıllardan 2010'lu yıllara gelindiğinde Gayrı Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) değeri %177 artmış ve 735 milyar \$ düzeyine ulaşmıştır [7]. Bu bakımdan ülkemizde artan nüfus ve GSYH değerine paralel olacak şekilde enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir. Son on yıl için bu artış düzeyleri incelendiğinde ülkemiz İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı ülkeleri arasında enerji talebinin en hızlı arttığı ülkeler arasına girdiğini göstermektedir [8]. Bu açıdan değerlendirildiğinde ülkemiz, 2000'li yıllardan sonra dünyada doğalgaz ve elektrik enerji talebinin hızla arttığı Çin'den sonra ikinci büyük ülke arasında olduğunu göstermektedir [9]. Tüm bu gelişmelerle birlikte artan sanayileşme, artan kentleşme ve artan nüfus gerçeklikleriyle beraber sürdürülebilir enerji talebinin de artması bu anlamda enerji talebinin karşılanması amacıyla ihtiyacı karşılayabilecek güvenilir enerji talep tahminlerinin yapılması oldukça önem arz etmektedir.

Ülkemizin, sanayi alanında dünya ile rekabet edebilmesi, toplumsal refah düzeyinin artırılması için kalkınma/büyüme hedeflerinin tam olarak sağlanması gerekmektedir. Yaşam konforunu arttıran, sosyal ve ekonomik ilerlemeyi amaçlayan en önemli etkenlerden olan enerji ihtiyacı ülkemiz için en önemli ve en temel sorunlardandır. Ülkeler bu enerji sorununu ancak çok etkin yapılan ve uygulanan bir politikayla çözebilirler. Etkili bir politikayı gerçekleştirmek için, enerji kaynağının belirlenmesi konusunda kabul edilebilir, çok boyutlu ve kapsamlı bir analiz yapılması gerekmektedir. Bu anlamda ülkelerin enerji

kaynakları incelenirken içinde buldukları coğrafi, çevresel ve politik şartlar dikkatle ele alınmalıdır. Diğer yandan enerji kaynaklarının yeri ve konumu unutulmamalıdır. Enerji yatırımları şekillenmesi bakımından enerji kaynaklarının konumu önemli bir etmendir. Kaynakların tüketim noktalarına olan uzaklığı enerji kayıplarını oluşturmaktadır. Enerjinin kullanıldığı bölgelerde enerjiyi üretmek oluşabilecek iletim kayıplarını en aza indirecektir [10].

Ülkemizdeki enerji ihtiyacının doğal ve yerli kaynaklarla karşılama durumu incelendiğinde, enerji ihtiyacı bakımından dışa bağımlı olduğumuz görülmektedir [11]. Hızla ilerleyen teknoloji ve hızla büyüyen nüfus enerji ihtiyacını dışa bağımlı hale getirmiş ve dışa bağımlılık sorununu oluşturmuştur. Bu açıdan bir ülkenin enerjide dışa bağımlılığı; enerji faturalarındaki yüksek miktarlara, enerji güvenliği ve temininde sorunlara neden olmaktadır. Bu durum ekonomik gelişim ve ülke refahına engel oluşturmaktadır. Bu sebeple, enerji tasarruf ve verimliliğini hedefleyen yeni, güncel ve güvenilir enerji politikalarına ihtiyaç duyulmaktadır [11].

Enerji politikaları üretilirken enerji piyasasındaki verilerin ve mevcut durumun iyi incelenmesi ve geleceğe yönelik tahminlerin doğru yapılması gereklidir. Bir ülkeye ya da bir bölgeye ait bir enerji planlaması yapılırken dikkat edilecek temel faktörler arasında o bölgedeki enerji talebi ve gelecekteki talebin nasıl değişeceği ile ilgili tahminler, bölgenin yenilenebilir enerji kaynaklarındaki durumu ve coğrafik yapısı, arz-talep dengeleri, gelecekteki enerji politikaları sayılabilir. Enerjinin planlaması ve modellenmesinde en önemli faktörlerden biri ileride kullanılacak ya da talep edilebilecek olan enerji miktarının doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesidir. Enerji talep tahminleri; enerjide kullanılan kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını, enerjinin korunmasını, verim kavramının yönetimini diğer yandan talebin, masrafların ve doğaya ve yaşama zararlı emisyonların azaltılmasını, tedarik güvenilirliğini ve yenilenebilir entegre tesis sistemlerini kapsamaktadır. Bu işlem gerçekleştirilirken yapılan tahmin süresinin uzun olması, tahmin işleminde doğruluk düzeyini azaltmakta ve belirsizliklere neden olmaktadır. Bu sebeple farklı zaman aralıkları için talep tahmininde bulunmaktadır [12].

Pek çok sektörün enerji politikaları ve planlamaların en önemli etkeni enerji talep tahminleridir. Ancak bu sektörler içerisinde enerji sektöründe yapılacak talep tahmini diğer sektörlerle nazaran daha önemlidir. Zaman açısından önemli derecede uzun olan ve maliyetleri yüksek olan enerji yatırımlarının karlılık oranı ve farklı ülkeleri kapsayan enerji antlaşmalarıyla belirlenen enerjinin ithalat miktarı yapılan enerji talep tahminlerine göre belirlenmektedir. Bu bakımdan talep tahminlerinde yapılacak hatalar ya da önemli orandaki

sapmalar, girişimciler açısından ve ülkeler açısından maddi kayıplara, enerji politikaları ve planlamalar açısından da başarısızlıklara neden olmaktadır [11], [13].

Enerji piyasasında yapılacak olan planlama ve modellerde temel olarak şu hususlar dikkate alınmalıdır:

- Elektrik üretim, iletim ve dağıtımında son kullanıcı maliyetlerini minimum düzeye çekmek,
- Verimli bir güç sistemi kurmak,
- Sistemin güvenilirliğini arttırmak,
- Enerjinin en yüksek kalitede kullanılmasını sağlamak.

Türkiye, gelişim aşamasında olan bir ülke olarak mineral (fosil) yakıtlar açısından çok zengin bir coğrafyada olmamasına rağmen jeo-stratejik bakımdan çok önemli bir konumda yer almaktadır [14]. Bu anlamda dünyadaki fosil yakıt kaynaklarının yaklaşık %70'i Türkiye etrafında yakın bölgelerde bulunmaktadır. Farklı bir bakış açısıyla Türkiye'nin de aralarında bulunduğu Avrasya bölgesinde, dünyada bulunan enerji kaynaklarının %75'i bulunmaktadır. Bu sebeple üretici olarak bilinen ülkelerde enerji kaynaklarının ilgili ülkelere ulaştırılması, tüketici olarak bilinen ülkelerde ise bu kaynaklara ulaşması ancak geçiş güvenliği olan bağlantı noktalarından sağlanacaktır. Bu sebeple Türkiye'nin coğrafi konumdan kaynaklanan avantajını sağlam diplomasi süreçleriyle değerlendirmesi gerekmektedir. Bir ülkenin vatandaşlarının enerji ihtiyacının kesintisiz ve maliyetinin uygun olması enerji politikalarını belirleyen en önemli unsurlar arasındadır. Bu bağlamda sürdürülebilir ekonomik politikaların, sürdürülebilir enerji politikalarına ihtiyaç duyduğu söylenebilir. Bu sebeple enerji politikaları belirlenirken gelecek planlamaları da esas alınarak gerçek değerlere yakın planlamalar yapılmalıdır. Enerji kaynaklarının bulunduğu coğrafi bölge özelinde Türkiye sahip olduğu konumun değerine göre enerji politikaları belirlemelidir [14].

Türkiye, kalkınmadaki hedeflerine ulaşmak amacıyla, öncelikle enerjide dışa bağımlık noktasında çalışma yapması ve dışa bağımlılığı azaltması gereklidir. Türkiye'nin enerji üretim potansiyelleri ve enerji tüketim bölgeleri buna bağlı olarak enerji ihtiyaçları belirlemelidir. Belirlenen enerji taleplerine göre önümüzdeki yılların talep tahminleri yapılmalıdır. Hesaplanan enerji ihtiyaçlarının karşılanması için farklı kaynaklar ve çözüm yolları belirlenmelidir. Buna göre dışa bağımlılığı azaltacak tedbirler alınmalıdır [15].

Bu çalışmada; aşağıda belirtilen hususları temel almak kaydıyla, Türkiye için mevcut enerji arz talep dengesi incelenerek, gelecekteki (2038) enerji arz senaryolarının çok kriterli karar verme metotları ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır:

1. Enerjinin verimli olarak kullanılması, yerli ve yenilenebilir kaynakların yurt içindeki ekipmanlarla sağlanması,
2. Sürekli olarak artan enerji ihtiyacını karşılamak için şimdiye dek kullanılan ve çok sayıda enerji üretim tesisi kurmak yerine, talebi karşılayabilen ve yönetebilen, daha verimli enerji politikaları uygulamak,
3. Doğru ve güvenilir tahminlerle enerji sarfiyatının azaltılması, böylece enerji ihtiyacında dışa bağımlılığın azaltılması,
4. Ülke nüfusu ve sanayileşmeye paralel, enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik tahmin modellemesi,
5. Planlamanın temel bir tercih olması nedeniyle enerji tahmininde planlamanın yapılması, vb. gibi konular araştırmanın önemini oluşturmaktadır.

Enerji kavramı bir ülkenin ekonomik, sosyal ve kültürel anlamda gelişmesini sağlayan en önemli etkenlerdendir. Ancak, ülkelerde; yerli teknolojik gelişmeler yeterli değilse veya yoksa, enerjiye olan talep arzı yerli kaynaklara bağlı değilse, enerjiye olan talep toplumun ve bireylerin ihtiyaçları ve çıkarları doğrultusunda planlanmıyorsa, kaynakların iyi kullanılamaması, talep arz dengesinin sağlanamaması, dışa bağımlılığın artması gibi ciddi ve büyük sorunlarla karşılaşılması muhtemeldir. Bu bakımdan araştırma; toplumun, bireylerin ihtiyaçlarını doğru ve güvenilir ve sürdürülebilir olarak karşılanması için gelecekteki en iyi enerji arz senaryolarının belirlenmesini amaçlamaktadır.

Çalışma ülkemizin mevcut verilere ulaşılabilen son iki yılının (2017 ve 2018) verileri kullanılarak gelecekteki yirmi yılına ait tahminleri ve senaryo analizlerini dikkate alarak planlanmıştır. Geçmişe dayalı olarak elde edilen veriler ile mevcut enerji arz talep modeli oluşturulmuş ve gerçek verilerle oluşturulan model doğrulanmıştır. Bu kapsamda Bakanlık, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) veri ve değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Enerji modellerinin oluşturulması için EnergyPlan yazılımı kullanılmış ve analiz edilecek senaryolara ait kriter değerlerinin elde edilmesi bu yazılımla sağlanmıştır. Gelecekteki enerji arz senaryoları oluşturulduktan sonra bu modeller EnergyPlan'da çalıştırılmış ve ilgili kriter değerleri her alternatif senaryo için elde edilmiştir. Modellerin karşılaştırılmasında çok

kriterli karar verme yöntemi olan Tercih seçim indeksi (TSI) kullanılmış ve en iyi senaryo alternatifi belirlenmiştir. Gelecek enerji talepleri belirlenirken Winters metodu kullanılarak tahmin yapılmış yapılan tahminler TEİAŞ'ın tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çerçevede bu tezin bölümleri aşağıdaki çerçevede gerçekleştirilmiştir.

Bu tezde sırasıyla;

➤ Dünyada ve ülkemizde bu konuda yapılmış çalışmaların literatür özetleri verilecektir. Özellikle ülkemizdeki enerji talep ve tahmin yöntemleri ele alınacaktır. Ülkemizdeki son on yıl ve gelecek yirmi yıl planlamasında kullanılan enerji talep ve tahmin verilerine yönelik araştırmanın materyal ve metot kısmı verilecektir. Kullanılan modellemeler hakkında açıklamalarda bulunulacaktır.

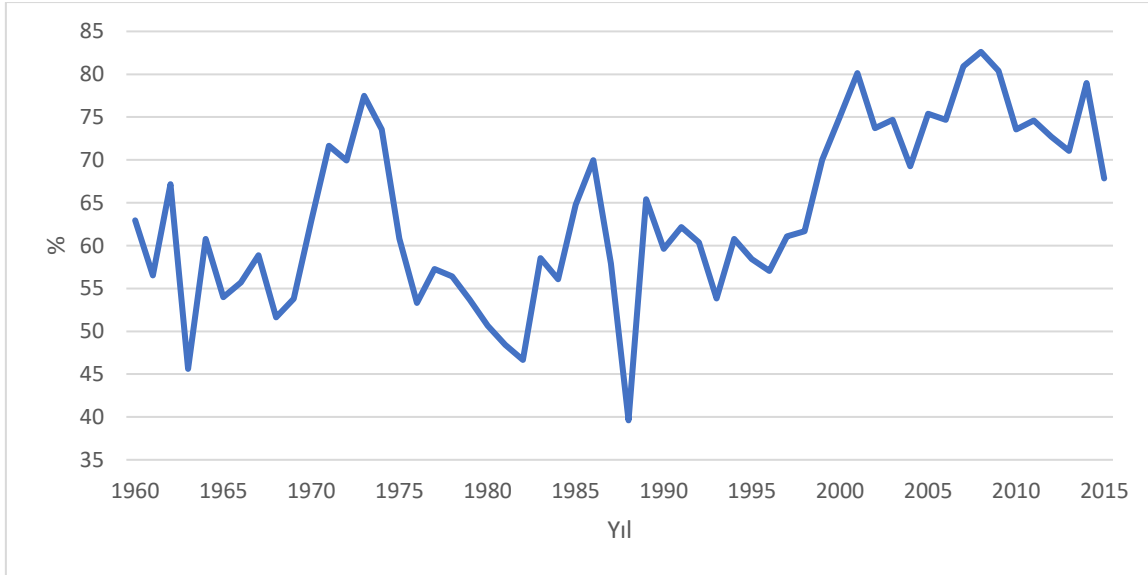
➤ Yapılan çalışma ve modellemelerle ilgili açıklamalarda bulunulacaktır. Gerçek zamanlı veriler baz alınarak, talep tahmininde bulunulacaktır. Bu amaçla farklı yazımlar üzerinde modellemeler yapılacak ve yirmi yıl sonrası için ülkemizde enerji durumu modellenecektir. Elde edilen sonuçlar yani bulgular ve değerlendirme sonuçları irdelenecektir. TEİAŞ verileri ile karşılaştırmalar verilecektir.

➤ Sonuçlar, sonuçlarla ilgili çıkarımlar ve öneriler kısmını oluşturacaktır.

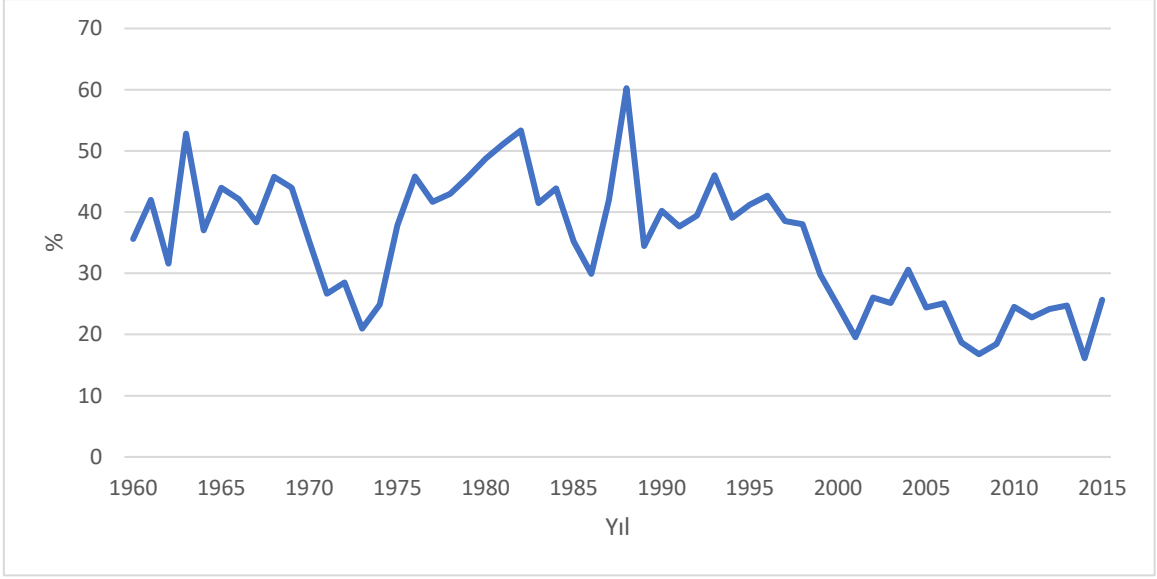
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR

2.1. Türkiye’de Enerji Durumu

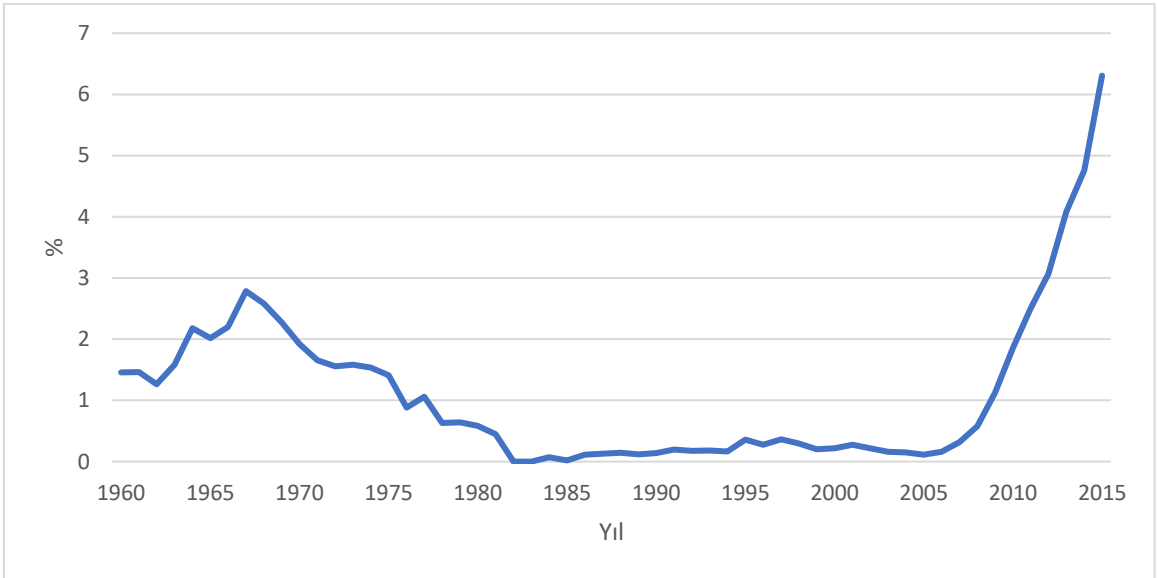
Ülkemizde, geçmişte ve günümüzde termik santraller en önemli enerji üreten kaynaklar arasında yer almaktadır. Termik santraller, doğalgaz ve kömür ile çalışmaktadır. Şimdilerde ise enerji, termik santrallerin yanı sıra, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji santrallerinden de elde edilmektedir. 2016 yılı için T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, enerji üretimi 273.4 milyar kWh (Bu enerjinin %67,2’si termik, %24,6’sı hidroelektrik, %7,8’i ise diğer kaynaklarından), tüketimi ise 278.3 milyar kWh olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda yıllık bazda enerji tüketimindeki artış hızının son yıllarda ortalama %5,4 olduğunu belirtmiştir. Şekil 2.1., 2.2. ve 2.3.’te 1960-2015 yıllarında üretilen enerjinin hangi kaynaklardan elde edildiği (kömür, doğalgaz, petrol, hidroelektrik vb.) gösterilmektedir[16]. Şekil 2.1 ve 2.2’den anlaşılacağı üzere, 1960-2015 yıllarında toplam enerji miktarının büyük çoğunluğu hidroelektrik ve termik santrallerden elde edilmektedir. Ayrıca, Şekil 2.2 de 1963 (%53), 1981 (%51), 1982 (%53), 1988 (%60) yıllarında en büyük enerji üretim hissesi hidroelektrik santrallere aittir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elde edilen elektrik enerjisinin yüzdesi toplam enerji üretiminin yanında az olsa da bu oran 2005 yılından başlayarak giderek artmaktadır [16].



Şekil 2.1. Petrol, Kömür Ve Gaz Kaynaklarından Enerji Üretimi (Toplam %) – WorldBank [16]



Şekil 2.2. Türkiye Hidroelektrik Kaynaklardan Enerji Üretimi (Toplam %) - Worldbank [16]



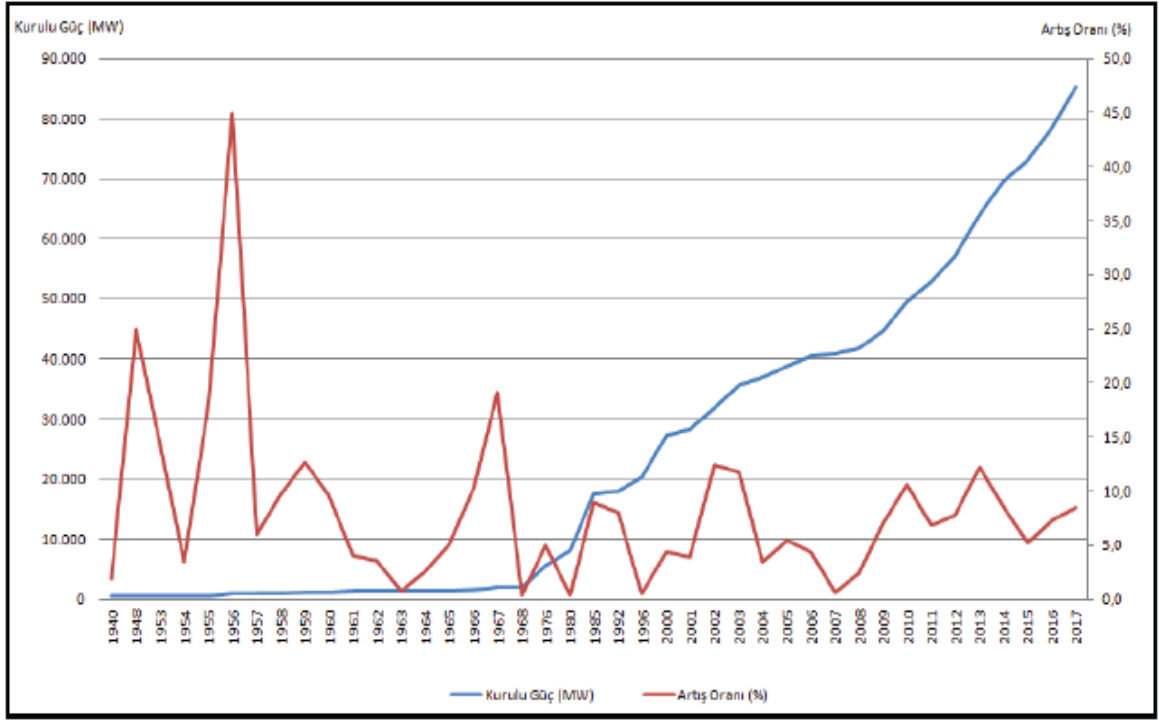
Şekil 2.3. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Enerji Üretimi (Toplam %) - Worldbank [16]

Petrol, doğalgaz, taşkömürü, hidroelektrik, linyit, jeotermal enerji ve asfaltit ülkemizin en önemli enerji kaynaklarıdır. Ancak doğalgaz ve petrol ülkemizde yeteri miktarda bulunmamaktadır. Linyit maddesi ise diğerlerine nazaran en temel yerel enerji kaynakları arasındadır. Bu bağlamda Türkiye linyit açısından dünyada önemli üreticiler arasında bulunmaktadır. Bunun yanı sıra ülkemiz güneş, rüzgâr, biyogaz gibi çok önemli yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir [17].

Türkiye'nin toplam yüzölçümü 779.453, nüfusu da günümüzde yaklaşık 80 milyon kişidir. Bu bağlamda Asya ve Avrupa arasında çok önemli bir köprü vazifesi görmektedir. Bu açıdan bakıldığında Afrika kıtasını da içine almak üzere bu 3 kıtanın buluşma noktasıdır. Bu jeopolitik konumu nedeniyle Hazar Denizi, Orta Doğu ve Batı arasındaki enerji pazarını yönetebilecek, doğalgaz ve petrol üreten ülkeler arasında bir enerji koridoru oluşturmaktadır [18]. Bu açıdan T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı raporunda Türkiye'nin, dünyada enerji ihtiyacı bakımından 2013, 2014, 2015 yıllarında 19. sırada bulunduğunu belirtmiştir.

Türkiye kullanılan enerji bakımından %70 dışa bağımlı durumdadır [19]. Bu sebeple hali hazırda bulunan potansiyel enerji kaynaklarını kullanarak bu oranın en aza indirilmesi en önemli, en temel hedefler arasındadır. Bu nedenle gerek eylem planları ve gerekse yönetmelikler yalnızca alınan kararlar olarak kalmamalı, belirtilen uygulamalar yasalar kullanılarak zorunlu hale getirilmeli, uygulanmadığı takdirde ise caydırıcı yaptırımlar uygulamaya sokulmalıdır. Diğer bir açıdan Türkiye'de enerji israfı ve kullanımı konusunda en önemli eksiklik denetimden kaynaklanmaktadır. Bu konuda yetkili organların düzenli denetimler yapılması konusunda tedbirler alması gerekmektedir. Yıllar önce yaşanan petrol krizinin neticesinde önem arz eden enerji verimliliği ve iklim değişikliği sorunları önemini bir kat daha arttırmaktadır [19], [20].

Elektrik ve enerjide arz güvenliği, ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından "Enerjinin uygun bedellerle kesintisiz olarak tedariki" olarak tanımlanmaktadır. Elektrik üretiminde en belirleyici konular arasında santral yatırımları bulunmaktadır. Ülkemizde ilk olarak enerji santrali 1902 yılında kurulmuştur. Bunu takiben 1914 yılında 13.4 MW gücünde İstanbul'da kurulan termik santral ise kurulu güç olarak ilk tesistir. Türkiye'de enerji tesislerinde kurulu güç gelişimi Şekil 2.4.'te görülmektedir. Şekil 2.4 incelendiğinde ilk gelişme 1948 yılında gerçekleşmiş ve bu yıl kurulu güçte %21,5 artış olmuştur. Bu durumu takiben 1949 yılında kurulu güçteki artış oranı %25 olarak gerçekleşmiştir. 1948 ve 1949 yıllarında devreye sokulan enerji santrallerinin gücü 130 MW'tır. Bu değerlerle günümüzdeki değerleri karşılaştırdığımızda kurulu güç değerleri oldukça küçük değerler gibi görünse de gerçekleştiği dönemler açısından değerlendirildiğinde çok önemli bir yeri bulunmaktadır. Ülkemizin kurulu güç bakımından oransal olarak en fazla artışın olduğu yıl 1956'dır ve bu yılda %44,9 olarak gerçekleşmiştir [21].



Şekil 2.4. Türkiye'de Kurulu Güç Gelişimi [21]

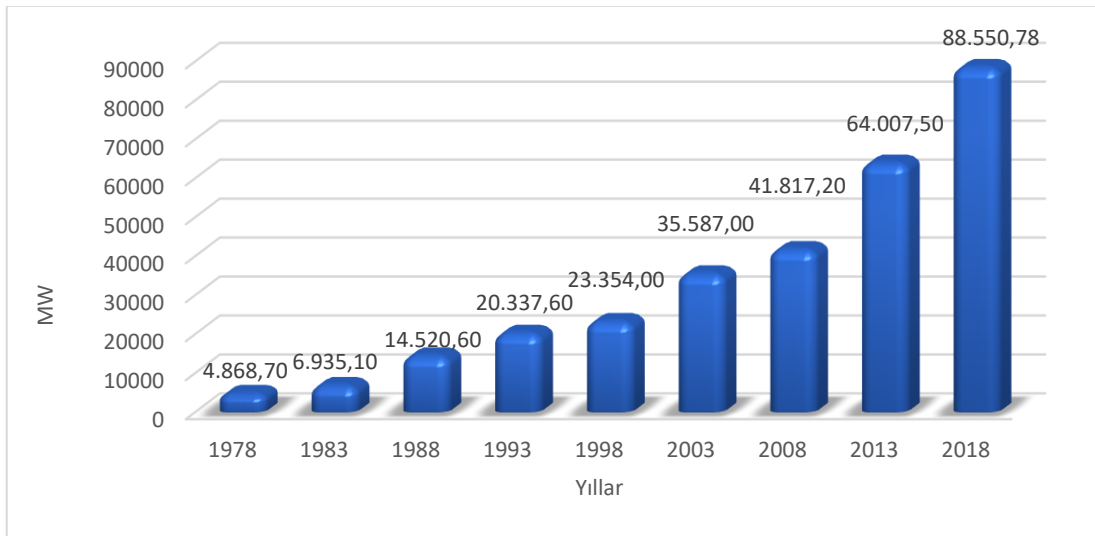
Türkiye Elektrik Kurumu (TEK)'nin kuruluşu olan 1970 yılına kadar geçen yıllarda farklı şekillerde devam eden elektrifikasyon çalışmaları, TEK'in kuruluşuyla tek çatı altına alınmıştır. 1970-1980 yıllarında 3151 MW değerinde bir kurulu güç artışı olmuştur. Kurulu güçte yaşanan bu artış miktarının sebebi Devlet Su İşleri (DSİ) dairesinin kurulmasıyla beraber Hidro-Elektrik Santral (HES) yatırımlarındaki artıştır. Bu bağlamda 1972 yılında kurulu gücü 278 olan Gökçekaya HES, 1975 yılında ise kurulu gücü 1330 MW olan Keban HES devreye alınmıştır [21].

1984 yılı içerisinde çıkarılan 3096 sayılı kanun "Türkiye Elektrik Kurumu Dışındaki Kuruluşların Elektrik Üretimi, İletimi, Dağıtım ve Ticareti İle Görevlendirilmesi Hakkındaki Kanun"u ile özel hukuk hükümleriyle yabancı ve yerli şirketlere enerji santrali yaptırma imkânı sağlanmıştır. Bu kanunu takiben 2001'li yıllarda yürürlüğe alınan 4628 sayılı kanun ile serbest çalışma konusunda önemli bir adım atılmıştır. Kamu, 2000'li yıllara kadar en önemli üretim payına sahipken, bu yıllardan sonra özel sektör devreye aldığı üretim tesisleriyle bu pay giderek azalmaya başlamıştır. Bu dönemler incelendiğinde kamu yatırımlarının %15 seviyelerinde olacağı öngörülmektedir [22].

2.2. Türkiye’de Elektrik Üretim ve Tüketim Durumu

1940 yılından 1956 yılına kadar Türkiye’de elektrik üretimi yerli kömür kullanarak elde edilirken DSİ’nin kurulmasıyla birlikte devreye alınan HES yatırımlarıyla beraber hidroelektrik üretimi önemli oranda artmıştır. Bu açıdan bakıldığında 1985 yılında hidroelektrik kurulu gücü, termik kurulu gücünü geçmiştir. Süregelen yıllarda Rusya’dan alınan doğal gaz ile doğalgaz santralleri kurulmaya başlanmıştır. Günümüzde elektrik enerji ihtiyacının karşılanmasında doğalgaz santralleri önemli bir paya sahip olmuştur. Hidroelektrik santrallerinin haricinde yenilenebilir enerji santrallerinin kurulu gücü (jeotermal, rüzgâr, biokütle, güneş) düşük bir seviyeye sahipse de son yıllarda verilen teşvik yatırımlarıyla birlikte bu kurulu güç seviyelerinde artış yaşanmaktadır. Burada kurulu güçlerde en yüksek oran rüzgâr enerjisinde bulunmaktadır [10].

Türkiye’de bulunan mevcut kurulu güçlerin dağılımı enerji kaynaklarına göre analiz edildiğinde doğalgaz; fosil kökenli kaynakların hava kirliliği ve emisyon değerleri açısından daha çevrecidir. Bu anlamda günümüzde tercih edilen en temel enerji kaynakları arasındadır. Rusya’da ithal edilen doğal gazla birlikte ülkemizde 1987 yılından sonra doğal gaz tüketimi de önemli oranda artış göstermektedir. Bu bakımdan Türkiye doğalgaz ihtiyacının çok azını yerli kaynaklarla karşılayabilmekte, neredeyse ihtiyacın tamamını komşu ülkelerden ithal etmektedir. Bu durum Türkiye’nin dışa bağımlılık noktasında oranı yükselten bir kaynak olmasına rağmen yine de tüketimi ilk sıralarda olan enerji kaynağıdır. Türkiye’de kurulu gücün yıllar itibarıyla gelişimi Şekil 2.5.’te, enerji durumu Tablo 2.1.’de verilmiştir [22], [23].



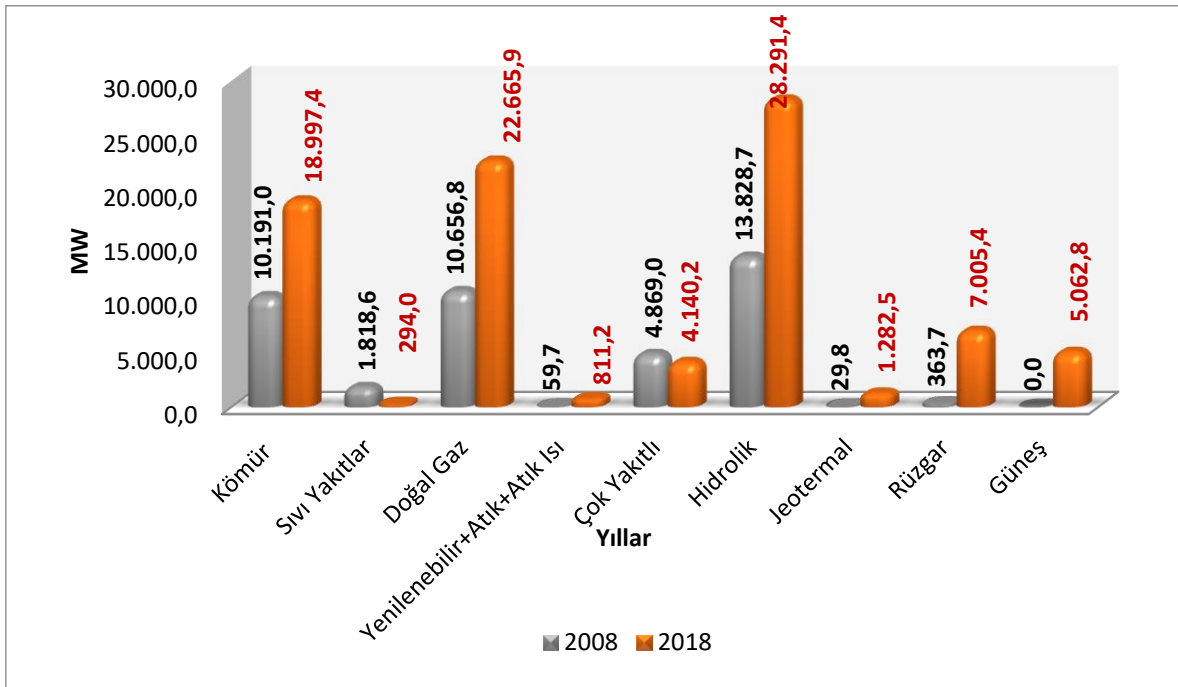
Şekil 2.5. Türkiye’de Kurulu Güç [22], [23]

Tablo 2.1. Türkiye'de 2008-2018 Yıllarında Enerji Durumu [22]

	Kömür	Sıvı Yakıtlar	Doğal Gaz	Yenilenebilir + Atık + Atık Isı	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgâr	Güneş	Toplam	Birim: MW
2008	10.191	1.818	10.656	59,70	13.828	29,80	363,7	-	41.817	
%	24,37	4,35	25,48	0,14	33,07	0,07	0,87	-	100,00	
2018	18.997	294,0	22.665	811,20	28.291	1.282	7.005	5.062	88.550	
%	21,45	0,33	25,60	0,92	31,95	1,45	7,91	5,72	100,00	

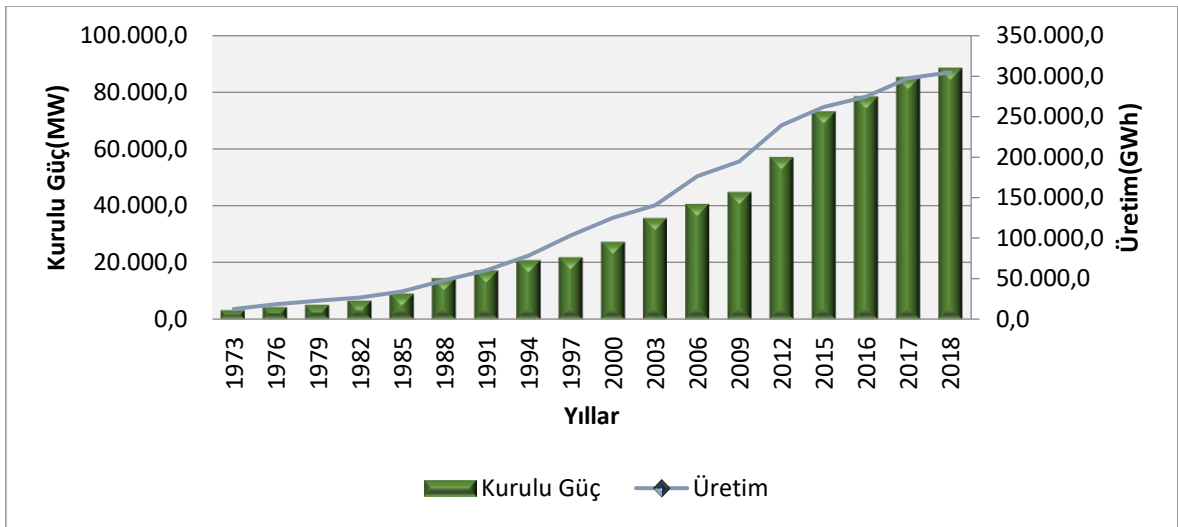
Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na (GEPA) göre, ülkemizde güneş enerji potansiyelinin değerlendirilmesiyle yılda ortalama 380 milyar KWh'lik bir enerji üretileceği hesaplanmıştır (Elektrik İşleri Etüt İdaresi - 2010). Bu anlamda bakıldığında Türkiye, mevcut güneş enerjisi potansiyeli ile yeterince elektrik enerjisi üretmemektedir.

Türkiye, enerji üretimi konusunda kaynak çeşitliliği olmasına rağmen bu kaynakların çeşitliliğini yeterli ve verimli kullanamamaktadır. Türkiye'de 2018 yılı itibariyle mevcut duruma bakıldığında kurulu gücün çeşitliliği Şekil 2.6.'da gösterildiği gibidir. Buna göre ülkemizde kurulu güç değerlerinde birinci sırada 28.291,4 MW'la hidroelektrik, ikinci sırada ise 22.665,9 MW'la doğal gaz bulunmaktadır [10].

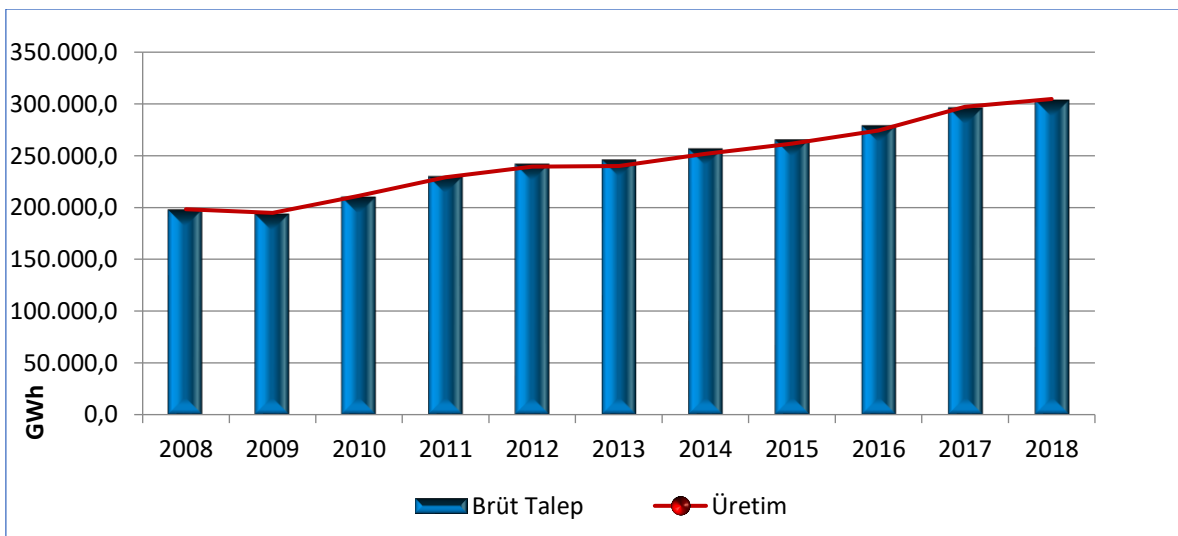


Şekil 2.6. Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye'nin Kurulu Güç Dağılımı (2008-2018) [10]

Türkiye’de enerji tüketimi ve ekonomik gelişimi konusunda yapılan literatür çalışmalarında, ekonomik gelişmelerin enerji tüketim değerini etkilediği sonucu ortaya çıkmıştır. Türkiye’de kişi başı elektrik enerji tüketimi dünya ortalamasına göre yüksek düzeyde olmasına rağmen bu değer gelişmekte olan ülkelerin ortalamasının altındadır. Bu bağlamda Türkiye’de enerji tüketiminin büyük bölümü 10 ilimizde gerçekleşmektedir. Bu illerde ilk sırayı %15,6 ile İstanbul almaktadır. Bu durumu %7,38 ile İzmir, %5,30 ile Kocaeli, %4.82 ile Ankara, %4.47 ile Bursa izlemektedir [22]. Ülkemizde kurulu güç ve enerji üretimi Şekil 2.7.’de, bürüt olarak enerji üretimi ve bürüt olarak talep değişimi Şekil 2.8.’de görülmektedir.



Şekil 2.7. Yıllar İtibariyle Türkiye’de Kurulu Güç Ve Üretimi [10]



Şekil 2.8. Bürüt Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Bürüt Talep Gelişimi [10]

Türkiye’de 2008-2018 enerji enerjinin üretim, ithalat, ihracat ve brüt talep gelişimi Tablo 2.2.’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde ithalatın son yıllarda azaldığı anlaşılmaktadır.

Tablo 2.2. Türkiye'de Enerji Talep Gelişimi [10]

Birim : GWh				
Yıllar	Üretim	İthalat	İhracat	Brüt Talep
2008	198.418	789,4	1.122,2	198.085
2009	194.812	812,0	1.545,8	194.079
2010	211.207	1.143,8	1.917,6	210.434
2011	229.395	4.555,8	3.644,6	230.306
2012	239.496	5.826,7	2.953,6	242.369
2013	240.154	7.429,4	1.226,7	246.356
2014	251.962	7.953,3	2.696,0	257.220
2015	261.783	7.135,5	3.194,5	265.724
2016	274.407	6.330,3	1.451,7	279.286
2017	297.277	2.728,3	3.303,7	296.702
2018	304.801	2.476,9	3.111,9	304.166

Türkiye’de enerji iletim sistemlerinin yapısı, TEİAŞ’ın planladığı iletim sistemleri yatırımları ve beraberinde üretim sistemlerinin durumu ele alınarak, enerji sistemlerine sorunsuz ve güvenli bir şekilde bağlanabilir üretim kapasiteleri belirlenmiştir. Bu bağlamda TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Güç Sistemleri Analiz ve Planlama grubu ve TEİAŞ’ın Planlama ve Stratejik Yönetim Dairesi arasında koordineli çalışmalarla yürütülmüştür. Çalışmada Türkiye, 15 farklı bölge olarak ele alınmış ve sonucunda gelecek açısından planlama ve yatırımlara ışık tutması amacıyla 2021 ve 2026 yılına kadar sisteme entegre edilebilir kapasite hesapları bölgesel olarak belirlenmiştir. [22], [10].

Elektrik enerjisinin arz güvenliğinin sağlanması konusunda hedef ve gelişmeleri özetlemek gerektiğinde, ETKB’nin 2015 ile 2019 yıllarını kapsayan Stratejik Planı’nda, Türkiye’de enerji sektörüyle ilgili 8 tematik başlık ve 16 amaç bulunmaktadır [24];

- “Sağlam, güvenilir ve güçlü bir enerji altyapısı olmalı”
- “Kaynak çeşitliliği yüksek olmalı”
- “Talep yönetimi etkin olmalı”
- “Enerjiyi verimli şekilde kullanan bir Türkiye”

- “Enerji tasarrufu ve verimliliğe yönelik geliştirilmiş kapasite”
- “Koordinasyon yeteneği ve Kurumsal kapasitesi etkin; bilgi teknolojilerine hâkim ve iyi kullanan bir Bakanlık”
- “Bölgesel bakımdan enerji piyasasına entegrasyonu iyi bir Türkiye; uluslararası güçlü bir faktör”
- “Doğal kaynaklarda ve Enerjide yerli teknolojiyi benimsemiş sonuç odaklı AR-GE”
- “Yatırım süreçleri iyileştirilmiş, Şeffaf ve Rekabetçi piyasalar”
- “Enerji dışı doğal hammaddeleri etkin ve verimli kullanmak ve tedarik güvenliği sağlamak”

Amaçlarını ifade etmekte, bu amaçlarla belirlenen hedeflere ulaşmak amacıyla uygulanacak stratejiler bulunmaktadır. Ayrıca bu planda, yenilenebilir ve yerli enerji kaynaklarının etkin olarak kullanılmasıyla ilgili olarak 2019 yılına ait hedefler bulunmaktadır:

- “Yerli kömürle elektrik üretim değeri 60 milyar kWh’a çıkarılmalı”
- “HES’lerde kurulu güç 32.000 MW’a çıkarılmalı”
- “RES’lerde kurulu güç 10.000 MW’a çıkarılmalı”
- “JES’lerde kurulu güç 700 MW’a çıkarılmalı”
- “GES’lerde kurulu güç 3.000 MW’a çıkarılmalı”
- “Biyokütleyle elektrik üretiminin kurulu gücü 700 MW’a çıkarılmalı.”

Bunun yanı sıra Akkuyu NGS ile test üretimi başlamalı, Sinop NGS inşaatı bir an önce başlamalı, ayrıca üçüncü NGS hazırlıkları yapılmalı ve sonuçlandırılmalı gibi hedefler de bulunmaktadır.

2.3. Türkiye’nin Enerji Politikaları

Türkiye’deki enerji sektörü ile ilgili stratejilerinin temel unsuru, ülkenin gelişen ve değişen ihtiyaçları ortaya koyulurken, küresel bazda enerji sektörüyle ilgili olarak ülkenin komşusu konumundaki ülkelerde olup bitenlerle ilgili gerekli tedbirleri alması gerekmektedir. Bu durumla ilgili olarak enerji stratejisi belirlenirken AB üyelik süreci de dikkate alınmalı AB Enerji direktifleri de bulunmak durumundadır. Ayrıca Türkiye’nin temel hedefi, enerjide iktisadi büyümeyi gerçekleştirecek, sosyal gelişmeyi destekleyerek,

yeterli bir şekilde, güvenilir ve ayrıca sürdürülebilir, zamanında, rekabete açık fiyatlardan sağlayarak gelişmesini tamamlamaktır. Bu amaçla ki Türkiye alternatif oluşturabilecek tüm kaynaklarını programlı bir şekilde harekete geçirmesi gerektir [25].

Türkiye’de enerji politikası, Avrupa ile enerji bölgeleri arasındaki coğrafik konum ve sosyo-kültürel yapının sağlamış olduğu ayrıcalık ile ABD ve Rusya ile işbirliği içerisinde enerji iletimi, aktarımı sağlayan bir ülke olarak bu stratejik yapıyı enerji açığını kapatmak üzere bu temeller üzerine şekillendirmiştir [26].

Türkiye ulusal enerji politikasının hedefleri oluşturulurken, enerji sektörünün yeniden yapılandırması ve sektörde yatırıma yönelik mali kısıtlamaların önünün açılması maksadıyla İşletme Hakkı Devri gibi modeller geliştirilerek uygulamaya çalışmıştır [27].

Türkiye enerji stratejisinin temel hedeflerini sayarsak;

1) Türkiye’nin enerjiyi kullanırken verimi sağlamak ve tasarrufu arttırmak amacıyla kullanmak,

2) Keşfedilen yeni teknolojiler ile enerji üretimini çeşitliliğini sağlamak, özellikle birincil kaynakları temel alarak kullanmak,

3) Özellikle, insan sağlığını ve çevre temizliğini ve etkin kullanımı dikkate alarak alternatif enerji kaynaklarını da artırmak amacıyla sürdürülebilir enerji arzını sağlamak,

4) Orta Asya-Kafkaslar ve Ortadoğu bölgesini kapsayan Avrasya bölgesini içine alan doğunun zengin enerji kaynaklarının Avrupa piyasalarına taşınmasında köprü konumu durumunda olmak,

5) Ülkenin ihtiyaç duyduğu enerjiyi temin etme durumunda Türkiye’yi bir “Enerji Koridoru” ve “ Enerji Terminali” konumuna getirmek,

6) Küresel anlamda, enerjiden kaynaklı oluşan belirsizliklerin giderilmesi, enerji güvenliğinin sağlanması, çatışmaların azaltılması ve dünyadaki enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde insanlık hizmetine sunulması amacıyla hizmette bulunmaktır [25].

Türkiye’nin Sanayi Stratejisi Eylem Planı’nda, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) sorumluluğunda, firmaların teknolojik gelişmelerine öncelik verileceği, öncelikli plan olarak belirlenmiştir. Kaynak bakımından savunmada yüksek oranda dışa bağımlılık, enerji ve sağlık gibi sektörlerden sorumlu kamu kuruluşlarında Ar-Ge destek programları geliştirilecektir ve TÜBİTAK tarafından desteklenen TARAL programı kapsamında, projelerde ve araştırma altyapısı desteklerinde öncelik olarak bu alanlara verileceği belirtilmiştir. Devamında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü sorumluluğunda,

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik tanıyarak, enerji kaynaklarının da çevre verdiği olumsuz etkileri de dikkate alınarak değerlendirilmesiyle kullanılabilir enerji potansiyelleri belirlenip, bu potansiyellerden yararlanılmasıyla bu tür yöntemlerin ortaya konulması amacıyla altyapı sektörlerine yönelik politika alanı belirtilmiştir [28].

Son dönemde enerji verimliliği, enerji politikaları içerisinde önemli bir yere sahip olmuştur. Enerji verimliliği ve ona eşlik eden enerji tasarrufu, ulusal politikalar içerisinde kendilerine bir yer edinmenin bir adım ötesine geçerek; uluslararası politikalar ve değerlendirmeler içerisinde de dikkate alınır unsurlar olmuşlardır. Bunun nedeni, enerji verimliliğinin minimum enerji ile maksimum üretim yapılması ve buna bağlı olarak aynı zamanda enerji tasarrufunun gerçekleşmesini, sanayi maliyetlerinin düşmesini, enerjide arz güvenliğini, dışa olan bağımlılıktan kaynaklanan sorunların azaltılmasını, enerji maliyetlerindeki sürdürülebilirliğin, iklim değişikliğiyle mücadeleyi ve sera gazı salınımını azaltarak çevrenin korunmasını sağlaması ile ulusal stratejik hedefleri tamamlayıcı nitelikte olmasıdır.

Görüldüğü gibi enerji verimliliğinin sağlanması bir anlamda ulusal enerji politikasının neredeyse bütün amaçlarına hizmet etmektedir. Enerji verimliliğinin ülke çapında bir plan ve program dâhilinde daha etkin gerçekleştirilmesi amacı ile AB'nin ilgili uzman, kurum ve kuruluşlarının görüşleri çerçevesinde Enerji Verimliliği Stratejisi 24 Haziran 2004 yılında bakanlık tarafından onaylanmış ve bu strateji ile Türkiye'deki nihai enerji tüketim sektörlerinde enerji verimliliğini AB'deki en iyi uygulamalara göre geliştirmeyi amaçlamıştır [29].

2.4. Literatür Araştırması

Bu bölümde enerji planlamada kullanılan modelleme yaklaşımlarından bahsedilecektir. Enerji planlama kavramı, hâlihazırdaki durum değerlendirilerek ileride oluşabilecek enerji ihtiyacını talep tahmini yöntemleriyle belirlenmesi ve geleceğe yönelik kararların uygun modeller ile etkin bir şekilde analizi olarak ifade edilebilir. Literatürde enerji planlaması üzerine pek çok çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Uzun dönemli planlamalar yapılırken geleceğe yönelik talep tahmin modelleri de göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Bu çalışmada literatür araştırması iki bölüm olarak verilmiştir. İlk bölümde uzun dönemli enerji planlaması üzerine yapılan çalışmalar ve ikinci bölümde ise uzun dönem talep tahmini ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.

2.4.1. Uzun dönem enerji planlaması üzerine yapılan çalışmalar

Literatürde enerji planlamasına yönelik çalışmalar temel olarak en iyileme modelleri, girdi-çıkıta analizi tabanlı benzetim modelleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri olarak sınıflandırılabilir. İlerleyen bölümlerde her grup için yapılmış çalışmalar detaylı olarak anlatılmıştır.

2.4.1.1. Enerji planlamada en iyileme yöntemlerini kullanan çalışmalar

Enerji planlamada en iyileme teknikleri araştırmacılar tarafından sıklıkla uygulanmıştır. Enerji planlama alanında uzun dönemli çalışmalar genellikle yenilenebilir enerjilerin sisteme entegrasyonu dikkate almaktadır. Bunun en temel nedeni bütün dünyada uzun dönemli enerji politikalarının yenilenebilir enerji yüzdesinde artışa yönelik olarak geliştirilmiş olmasıdır. Bu modeller problemin ele alınış biçimine göre tek veya çok amaçlı modeller, tek dönemli ya da birden fazla dönemi dikkate alan dinamik modeller, yenilenebilir enerjilerin belirsizliğini dikkate alan olasılıklı veya deterministik modeller olarak sınıflandırılabilir. Bu modellerle ilgili detaylı literatür araştırmaları aşağıda verilmiştir.

Frew et al.[30], yaptığı çalışmada, yenilenebilir enerjinin yüksek penetrasyonlarını ABD güç şebekesine entegre etmek için çeşitli senaryoları ve esneklik mekanizmalarını araştırmaktadır. Coğrafi etkenler, yenilenebilir enerjiden aşırı üretim, depolama gibi kriterler göz önünde bulundurularak maliyet-fayda analizi yapılmıştır. Tamamen yenilenebilir bir elektrik sistemine giden yollar karşılaştırılmış ve sıfır karbon temelli bir enerji politikası için farklı esneklik mekanizmalarını arasında en uygun esneklik politikasını önermiştir.

Komiyana and Fujii [31], bu makalesinde, Fukuşima nükleer kazası sebebiyle, Japonya'da nükleer politika belirsizleşmesinden dolayı, rüzgâr ve fotovoltaik (PV) gibi değişken yenilenebilir (VR) enerji, iklim değişikliği ve enerji güvenliği konularını ele almaktadır. Nükleer enerji tamamen devre dışı bırakıldığında ve CO₂, 2010 yılından 2050 yılına kadar %50 azaltıldığında, 2050'deki enerji üretim maliyeti, nükleer enerjinin kullanılmaya devam edildiği ve karbon düzenlemesinin yapılmadığı senaryoya kıyasla iki katına çıkıyor.

Muis et al. [32], makalesinde, bir ülkenin belirli bir CO₂ emisyon hedefini karşılaması için elektrik üretim planlarının en iyilenmesi için geliştirilmiş bir Karma Tamsayı Doğrusal Programlama modeli sunmaktadır. Yenilenebilir enerji senaryolarını karbondioksit salınımını azaltmayı hedefleyerek karşılaştırmış ve önerdikleri model ile en iyi senaryo seçimini sağlamışlardır. Bu makale ile Malezya'daki yenilenebilir enerji kaynaklarına

dayanarak yenilenebilir enerjiden toplam elektrik üretme potansiyelinin %9'a kadarının üretilebilme potansiyeli olduğu tahmin ediliyor.

Ozcan et al. [33], yaptığı çalışmada, Türkiye'nin üretim planlamasını göz önünde bulundurarak yenilenebilir enerji kaynaklarının durumunu incelemek ve elektrik ve ekonomik sonuçları ile toplam üretime katkısının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada tüm kaynaklar için yapılacak yenilenebilir kaynakların payı %8,08 olarak belirlenmiştir. Çalışmada, üretim genişleme planlamasının en iyilemesi için genetik algoritma tabanlı bir sezgisel önerilmiştir.

Pean and Qardran. [34], yaptığı çalışmada, elektrik bağlantılarının Fransa ve İngiltere güç sistemlerinde arz ve talebin etkin dengelenmesindeki rolü, işletme maliyetlerindeki genel azalma ve yenilenebilir üretimin kısılması bakımından değerlendirilmiştir. PLEXOS optimizasyon modülünü kullanarak yenilenebilir enerji entegrasyonu ile maliyet azaltılması ilişkisini incelemiştir.

2.4.1.2. Benzetim tabanlı modeller

Enerji planlamada çok sayıda geliştirilmiş hazır benzetim tabanlı model mevcuttur. Bu modellerden yenilenebilir enerji entegrasyonunu temel alan modellerin bazıları aşağıda açıklanmıştır. Modellerin özellikleri ile ilgili geniş bir literatür araştırması aşağıda verilmiştir.

•LEAP

LEAP genellikle ulusal enerji sistemlerini analiz etmek için kullanılır. Genelde 20 ile 50 yıllık zaman aralığını modellemek için kullanılır. Arz tarafında, elektrik üretiminin ve kapasite genişletme planlamasının modellenmesi için bir dizi muhasebe ve simülasyon metodolojisi sunmaktadır. Genel olarak, LEAP tüm sektörleri, teknolojileri ve bir enerji sistemindeki tüm maliyetleri ayrıca çevreyi kirletici dışsallıkları, devreden çıkarma maliyetleri ve karşılanmamış talep maliyetlerini simüle edebilir. Ortaya çıkan senaryolar, bir enerji sisteminin nasıl tutarlı olabileceğine dair zamana bağlı tahminlerdir. Sonuçlar; yakıt taleplerini, maliyetlerini, birim üretimleri, Sera gazı emisyonları, hava kirleticiler ve daha fazlasını içerir [35].

Q. Liu et al. [36], 2018 yılında yapılan diğer bir çalışmada Çin'de enerji tüketiminin hâlihazırdaki durumunu analiz edilmiştir. LEAP yöntemiyle CO₂ sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmada CO₂'nin en yoğun hedefine ulaşıldığı ancak 2030'dan önceki CO₂ pik değerinin elde edilemediği belirtilmiştir. Enerji talebi, daha yüksek enerji verimliliği

çabalarıyla azaltılabilir. Çalışma sonucunda Çin'i enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji konusunda yeni bir küresel şampiyon olabileceği vurgulanmıştır.

Enerji arz ve talebinin uzun vadeli tahmini, Tayvan'ın doğal kaynak eksikliği, enerji ithalatına bağımlılık ve ülkenin sürdürülebilir kalkınma arayışı nedeniyle Tayvan'da son derece önemli bir temel araştırma konusudur. Huang et al. [37], çalışmasında uzun vadede enerji ihtiyacının sınırlı kaynaklarla birlikte bir politika belirlenmesi amacıyla Tayvan enerji sektörü LEAP modeliyle modellenmiştir. Tayvan LEAP modeli, enerji politikası ve enerji sektörü gelişiminin çeşitli alternatif senaryoları için gelecekteki enerji talebi ve arz taleplerinin yanı sıra sera gazı emisyonlarını karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Çalışmanın sonuç bölümünde, Tayvan'da gelecekteki enerji ve iklim politikaları için model sonuçları yorumlanmıştır. Araştırma Sonuçları: LEAP modeli, uluslararası enerji politikası karşılaştırması için kullanışlıdır. Nükleer enerji santrallerinin CO₂ emisyonu üzerinde önemli ve olumlu etkileri vardır. En etkili enerji politikası, talep tarafı yönetimini benimsemektir. Makul enerji fiyatlandırması, enerji verimliliği ve tasarrufu için teşvikler sağlar. Finansal krizin enerji talebi üzerinde agresif enerji politikasından daha az etkisi vardır.

Nieves et al. [38], enerji talebi ve sera gazı emisyon analizinin belirlenmesi amacıyla Kolombiya için LEAP modeli uygulaması yapmışlardır. . Kolombiya, iklim olayları, teknolojik değişiklikler ve yenilenebilir enerjinin artan kullanımı nedeniyle enerji talebinde yeni zorluklarla karşı karşıya olan gelişmekte olan ülkeler grubunu temsil etmektedir. Çalışma, Uzun Menzilli Enerji Alternatifleri Planlama Sistemi (LEAP) yazılımı kullanılarak, 2015 yılına dayanan bir modelinin oluşturulması ve gelecekteki iki senaryo (pozitif ve negatif) ile gerçekleştirilmiştir. LEAP modeliyle, ülkenin ekonomik sektörlerinin (sanayi, konut ve ulaşım) gelecekteki tahminlerini elde etmek için gerçekleştirilmiş ve 2030 ila 2050 yıllarını kapsamaktadır. Özetle: İki senaryo, teknolojik değişimi içermektedir. Sonuçlar LEAP™ yazılımı kullanılarak 2030 ve 2050'ye yansıtılmıştır. Ulaştırma sektörü, 2050 yılına kadar enerji talebi en yüksek sektör olacaktır. 2050 yılında negatif senaryoda 150 ton CO₂ üretilecek ve temiz teknolojilere daha fazla eğilim olacaktır.

Hu et al. [39], sürdürülebilir kentsel enerji gelişimi için senaryolar ve politikalar geliştirilmesi amacıyla LEAP yazılımını kullanmıştır. Şehirler, küresel birincil enerjinin %67'sinden fazlasını tüketir ve bunun üretimi küresel CO₂'nin yaklaşık dörtte üçüne neden olur. CO₂ emisyonları, küresel ısınma trendini ve buna bağlı aşırı hava olaylarını ve doğal afetleri arttırmaktadır. Bu nedenle, şehirler için mevcut ve yeni enerji kaynaklarını verimli ve etkili bir şekilde kullanmak çok önemlidir. Bu çalışma sürdürülebilir enerji planlamasını

ekonomik analizle birleştirebilen ve enerji tüketimini minimum ekonomik maliyetle azaltabilecek bir tür sürdürülebilir kentsel enerji planlaması sunmaktadır. Çalışma sonucunda: Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ve alternatif politikalar hayati öneme sahiptir, Tepe Senaryo dışında enerji tüketimi artacaktır, Tüm senaryolarda elektrik üretiminin artacağı öngörülmektedir.

Pakistan'da enerji güvenliği ve yenilenebilir enerji politikasının analizini hedefleyen bir çalışma Aized et al. [40] tarafından yapılmıştır. Pakistan, günümüzde ciddi enerji sıkıntısı çeken gelişmekte olan ülkeler arasında bulunmaktadır. Ülkedeki mevcut ve geçmiş hükümetler enerji taleplerini karşılamak için çeşitli enerji politikaları tasarlamış ancak talep arz açığını kapatamamıştır. Bu çalışma Pakistan'ın yenilenebilir enerji politikasını analiz etmeyi ve LEAP kullanarak gelecekte enerji arzını güvence altına almanın yollarını incelemeyi ve bulmayı amaçlamaktadır. Çalışma, yeşil Pakistan senaryosunun kullanılması gerekliliği sonucuna varmaktadır. Minimum işletme ve dışsal maliyetlere sahip yenilenebilir enerji teknolojileri, gelecekte en uygun seçenek olarak görülmektedir.

Salehin et al. [41], tekno-ekonomik optimizasyonu, enerji senaryosu analizi ile birleştiren yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirilmesi amacıyla LEAP yazılımını kullanmıştır. Bu çalışmada, elektrik sağlayan güç sistemlerine odaklanan yenilenebilir enerji sistemlerini değerlendirmek için bir modelleme çerçevesi önerilmiştir. Çalışma sonucunda, araştırmacıların ve politikacıların, enerji analizi ile tekno-ekonomik optimizasyon kullanan yenilenebilir enerji sistemlerini daha iyi değerlendirmelerine yardımcı olabileceği belirtilmiştir.

• MARKAL/TIMES

MARKAL / TIMES genel amaçlı model girdi verilerine göre, belirli bir enerji-çevre sisteminin genellikle 20-50 veya 100 yıllık bir dönemdeki değişimini gösterir. Küresel, çok bölgesel, ulusal, il veya topluluk düzeyinde inceleme yapılabilir. Her bir yıllık yük süresi eğrisi, dolayısıyla her bir yıllık değişken, üç seviyede altında istenildiği kadar kullanıcı tanımlı zaman dilimi ile detaylandırılabilir. Bunlar mevsimsel (veya aylık), hafta içi / hafta sonu, saat olarak tanımlanır. Bütün termal, yenilenebilir, depolama ve taşıma teknolojileri MARKAL / TIMES tarafından simüle edilebilir. Dolayısıyla her bir zaman aralığı için "en iyi" referans enerji sistemini seçilebilir. Bunlar politika ve fiziksel kısıtlamalar dâhilinde yapılır. Analiz için, maliyetler ve dışsallıklar hesaplanabilir [35].

Jia et al. [42], Çin enerji hizmeti talep projeksiyon modeli (ESDPM) ve TIMES modeli (entegre MARKAL-EFOM sistemi) ile entegre edilmiş Çin TIMES model sistemi, senaryo

analizi ile enerji talebi projeksiyonuna dayanarak Çin'in gelecekteki sürdürülebilir enerji ve çevre geliştirme stratejisini incelemek amacıyla yapılmış bir çalışmadır. Gelecekteki ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma ile ilgili makul varsayımlar temelinde, model sistemi 2010-2050 yılları arasında Çin'in enerji talebini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Sonuç olarak, Çin'in enerji talebinin 2020'den önce sürdürülebilir ve hızlı bir büyümeyi sürdürmesi beklenmektedir ve daha sonra yavaş yavaş azalarak 2050 yılında referans senaryo ve politika senaryosunda sırasıyla 6.6 ve 6.2 milyar olacağı tespit edilmiştir.

Dal and Koksal [43], Elektrik Üretimi için yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımında Politik, Teknolojik ve Çevresel Kısıtlamalara Göre Modellenmesi üzerine çalışılmıştır. Çalışma Türkiye'de yapılmış ve ANSWER-TIMES enerji planlama modeli kullanılmıştır. Türkiye elektrik sektörü son on yılda, talepte, önemli bir artışla karşı karşıyadır. CO₂ emisyonunu azaltma hedefleri ve ithal fosil yakıtların kullanımını sınırlamak, elektrik sektörünün yakıt karışım planlamasına baskı oluşturmaktadır. Bu çalışmada, emisyon azaltma hedefleri için optimum bir çözüm elde edilirken veya yakıt payı baz yıldıki gibi tutulurken, harici maliyetleri olan ve olmayan çeşitli yakıt karışımlarına dayalı en az maliyetli elektrik üretimi belirlenmektedir. Optimizasyon, 2015'i temel yıl olarak kabul eden ANSWER-TIMES enerji planlama simülasyon programı kullanılarak 2016-2035 arasında geliştirilmiştir. Sonuçlar, dış maliyetleri içselleştirerek yenilenebilir enerji santrallerinin uzun vadede teşvik edildiğini göstermektedir. Fosil yakıtlı enerji santralleri, optimizasyon sırasında elektrik üretiminin dış maliyetleri dikkate alınmadığında öncelikle talebi karşılamak için tercih edilir. Senaryo sonuçları ayrıca, dış maliyetler ve emisyon hedefleri göz önünde bulundurularak optimizasyonlar gerçekleştirildiğinde CO₂ emisyonlarının yaklaşık %30 oranında azaltılabileceğini göstermiştir.

- EnergyPlan

EnergyPlan, bir dizi sekmede tasarlanmış kullanıcı dostu bir girdi çıktı analizi yapan bir yazılımdır. Yazılımda Delphi Pascal programlama dili kullanılmıştır. Ana amacı, tüm enerji sistemini simüle ederek ulusal veya bölgesel enerji planlama stratejilerinin tasarlanmasına yardımcı olmaktır. Buna ısı ve elektrik arzının yanı sıra nakliye ve sanayi sektörleri dâhildir. Tüm termalve yenilenebilir enerji kaynakları, depolama, nakliye ve maliyet (ek maliyet seçeneği ile) unsurları göz önünde bulundurularak EnergyPlan tarafından modellenilebilir. Deterministik bir girdi / çıktı aracıdır. Genel girdiler; talepleri, yenilenebilir enerji kaynaklarını, enerji istasyon kapasitelerini, maliyetleri, aşırı elektrik üretimi için ve ithalat / ihracat durumunu ve bir dizi farklı düzenleme stratejisi içerir.

Çıktılar; enerji dengeleri ve bunun sonucunda ortaya çıkan yıllık üretim, yakıt tüketimi, CO₂ emisyonunu, elektrik ithalatı / ihracatı ve elektrik değişiminden elde edilen gelir dâhil toplam maliyetlerdir. Son olarak EnergyPlan, sisteme yapılan yatırımları optimize eden araçların aksine belirli bir sistemin çalışmasını optimize eder [35].

Prina et al. [44], uzun vadeli enerji planlamasının yapılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek nüfuz düzeyine sahip bir enerji sisteminin planlanması, çevre ve enerji güvenliği konularında giderek daha önemli hale gelmektedir. Çalışmada enerji sistemi modellemesinde, iki farklı yaklaşım vardır: biri seçilen bir gelecek yılın enerji karışımını optimize ederken, ikincisi mevcut taban çizgisi ile gelecek yıl arasındaki geçiş yolunu optimize eder. Markal / TIMES ve OSeMOSYS her iki yaklaşım için de geçerli modelleme araçlarına örnektir. Hesaplama sorunları nedeniyle, bu modeller genellikle düşük zaman çözünürlüklerini benimser ve bir zaman dilimi yaklaşımını takip eder. İkinci yaklaşım, yenilenebilir enerjilerin aralıklı olması ve sabit elektrikli araçlarda depolanması gerektiği göz önüne alındığında tartışmalıdır. Doğruluk sorununun üstesinden, çok amaçlı bir evrimsel algoritma ve EnergyPlan yazılımına dayanan bir modelleme yaklaşımıyla gelinmeye çalışılmıştır. Teknolojilerin yıldan yıla maliyetinin düşürülmesini ve eski tesislerin devreden çıkarılmasını içeren yöntem İtalyan enerji sistemine uygulanmıştır. Çalışmada; EPLANoptTP, EnergyPlan'a dayanan yeni bir uzun vadeli mükemmel öngörü modeli oluşturulmuştur. Ana yenilikler yüksek zaman çözünürlüğü ve çok amaçlı optimizasyondur.

Lionetti [45], 2050 yılına kadar enerji senaryolarını, EnergyPlan yazılım kullanarak gerçekleştirmiştir. Enerji güvenliği ve iklim değişikliği gibi konularda son zamanlarda yapılan tartışmalar, enerjinin üretilme ve tüketilme şeklini değiştirme ihtiyacını vurgulamaktadır. Çoğu ülkede sera gazı emisyonu hedefleri belirlenmiş ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (RES) daha geniş bir şekilde kullanılmasına geçilmiştir. Bu hedeflere ulaşmak için etkili stratejiler oluşturmak için idarelerin gelecekteki enerji sistemlerini simüle edebilecek araçlara ihtiyacı bulunmaktadır. Bu tür araçlar, gerçek bir enerji sisteminin basitleştirilmiş bir versiyonunu temsil eden enerji modellerini içerir. Bazı modeller, belirli bir yılda bir enerji sisteminin nasıl olması gerektiğine dair bir anlık görüntü sağlayabilir, diğerleri ise tüm geçiş aşamasını dikkate alır, belirli yatırımların ne zaman yapılacağı hakkında bilgi verebilir. Çalışmada sunulan metodoloji sayesinde, emisyonların azaltılmasına izin verilen maksimum azalmaya kadar herhangi bir değere ulaşmak için en ekonomik çözümlerini elde etmek mümkündür. Model, 2015'ten 2050'ye kadar İtalyan enerji geçişini Ulusal Enerji Stratejisinde (SEN) yer alan endikasyonlardan esinlenerek

değerlendiren bir vaka çalışması üzerinde test edilmiştir. Akülü Elektrikli Araçlar (VEB) için farklı büyüme senaryolarının potansiyel etkisi üzerine daha fazla analiz yapılmıştır.

Gota et al. [46], Romanya enerji sisteminin 2008 verilerine dayanan model gelişimi sunulmaktadır. Bu model EnergyPlan yazılımı ile simüle edilmiştir. Modelin test edilmesinden ve onaylanmasından sonra, elde edilen modele dayanarak 2 gelecek senaryosu simüle edilmiştir. Romanya'da 2013 strateji senaryosu ile artan yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip ilk simülasyondur. Gelecek strateji senaryosuna sahip olan ikinci simülasyonda kurulu nükleer kapasitenin %50 azaldığı tespit edilmiştir.

Şehirlerdeki enerji sistemlerinin karbondan arındırılması gerekir ve enerji sektörü bağlantısıyla daha entegre hale gelirler. Günümüzde şehirler düşük karbon hedeflerini, örneğin karbon hesaplayıcılarını değerlendirmek için genellikle basit yöntemler kullanır ve bu yöntemler yıllık karbon azaltma potansiyellerini kullanmaktadır. Örneğin, binalarda ısı tasarrufundan veya ulaşımda yakıt talebinden kaynaklanan azalmalar. Bu durum basit ve hızlı olduğu için yapılır. Bu alanda yapılmış bir çalışmada Drysdale et al. [47], karbon hesaplayıcılarının ötesine geçen ve yüksek oranda yenilenebilir enerji sistemlerini değerlendiren bir metodoloji tanımlamaktadır. Metodoloji bir vaka şehri olan Sønderborg, Danimarka için gerçekleştirilir. Ulusal %100 yenilenebilir enerji çalışması ve uygun bir enerji sistemi analiz aracı (EnergyPlan) kullanarak, bu yöntem sektörler arası kuplaj ve enerji sistemi dinamiklerini açıklamaktadır. Enerji sistemi, analiz aracından elde edilen sonuçlar, Akıllı Enerji Sistemi için çok sayıda önemli sürdürülebilirlik faktörü ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Çalışma sonucunda, yöntemin yerel kaynaklara dayanarak 2050 yılında Danimarka enerji sisteminin bir parçası olabilecek Sønderborg için sürdürülebilir %100 yenilenebilir Akıllı Enerji Sistemini nasıl sağladığını göstermektedir.

2.4.1.3. Çok kriterli karar verme yöntemleri

Enerjinin uzun dönem planlamasında çok sayıda kriter dikkate alındığı için çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) bu alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

Mahdy and Bahaj [48], açık denizlerdeki rüzgar potansiyelini değerlendirmek amacıyla yeni bir yöntem geliştirdi. 2018 yılında yapılan bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı ÇKKV analizi kullanılmıştır. Çalışma Mısır çevresindeki açık deniz bölgelerinde uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip yaklaşık 33 GW elektrik kapasiteli üç alan tespit edilmiştir. Bunun, Mısır'ın mevcut kurulu kapasitesinin iki katından fazla olduğu belirtilmiştir.

Hajibandeh [49], Rüzgâr enerjisinin, elektrik enerji sistemlerine adaptasyonu üzerine çalışılmıştır. Yenilenebilir kaynakların ve Talep tahmininin birleşimi, talep miktarının karşılanmasına olanak vermiştir. Bu çalışmada rüzgar enerjisi ve enerji Talebinin entegrasyonu için yeni bir model önerilmektedir. Sorun, stokastik bir Sezgisel Çok Amaçlı Çok Kriterli Karar Verme yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Kapsamlı sayısal sonuçlar, önerilen modelin tamamen verimli olduğunu göstermektedir.

Katal and Fazelpour [50], İran'da enerji santrallerinin enerji planlama bakımından değerlendirmesi üzerine çalışılmıştır. ÇKKV yöntemiyle gerçekliğe dayalı bilgiler test edilmiş ve değerlendirilmiştir. Enerji sistemlerinin değerlendirilmesi VIKOR yöntemiyle doğrulanmıştır. Belirlenen kriterlere göre enerji üretimi için en iyi alternatif sunulmuştur. Farklı iklim koşulları altında beş farklı enerji santrali seçimi yapılmıştır. ÇKKV için onaylanmış bir MATLAB tabanlı kod kullanılmış ve çalışma sonucunda güvenilir bir teknik olduğu vurgulanmıştır.

Jeong and Gomez [51], enerji elde etmek için kullanılan Biokütle santrallerine yer belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Sürdürülebilir biyokütle tesislerinin yerlerini belirlemek için entegre bir model geliştirilmiştir. Coğrafi bilgilere dayalı ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. Operasyonel yöntem, mekansal değerlendirmeye dayalı enerji ve arazi kullanımı konularını dikkate almaktadır. Vaka çalışma alanındaki beş biyokütle tesisi uygun alanlarda yer almamaktadır. Ölçütlerin değiştirilmiş ağırlık katsayılarının duyarlılık analizi, yöntemin yüksek kararlılıkta olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda biyokütle tesisleri için en uygun yerlerin, düşük nakliye maliyetleri olan ormanlık alanlara yakın olduğu belirtilmiştir.

Majewski et al. [52], sürdürülebilir bakımdan enerji sistem tasarımının gerçekleştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Min-max gürbüz ÇKKV modeli kullanılmıştır. Belirsizlikler enerji sistemlerinin sürdürülebilir tasarımına dahil edilmiştir. Min-max gürbüz çok amaçlı optimizasyonu bir mühendislik uygulamasına aktarılmıştır. Belirtilen tasarımlar en kötü durumda ve nominal durumda iyi performans göstermektedir. Sunulan problem formülasyonu, minmax gürbüz çok amaçlı optimizasyonun önemli oranda sürdürülebilir enerji sistemlerinin tasarımı için mühendislik uygulamasına aktarılabilceğini göstermektedir.

Mallikarjun and Lewis [53], dağıtılmış enerji kaynakları için en uygun enerji teknolojisinin belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Çerçeve, ekonomik, teknik ve çevresel hedefleri aynı anda dikkate almaktadır. İlk aşama, her enerji teknolojisinin performansını değerlendirmek için DEA'yı kullanmaktadır. İkinci aşama, optimal enerji kaynağı tahsisini

sağlamak için ÇKKV modelini kullanmaktadır. Uygulama Kuzeydoğu Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan bir ticari bina için oluşturulmuş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Papadimitriou et al [54], çalışmasında hibrit enerji sistemlerin tasarımı, ÇKKV yöntemiyle çok amaçlı yazılım yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, elektrik fiyatlarının ileri yönlü değişiminin belirlenmesinde destek vektör makinesi (SVM) tabanlı bir tahmin modeli sunulmuştur. Sistem, Avrupa Enerji Borsası (EEX) toptan elektrik piyasasının Alman ve Avusturya kontrol alanının günlük Phelix endeksi üzerinde test edilmiştir. Elde edilen tahmin doğruluğu sonuçları 200 günlük bir süre için %76,12'dir.

Latinopoulos and Kechagia [55], 2015 yılında yapılan diğer bir çalışmada, amaç rüzgâr enerjisinin elde edilmesinde en uygun tarlaların belirlenmesidir. Ön ve son rüzgâr santrali saha değerlendirmeleri Coğrafi bilgi sistemleriyle ve mekânsal ÇKKV yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Arazi Uygunluk Endeksleri (SI) çeşitli politika senaryoları altında tahmin edilmektedir. SI'nın mekansal verileri rüzgâr enerjisi potansiyelinin etkisini güçlü bir şekilde yansıtmaktadır. Mevcut mekansal planlama uygulamaları teknik ve ekonomik faktörlere öncelik vermektedir. Çalışmada önerilen yöntemin, rüzgâr çiftliklerinin gelişimi için alanların belirlenmesinde, planlamacıların işini kolaylaştıracağı belirtilmiştir.

Arnette and Zobel [56], Bölgesel açıdan enerji planlamasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu araştırmanın amacı, mevcut elektrik üreten sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birleştirilmesidir. Bu bağlamda kapsamlı bir karar destek sistemi enerji planlamasının modellenmesinde kullanılmıştır. Bölgesel düzeyde bir enerji planlamasına odaklanılmış ve bu Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusundaki Güney Appalaş Dağları'nda uygulanarak gösterilmiştir. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynakları ile mevcut fosil yakıtların optimum karışımının belirlenmesi için kullanılacak çok amaçlı bir doğrusal programlama (MOLP) modelinin geliştirilmesi üzerinedir. Bu model, bir karar vericinin yıllık üretim maliyetlerini karşılık gelen sera gazı emisyonlarına karşı dengelemesine izin vermekte ve çeşitli farklı politika analizlerinin uygulanması için önemli destek sağlamaktadır.

Xu and Chan [57], Sürdürülebilir yeni enerji teknolojilerinin öncelikleri hususunda politika belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bina Enerji Verimliliği Güçlendirme (BEER), yüksek enerji tüketen mevcut binaların enerji verimliliğini artırarak düşük karbonlu binalara doğru çekici bir yoldur. Bu makale Enerji Performansı Taahhüdü (EPC) mekanizması altında sürdürülebilir bir model geliştirmek üzere Analitik Ağ Süreci'ni (ANP) kullanmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada SuperDecision yazılımı kullanılarak toplanan verilerle bir ANP modeli oluşturulmuştur. LOWA ve MCDM yazılım yöntemleri

kullanılmıştır. Araştırma sonuçları: Bina Enerji Verimli Güçlendirme (BEER), mevcut binaların enerji verimliliğini artırmaya yönelik bir projedir. Enerji Performansı Taahhüdü (EPC) BEER'in olası bir dağıtım modelidir.

2.4.2. Enerji talep tahmini üzerine yapılan çalışmalar

Bu aşamada, Ülkemizde enerji talep tahmininin geleneksel ve/veya değiştirilmiş geleneksel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar incelenmiş ve benzer statüde olan yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar kendi içerisinde kronolojik olarak verilmiştir.

Ediger and Tatlıdil [58], Enerji tahmininde Türkiye Devlet Planlama Teşkilatı (TDPT) tarafından 1966, 1967, 1972, 1977, 1979 yıllarında ve MENR tarafından 1973, 1975, 1977 ve 1978 yıllarında çalışmalar yapılmış, en iyi eğri bulunmaya çalışılsa da, istatistiksel yöntemlerle resmi olarak enerji talep tahminine ancak 1984 yılında başlanabilmektedir. Bu yıllardan sonra MENR, elektrik enerji talebini belirlemek amacıyla VIEN ve MAED yöntemlerini kullanarak bir dizi çalışma yapmıştır.

Ülkemizde ilk enerji üretimi 1902 yılında Tarsus'ta kurulan Hidro-Elektrik santraliyle başlamıştır. Hidro-Elektrik enerji ülkemizdeki en önemli yerli ve yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur. Yumurtacı and Asmaz [59], yaptığı çalışmada geçmiş veriler üzerinde uyguladığı istatistiksel metotlarla 2050 yılı için gereken enerjinin ne kadarının termal ve hidrolik santrallerden üretilebileceğini hesaplamışlardır. Bu geçmiş veriler kişi başı enerji tüketiminin yanı sıra termal enerjide üretim miktarını da göstermektedir. Yaptıkları hesaplamalarda, 2050 yıllarına kadar üretilen toplam enerjinin %10'u hidrolik santraller, %58'i termal santralle ve geri kalan kısmı ise diğer kaynaklar tarafından üretilecektir.

Ediger and Akar [60], yapılan çalışmada, birincil enerji talebinin yanı sıra, doğalgaz, petrol, güneş, taşkömürü vb. gibi enerji kaynak çeşitleri için Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) ve mevsimsel ARIMA yöntemlerini kullanmıştır. 2005 ve 2020 yılları arasına ait tahminde bulunmuşlardır. ARIMA yöntemi, zaman serisi tahmini için en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada elde edilen sonuç, mevsimsel ARIMA ve ARIMA yöntemlerinin enerji talep tahmininde etkili olarak kullanılabilir olduğudur.

Enerji talep tahmini, ithalat, ihracat gibi ekonomik kavramları temel alarak farklı denklemlerle (üssel, karesel, doğrusal vb.) modellenenmektedir. Bu modellerin çözümü için ve/veya bu modellerin ağırlık parametrelerinin (weighting parameters) tahmini için literatürde farklı yöntemler (Genetik Algoritma (GA), sürü zekâsı algoritmaları vb.) uygulanmıştır. Elde edilen modeller farklı senaryolara dayandırılarak gelecekteki enerji talep tahmini yapılmıştır. Canyurt and Ozturk [61], yapılan çalışmada ülkemizin enerji

talebi, GA yöntemiyle, nüfus, ihracat, ithalat ve gayrisafi milli hasıla gibi faktörler dikkate alınarak üssel ve doğrusal formülasyonla modellenmiştir. 1970 - 1990 yılları arasına ait veriler bu yöntemin ağırlık parametrelerini tahmin etmek için, 1991 - 2001 yıllarındaki veriler ise modeli doğrulamak amacıyla kullanılmıştır. 2002 - 2025 yıllarına ait tahminler için 3 farklı senaryo üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile elde edilen proje sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, üssel formdaki modelin gerçeğe yakın sonuçlar ürettiği gözlenmiştir.

Yetis and Jamshidi [62], yapılan çalışmada, enerji sektörleri baz alınarak ülkemizin enerji tüketiminin 2023 yılına kadar giriş değerleri Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH), endüstriyel üretim endeksini ve nüfusu Yapay Sinir Ağları kullanarak tahmin etmişlerdir. Sonuçlar ülkemizin 2023 yılındaki net elektrik tüketiminin toplamda 373.03 GWh olduğunu göstermektedir.

Murat and Ceylan [63], yapılan çalışmada, girdi faktörleri Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH), nüfus ve bir yıllık ortalama araç km'leri olan ve Türkiye'nin nakliye enerji talep tahmininde Yapay Sinir Ağları kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, önerilen metodun nakliye enerji talebi tahmini problemine uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Bilgili et al. [64], yapılan çalışmada, endüstriyel alanlarda ve konutlarda elektrik tüketim tahmininde Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Burada doğrusal olmayan ve doğrusal olan regresyon uygulamıştır. 2008-2015 yıllarıyla ilgili gelecek tahmininde bulunmuş, toplam abonelik, yüklenmiş kapasite, nüfus ve brüt elektrik üretimi bağımsız girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. Karşılaştırmadan elde edilen sonuçlar, Yapay Sinir Ağları ile elde edilen değerlerin diğer yöntemlerin değerlerinden daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu göstermiştir.

Ceylan et al. [65], yapılan çalışmada, ülkemizde nakliyedeki enerji talep tahmini modeli için uyum arama (harmony search) algoritması kullanılmıştır. Bu çalışma popülasyon tabanlı sezgisel algoritmayı içermektedir. Nüfus, GSYH ve yıllık bazda toplam ortalama araç km faktörleri girdi olarak kullanılmış karesel, doğrusal ve üssel formlar tercih edilmiştir.

Toksarı [66], yapılan diğer bir çalışmada ise Türkiye'nin net enerji talep ve üretim tahminini için Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması kullanmıştır. Enerji talep tahmini çalışmalarında olduğu gibi veriler kullanılmıştır (1979-2006). Karesel ve doğrusal formülasyonda GSYH, popülasyon, ihracat, ithalat, etkenlerine dayanılarak modeller geliştirilmiş ve bu modellerle üç senaryoyla 2007-2025 yıllarına ait tahminde

bulunulmuştur. Sonuçlar her iki formun üç senaryoda da ülkemizin elektrik talep tahmininde kullanılması gerektiğini göstermiştir.

Beskirli et al. [67], Ülkemizin uzun-vadede enerji talep tahmini için Diferansiyel Evrim Algoritmasını kullanmıştır. Bu çalışmada karesel ve doğrusal şekilde Nüfus, GSYH, ihracat, ithalat gibi etkenlere dayanarak iki model üzerinde durulmuş ve 2012-2031 yıllarını içeren enerji talep tahmini üç farklı senaryoyla tahmin edilmiştir. Savunulan bu model Güney Kore'de enerji talep tahmininde uygulanmış ve enerji talebine ait tahminlerde minimum hata görülmüştür. Önerilen bu model, Güney Kore'de uygulanan diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında en az hataya sahip model olduğu kanıtlanmıştır.

Kankal and Uzlu [68], Türkiye'deki elektrik enerjisi talebini modellemek için öğretme-öğrenme-temelli optimizasyon ile yapay sinir ağının (YSA) performansını inceleyen bir model önemiştir. Öğretme-öğrenme temelli optimizasyonlu YSA, geri yayımlı YSA ve yapay arı kolonisi algoritmaları olan YSA ile karşılaştırıldı. Gayri safi yurtiçi hâsıla, nüfus, ithalat ve ihracat, modellerde bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Sonuçlar, öğretme-öğrenme temelli optimizasyonlu YSA modellerinin elektrik enerjisi talebinin tahmininde geri yayımlı YSA ve yapay arı kolonisi algoritmaları YSA modellerinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Geri yayımlı YSA ve yapay arı kolonisi algoritmaları YSA modellerinin ortalama kök-kare-kare hatası, öğretme-öğrenme temelli optimizasyonlu YSA model kullanılarak sırasıyla %42,3 ve %39,3 azalmıştır. Türkiye'nin elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için 2013'ten 2018'e kadar öngörülen 6 yıllık bir süre boyunca farklı senaryolar incelenmiştir.

Kiran and Gunduz [69], Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması kullanılmıştır. Bu yöntemlerle Türkiye'nin enerji talep tahmininde yeni bir hibrit yöntem önerilmiştir. Önerilen enerji talep tahmini modelinde bu iki meta-sezgisel algoritma birleştirilmiştir. Modelde GSYH, ihracat, ithalat, faktörleri, bu faktörlerin 1979 - 2005 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Bu modeller doğrusal ve karesel olarak kullanılmıştır. 2006-2025 yılları için enerji tahmininde üç senaryo uygulanmıştır. Aynı problem için uygulanan sonuçlar Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasının sonuçlarıyla karşılaştırıldığında önerilen hibrit modelin Yapay Arı Kolonisi ve Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmalarından daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir. 2006-2025 yıllarına ait senaryo değerlendirildiğinde önerilen yöntemin karesel formu daha iyi sonuçlar üretmiştir.

Uguz et al. [70], Bu çalışmada, Türkiye'nin uzun vadeli enerji talebini belirlemek için Değişken Arama Stratejileri ile Yapay Arı Kolonisi (ABCVSS) yöntemine dayanan bir enerji talebi tahmin algoritması önerilmiştir. Enerji talebi tahmini için doğrusal ve ikinci dereceden denklemler kullanılmış ve denklemlerin katsayıları ABCVSS yöntemi ile belirlenmiştir. ABCVSS yöntemiyle, beş farklı arama stratejisi kullanarak, Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının yerel ve global arama kapasitesini artırma girişiminde bulunuldu. GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat verilerini 1979'dan 2005'e kadar olan süre için önerilen yöntem için girdi parametreleri olarak seçildi. Uzun vadeli enerji talebi bir senaryoda öngörülmüş ve önerilen yöntemden elde edilen performans literatürdeki Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yapay Karınca Kolonisi algoritmalarından elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

Kavaklioglu [71], Ülkemizin elektrik tüketimi, Gayri Safi Millî Hasıla, nüfus, ihracat ve ihracat gibi indikatörler kullanarak belirlenmiştir. Bu modelde vektör regresyon desteği (support vector regression -SVR) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmayla birlikte literatürde SVR yöntemi Türkiye'nin tüketim modelinde ilk kez kullanıldığı belirtilmektedir. Bu çalışma da 1975-2006 yılları arasındaki veriler kullanılarak 2026 yılına kadar olan talep tahmini üretilmiştir.

Cinar et al. [72], yapılan çalışmada, Genetik Algoritma ve Yapay Sinir Ağları yöntemlerini birleştiren hibrit bir model geliştirilmiştir ve yıllık bazda hidroelektrik üretim tahmini için kullanılmıştır. Bu yöntemde, klasik Yapay Sinir Ağları'nda kullanılan ileri beslemeli geri yayımlı yöntem Genetik Algoritma ile geliştirilmiştir. Bu bağlamda yöntemde bir ara katman kullanılmıştır ve bu ara katmandaki başlangıç ağırlıkları, nöronların sayısı ve öğrenme oranı Genetik Algoritma ile belirlenmiştir. Hidroelektrik üretiminde etkili olan faktörler ise yüklenmiş kapasite, elektrik tüketimi, nüfus, Gayri Safi Millî Hâsıla, enerji tüketimi seçilmiştir. Bu faktörler Yapay Sinir Ağları'nın çıktı katmanını, hidroelektrik üretimi ise Yapay Sinir Ağları'nın girdi katmanıdır. Önerilen yöntem klasik Yapay Sinir Ağları yöntemiyle karşılaştırıldığında, test verilerinde nispi hata klasik yöntemde 0.305 iken, önerilen yöntemde 0.0576 olarak tespit edilmiştir.

Yapılan farklı bir çalışmada, Dilaver and Hunt [73], sanayi katma değeri (çıktı), Türk sanayi elektrik tüketimi ve elektrik fiyatları arasındaki ilişki incelenerek ülkemizde endüstriyel elektrik talebi tahmin edilmiştir. Bu çalışmada yapısal zaman tekniği kullanılmış ve 1960 - 2008 yıllarındaki yıllık veriler kullanılmıştır. Üç farklı senaryoyla tahminde bulunulmuş ve endüstriyel elektrik talebi belirlenmiştir. Bu tahminlerde 2015 yılı için 90 - 106 TWh, 2020 yılı için 97 - 148 TWh olacağı belirtilmiştir.

Bu kapsamda Uygun [74], tez çalışmasında Yapay Sinir Ağları ile sebep-sonuç ilişkisine dayalı enerji talep tahmini yapılmıştır. YSA üzerine araştırmalar yapılarak enerji sektöründe kullanılan tahmin modelleri incelenmiş ve Nisan 2015- Mart 2016 arası saatlik elektrik enerji talep tahmini için ilgili değişkenler kullanılarak Türkiye net elektrik enerji talebi tahmin edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, Hüseyin et al [75], YSA ile Türkiye'nin net enerji talep tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu talep tahmininde 1970-2010 yıllarına ait ithalat, ihracat, Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH), nüfus, taşıt sayısı ve bina yüz ölçümü değişken veriler olarak YSA'nın girdi katmanı olarak kullanılmıştır. Önerilen YSA yönteminin tahmin değerleri, çoklu doğrusal regresyon tekniğiyle karşılaştırılmış ve sonuçlar sunulmuştur. Yapılan karşılaştırma sonuçları, YSA modelinin üstünlüğünü ortaya koymuştur. Önerilen yöntemle yüksek doğrulukta ve kabul edilebilir şekilde 2011-2025 yıllarında Türkiye'nin net enerji talebi belirlenmiştir.

Bayramoğlu et al. [76], Yapılan çalışmalarda enerjiye olan talebin belirleyicisi durumunda olan ve literatürde en çok kullanılan etkenlerden yararlanılarak, 2016-2030 yıllarında Türkiye'deki enerji talebi, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) yöntemiyle elde edilmeye çalışılmıştır. Belirtilen etkenlerde 1990-2030 yıllarında OECD ülkeleri arasında bu dönemi içeren büyüme rakamları, enerji fiyatları ve nüfus bağımsız değişkenleri oluşturmuştur. Bu çalışmanın bağımlı değişkeni olarak ülkelerin birincil enerji talepleri ele alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, ülkemizin gelecekte enerji talebi, diğer gelişmiş ülkelere benzer şekilde olabilecektir.

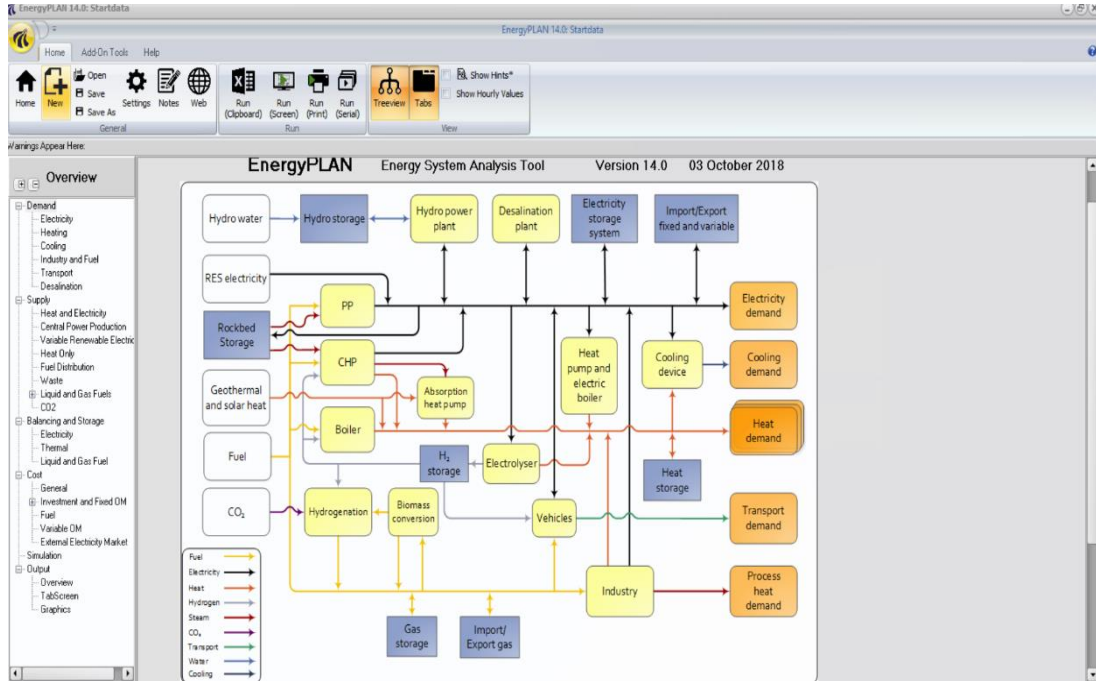
Enerjide arz güvenliği meselesinin sağlanması doğru bir şekilde enerji talebi ve tahmini yapılmasından geçmektedir. Yapılan farklı bir çalışmada, Başoğlu and Bulut [77], ülkemizin mevsimsel ve piyasa koşulları dikkate alınarak, YSA ve uzman sistemler birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada kısa vadeli elektrik talep tahminleri için doğruluk derecesi yüksek hibrit bir yöntem geliştirilmiştir. EPSİM-NN olarak sunulan bu yeni tahmin sisteminde, 24 saatlik talep şekli ve günlük ortalama saatlik talep miktarı 2 farklı YSA kullanılarak belirlenmektedir. Bu 2 ağdan alınan sonuçlar birleştirilerek günlük ihtiyaç duyulan enerji talebi tahmin edilmektedir. Bu değerler, kısa vadeli talep trendlerini kullanan uzman bir sistemden geçirilerek tahminlerde yapılan hatalar en aza indirilmektedir. Kullanılan bu yöntemle Türkiye'nin enerji talep tahminleri gerçekte elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında, EPSİM-NN yönteminin tahminlerinin doğruluk dereceleri oldukça yüksek olarak belirtilmiştir.

3. TÜRKİYE ENERJİ ARZ MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Bu tezde, Türkiye enerji arz modeli ile ilgili tüm senaryolar EnergyPlan yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu yazılımın seçilmesinin nedeni açık erişime sahip olması ve kullanıcı dostu bir ara yüze sahip olmasıdır. Ayrıca literatür araştırmasında da verilen birçok çalışmada yazılımın etkinliği doğrulanmıştır. EnergyPlan kullanılarak çalıştırılan mevcut ve gelecekteki olası senaryolar ÇKKV yöntemlerinden tercih seçim indeksi kullanılarak karşılaştırılmıştır. İlerleyen bölümlerde EnergyPlan yazılımında mevcut durum (baz senaryo) oluşturulması, gelecek senaryolar için talep tahmini yapılması ve senaryoların oluşturulması detaylı olarak anlatılmıştır. Son bölümde ise tercih seçim indeksinde belirlenen kriterler ve kriterlere göre senaryo değerlendirmeleri açıklanmaktadır.

3.1. EnergyPlan ile Baz Senaryo Oluşturma

Türkiye enerji arzı için gelecek senaryoların oluşturulması ve sürdürülebilir enerji temelli bir arz senaryosu seçimi için ilk adım Türkiye enerji sisteminin bir modelini oluşturmaktır. Bu tezde mevcut enerji sistemi modeli (baz senaryo) EnergyPlan yazılımı ile oluşturulmuştur. EnergyPlan deterministik bir girdi/çıkış benzetim modeli olup bütünleşik enerji sisteminin saatlik bazda yıllık performansını modelleyen bir yazılımdır. EnergyPlan, elektrik, ısıtma, soğutma, sanayi ve ulaşım sektörleri de dâhil olmak üzere ulusal enerji sistemlerinin saatlik çalışmasını modellemek için kullanılır. Danimarka'da, Aalborg Üniversitesi'nde Sürdürülebilir Enerji Planlama Araştırma Grubu tarafından geliştirilmiş ve şundaki mevcut çalışmalara aynı çatı altında devam edilmektedir. Model dünya çapında birçok araştırmacı, danışmanlık ve politika yapıcı tarafından kullanılmaktadır. Ücretsiz bir yazılım olarak dağıtılır. EnergyPlan modeli, yüzlerce bilimsel yayın ve raporda kullanılmıştır [78]. Şekil 3.1.'de modelin genel yapısı verilmektedir. Bu tezde EnergyPlan yazılımının yalnızca elektrik ile ilgili ara yüzü kullanılmıştır.



Şekil 3.1. EnergyPlan Ara Yüzü

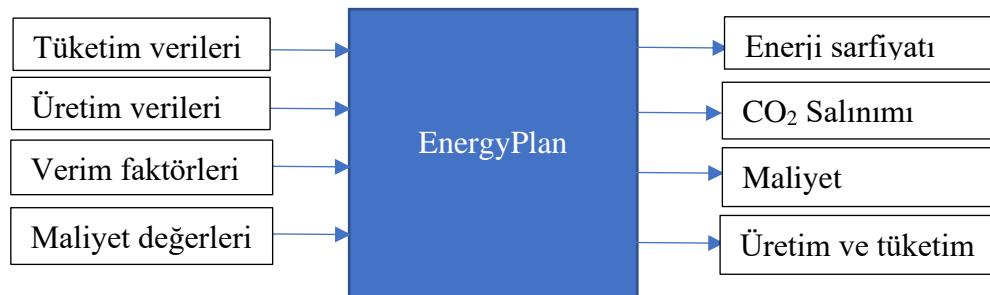
EnergyPlan üzerinde elektrik sistem modeli oluşturulurken modele girilmesi gereken veriler aşağıdaki gibidir.

1. Toplam yıllık üretim / tüketim verisi (Twh / yıl)
2. Kurulu güç verisi (Mw)
3. Saatlik üretim / talep dağılımı verisi

Modelin beklenen çıktıları saatlik, aylık ve yıllık üretimler, talepler, CO₂ emisyonları, yakıt dengeleri ve maliyettir.

3.1.1. Modelin girdileri ve çıktıları

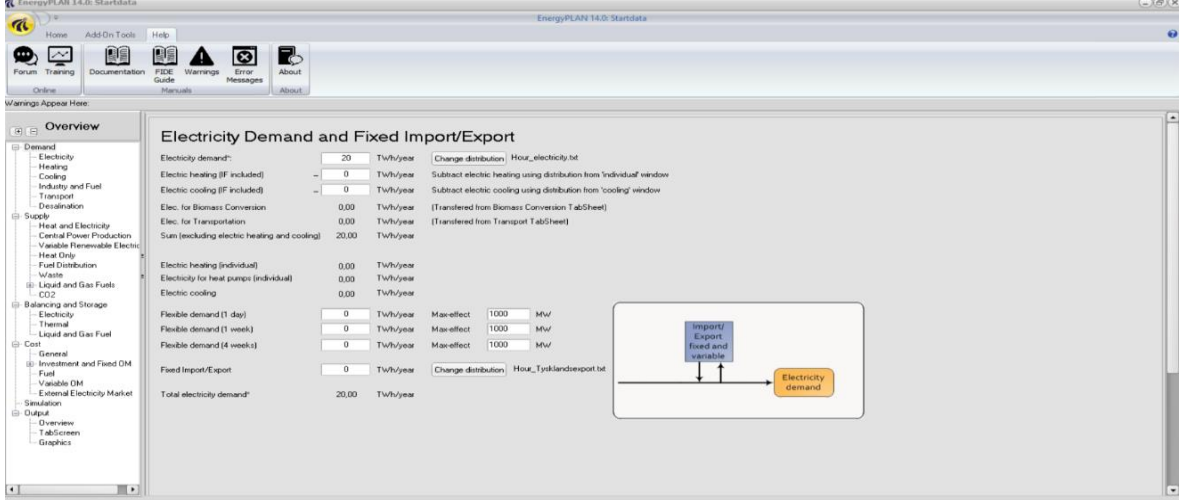
EnergyPlan modeli üzerinde tanımlanan girdi ve çıktı ana başlıkları Şekil 3.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. EnergyPlan Girdileri ve Çıktıları

Tüketim verileri:

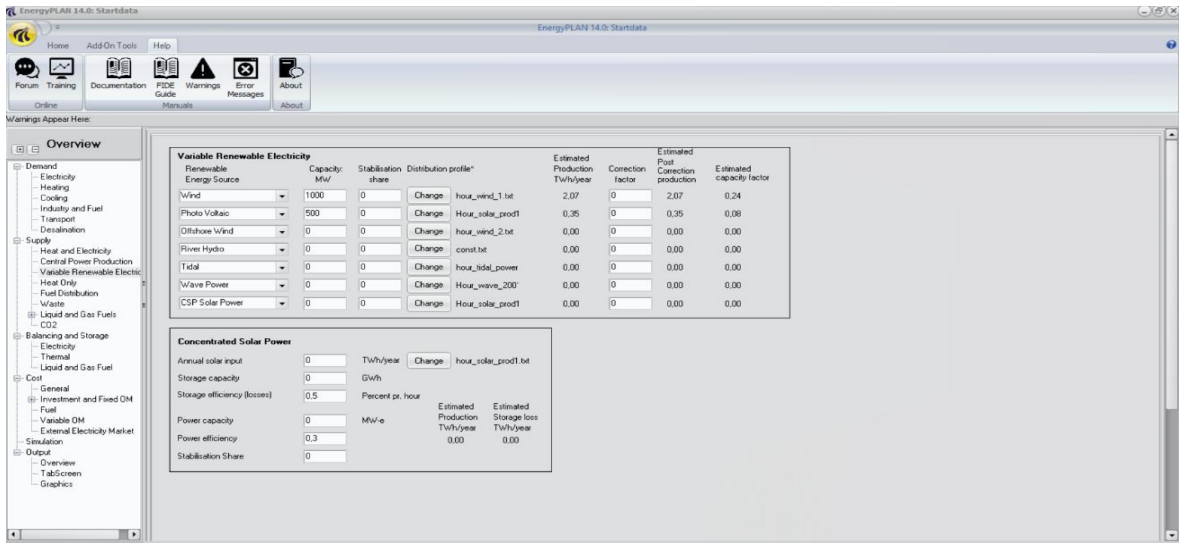
EnergyPlan üzerinde tanımlanacak model için yıllık tüketim verilerinin saatlik bazda girilmesi gerekmektedir. Bu sebeple EPIAŞ üzerinden 2018 yılı için 8784 saat olacak şekilde her bir saat için anlık gerçekleşen talep miktarı EnergyPlan üzerinde tanımlanmıştır. [79]. Saatlik tüketim verilerinin yazılımda girildiği ekranın görüntüsü Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. EnergyPlan Saatlik Talep Verilerinin Tanımlanması

Üretim verileri:

Tüketim verileri gibi yıllık üretim verilerinin de modele saatlik olarak girilmesi gerekmektedir. Bu veriler yine tüketim verileri gibi EPIAŞ'ın 2018 yılı için gerçekleşmiş verileri dikkate alınarak girilmiştir. Üretim verileri her farklı tipteki elektrik üretimi için (kömür, doğalgaz, hidroelektrik vb.) ayrı ayrı olmak üzere ilgili bölümlere girilmiştir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. EnergyPlan Saatlik Üretim Verilerinin Tanımlanması

Baz senaryoda üretim tesisleri için verimlilik katsayıları Tablo 3.1.'de verilmiştir. Her bir farklı tipteki üretim santrali için dikkate alınan ilk yatırım ve işletme maliyetleri ve santraldeki yakıt tipi için dikkate alınan maliyetler Tablo 3.2.'de verilmiştir.

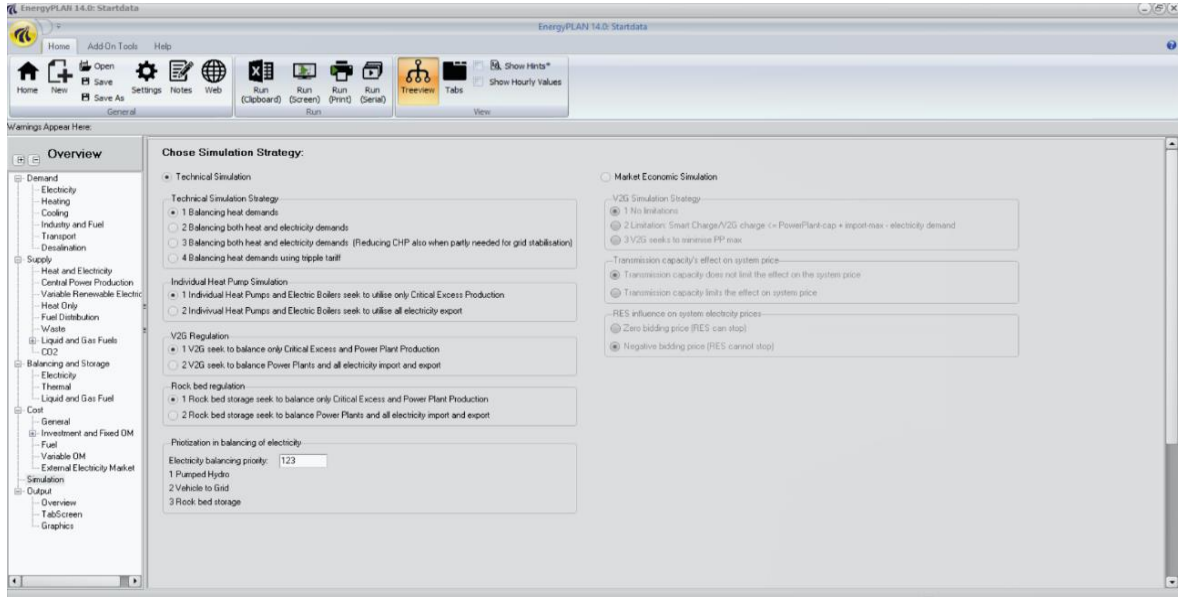
Tablo 3.1 Elektrik Üretim Tesisleri için Verim Katsayıları

Enerji üretim tesisinin çeşidi	Verim katsayısı
Doğalgaz, Yerli kömür ve İthal kömür ile çalışan santraller için ortalama	0,45
Hidrolik baraj	0,85
Hidrolik akarsu	0,85
Rüzgar	0,42
Güneş	0,5(2038 yılı için verim artışı olacağı düşünüldü)
Jeotermal	0,47
Nükleer	0,33

Tablo 3.2. Elektrik Üretim Tesisleri için Maliyet

Enerji üretim tesisinin çeşidi	Yatırım maliyeti (MUSD/MW)	İşletme ve bakım giderlerinin yatırım maliyetlerine oranı(%)
Doğalgaz, Yerli kömür ve İthal kömür ile çalışan santraller için ortalama	0,9	1,5
Hidroelektrik Enerji Santrali	1,2	0,4
Rüzgar Enerji Santrali	1,1	1,7
Güneş Enerji Santrali	1,0	0,6
Jeotermal Enerji Santrali	3,5	2,2
Nükleer Enerji Santrali	4,5	1,7

EnergyPlan modeli için yukarıda tanımlanan bütün veriler girildikten sonra enerji modeli baz senaryo için çalıştırılmış ve çıktılar elde edilmiştir. Modelin çalıştırılması ile ilgili ara yüz Şekil 3.5.'te verilmiştir.

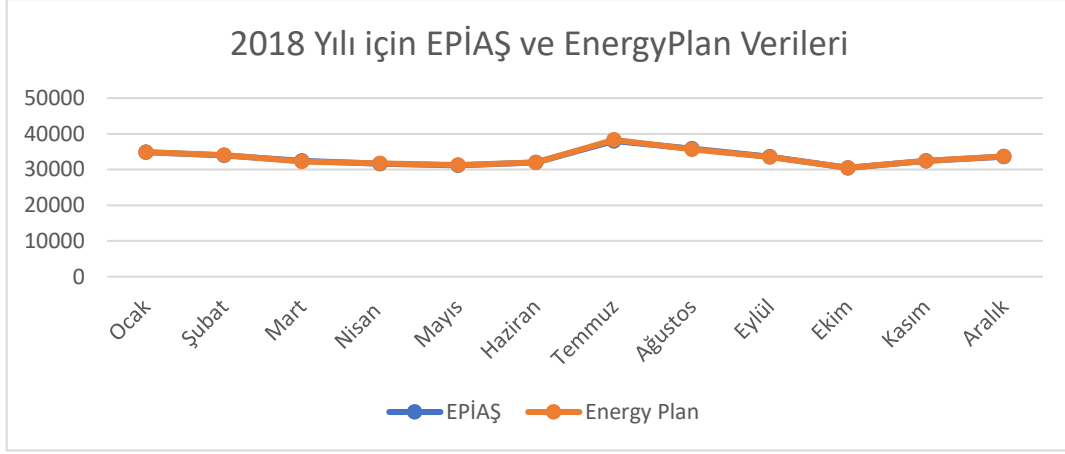


Şekil 3.5. EnergyPlan Simülasyonunun Çalıştırılması

EnergyPlan üzerinde oluşturulan baz modelin çıktılarının doğrulanması için gerçek sistem verileri ile model çıktıları karşılaştırılmıştır. Bunun için öncelikle gerçekleşmiş talep verisi ile EnergyPlan üzerinden elde edilen tüketim dağılımı Tablo 3.3.'te karşılaştırılmıştır. Tablo 3.3.'te görüldüğü gibi fark ihmal edilebilecek kadar az çıkmaktadır. Bu baz senaryo modelinin talep verisi için doğru bir gösterime sahip olduğunu kanıtlamaktadır

Tablo 3.3. EPİAŞ Üzerinden Alınan Gerçek Veriler ile EnergyPlan Modeli Üzerindeki Talep Verilerinin Doğrulanması

Ay	Aylık ortalama enerji talep verileri (MW)		Fark (%)
	EPİAŞ 2018	EnergyPlan 2018	
Ocak	34851	34869	-0,052
Şubat	33994	34076	-0,241
Mart	32453	32220	0,718
Nisan	31646	31710	-0,202
Mayıs	31176	31274	-0,314
Haziran	31951	31941	0,031
Temmuz	37991	38305	-0,827
Ağustos	35802	35684	0,330
Eylül	33628	33475	0,455
Ekim	30466	30499	-0,108
Kasım	32410	32471	-0,188
Aralık	33627	33671	-0,131
Ortalama	33333	33349	-0,048



Şekil 3.6. EPIAŞ ve EnergyPlan Karşılaştırma

Baz modelin doğrulanması için ikinci olarak elektrik tüketim kaynakları da karşılaştırılmıştır (Şekil3.6.). Toplam elektrik üretimi ve elektrik ithalat ihracat değerleri gerçek durum ve baz senaryoda elde edilen değerler için Tablo 3.4'te karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma değerlerine bakıldığında farkın çok küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 3.4. Gerçek Veriler ile EnergyPlan Üzerindeki Verilerin Karşılaştırılması

	Yıllık ortalama enerji üretimi (MW)		Fark (%)
	EPIAŞ 2018	EnergyPlan 2018	
Enerji Santralleri	33810	33229	1,718
İthalat	100	96	-2
Toplam	33918	33356	1,654

Son olarak baz senaryoda elde edilen CO₂ salınım miktarı gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Türkiye'nin elektrik tüketiminde gerçekleşen CO₂ salınım miktarı için bir tahmin değeri [80], 116.76 mt olarak verilmiştir. EnergyPlan baz senaryoda elde ettiğimiz CO₂ değeri ise 140 Mt olarak bulunmuş ve iki tahmin arasındaki fark %16 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.5.).

Tablo 3.5. CO₂ Salınım Miktarı Karşılaştırma

	CO ₂ Değeri -2012 [85]	CO ₂ Değeri EnergyPlan 2018	Fark (%)
Enerji Santrallerinden kaynaklanan CO ₂ Salınımı	116,76 Mt	140 Mt	16

Bu doğrulama adımları ile geliştirilen baz senaryonun mevcut sistemi doğru yansıttığı ve gelecek senaryoların bu baz senaryo üzerinde geliştirilebileceği gösterilmiştir.

3.2. Gelecek Senaryolar için Talep Tahmini

Bu tezde 2038 yılı için enerji arz senaryoları karşılaştırılacaktır. Bu nedenle 2038 yılı için talep tahmini modeli geliştirilmiş ve daha önce yapılmış talep tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Bu tezde talep tahmini için Winters metodu kullanılmıştır.

3.2.1. Winters metodu

Bu yöntem, doğrusal trendi ve mevsimsel etkileri aynı anda geçeli olan serilerde en sık kullanılan metottur. Eğilim (trend), seviye (level) ve mevsimsel (seasonal) şeklinde üç ayrı denklemden oluşmaktadır [81].

Denklemlerin tanımlanması:

$$\text{Seviye: } L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3.1)$$

$$\text{Eğilim: } b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1} \quad (3.2)$$

$$\text{Mevsimsel: } S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1-\gamma)S_{t-s} \quad (3.3)$$

$$\text{Tahmin: } F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (3.4)$$

Parametrelerin tanımlanması:

α , β ve γ : Düzeltim parametreleri

Y_t : t dönemde gerçekleşen gözlem değeri

S_{t-s} : t döneminde s sezon uzunluğu kadar önceki mevsimsel bileşen değeri

s : sezon uzunluğu

S_{t-s+m} : t döneminden s sezon uzunluğu önce m dönemine ait mevsimsel bileşen değeri

m : tahmini yapılacak ileriki bir dönem

L_t : t dönemi için temel bileşen değeri

b_t : t dönemi için eğilim bileşen değeri

S_t : t dönemi için mevsimsel bileşen değeri

F_{t+m} : t döneminden m dönem sonraki öngörü değeri

Tahmin formülünde (3.4), 3 denklem de (seviye, eğilim ve mevsimsellik) yer almaktadır. Her denklem için düzeltme parametreleri (α , β ve γ) kullanılmaktadır. Bu yöntem bir üstel düzeltme yöntemidir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için temel değerlerin (L_t), sezon değerlerinin (b_t), mevsimsel bileşen değerlerinin (S_t) başlangıç değerlerine ihtiyaç duyulur. Bu sebeple sırasıyla başlangıç değerleri hesaplanmalıdır. Temel değer, birinci mevsim değerlerinin ortalamaları alınarak Eşitlik 3.5'teki bulunur;

$$L_s = \frac{1}{s} (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_s) \quad (3.5)$$

L_s : s uzunluğundaki mevsim için başlangıç seviye değeri

Yukarıdaki formülde verilerin hareketli ortalamaları alınarak mevsimsellik elimine edilmektedir. Sonrasında başlangıç eğilim ve mevsimsel bileşen değerleri için;

$$b_s = \frac{1}{s} \left(\frac{Y_{s+1} - Y_1}{s} + \frac{Y_{s+2} - Y_2}{s} + \dots + \frac{Y_{s+s}}{s} \right) \quad (3.6)$$

b_s : s uzunluğundaki mevsim için başlangıç eğilim değeri

$$S_s = \frac{Y_s}{L_s} \quad (3.7)$$

Burada;

S_s : s mevsim uzunluğu için s. döneme ait başlangıç mevsim bileşen değeri

Y_s : s mevsim uzunluğu için s. dönemdeki gerçekleşen gözlem değeri

L_s : s mevsim uzunluğu için s. dönemdeki temel değer

Denklemleri kullanılır.

Model performansının ölçülebilmesi için Ortalama Mutlak Sapma(OMS), Hata Kareler Ortalaması (HKO), Ortalama Mutlak Yüzde Hata(OMYH) ve Kök Ortalama Hatası(KOH) ölçütleri kullanılır. Bu sayede tahmin değerinin gözlem değerlerine ne derecede ortalama mutlak yakın olduğu gözlenir. OMS için;

$$OMS = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \bar{Y}| \quad (3.8)$$

Y_i , öngörülen zamanda(t) gerçekleşen değer demektir. \bar{Y} , uyarlanmış değer anlamına gelir. n ise gözlem sayısıdır. HKO, hataların birbirlerini etkilememesi için karelerin alınmasını ile denkleştirilmiştir;

$$HKO = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (3.9)$$

OMYH, hata ölçümleri içindir. Hata yüzdesinin mutlak değeri alınır;

$$OMYH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_i - \bar{Y}}{Y_i} \right| \quad (3.10)$$

KOH, ölçüm ile tahmin arasındaki hata oranını belirler.

$$KOH = \frac{\sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}}{n} \quad (3.11)$$

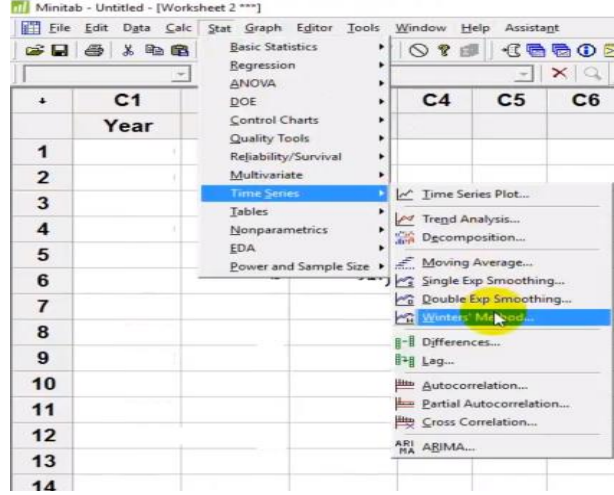
3.3. MINITAB Uygulaması

MINITAB yazılımı istatistiksel bir modelleme programıdır. Veri bazlı süreçlerin izlenebilmesi, analizinin yapılabilmesi ve bu süreçlerin iyileştirmesi amaçlı kullanılabilir [82].

2038 yılı enerji talep tahmini için MINITAB üzerinde Winters yöntemi seçilmiştir. 2017 ve 2018 yılında gerçekleşen tüketim değerleri saatlik bazda MINITAB yazılımı üzerinde tanımlanmıştır. EnergyPlan yazılımı her bir yıl için 8784 veri gerektirdiği için MINITAB üzerinde toplamda 17568 adet saatlik veri tanımlanmıştır.

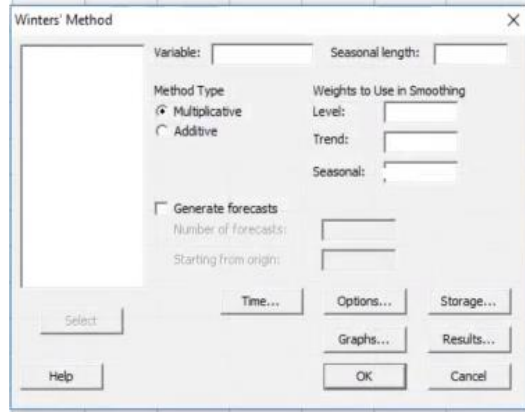
Winters yönteminde tahminde bulunabilmek için bir sezon 8784 olarak tanımlanmıştır. Geçmiş olduğumuz 2017-2018 yıllarına bakarak 20 yıl için tahmin de bulunulmuştur. Tahmin yöntemi olarak saatlik bazda ilerlenmiş toplamda 175680 adet veri alınmıştır.

Program ara yüzü Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. MINITAB Winters Metodu-I

Düzgünleştirme katsayıları level, trend ve seasonal için 0,00147 seçilmiştir. Bu işlemin doğrulanması maksatlı EPIAŞ'tan alınan 2019 yılı gerçekleşen değerler ile ve TEİAŞ talep tahmini projeksiyonundan 2038 yılı için öngörülen talep tahmini ayrıca kullanılmıştır.



Şekil 3.8. MINITAB Winters Metodu-II

2038 yılı 61271 MW toplam kurulu güç ihtiyacı gözlemlenmiştir. Bir başka deyişle 538.213 GWh toplam talep öngörülmüştür. MINITAB yazılımı üzerinde 175680 adet tahmin arasından 2038 yılını öngören tahmin aralığı en son 8784 adet saatlik veri EnergyPlan'da çalıştırılmıştır.

ETKB uzun dönem elektrik enerjisi talep projeksiyonunu güncel olarak paylaşmaktadır. Tablo 3.6'da 2019-2038 yılları arasında farklı senaryolar için elektrik enerjisi talep tahminleri ve senaryo bazlı bir önceki yıla göre değişim oranları bulunmaktadır.

Tablo 3.6. ETKB Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Sonuçları Yıllık Bazda Talep ve Değişim Oranları [83]

Yıllar	Senaryo 1 (GWh)	Senaryo 2 (GWh)	Senaryo 3 (GWh)	Senaryo 1 Değişim (%)	Senaryo 2 Değişim (%)	Senaryo 3 Değişim (%)
2019	313.832	315.182	316.503	4,6	5,0	5,5
2020	327.285	329.603	332.057	4,3	4,6	4,9
2021	340.511	344.407	348.662	4,0	4,5	5,0
2022	353.200	359.593	366.385	3,7	4,4	5,1
2023	366.767	375.821	385.177	3,8	4,5	5,1
2024	380.401	392.105	404.287	3,7	4,3	5,0
2025	392.610	406.939	422.303	3,2	3,8	4,5
2026	404.628	421.754	440.654	3,1	3,6	4,3
2027	416.619	436.632	458.917	3,0	3,5	4,1
2028	428.791	451.729	477.553	2,9	3,5	4,1
2029	441.026	466.820	496.555	2,7	3,3	4,0
2030	452.951	481.721	515.370	2,6	3,2	3,8
2031	464.567	496.702	533.989	2,5	3,1	3,6
2032	476.228	511.642	552.912	2,4	3,0	3,5
2033	487.827	526.353	571.626	2,3	2,9	3,4
2034	499.262	541.044	590.223	2,3	2,8	3,3
2035	510.826	555.682	608.452	2,3	2,7	3,1
2036	522.668	570.795	627.037	2,2	2,7	3,1
2037	534.008	585.308	644.939	2,1	2,5	2,9
2038	545.145	599.382	662.508	2,1	2,4	2,7

3.4. Senaryoların Oluşturulması

2038 yılı için senaryolar oluşturulurken, 2038 yılı için baz senaryo güncellenmiş ve ek olarak 3 grup senaryo oluşturulmuştur. Birinci senaryo grubunda artan talep ihtiyacının güneş enerjisi kullanılarak karşılanması hedeflenmiştir. Bu senaryo grubunda Türkiye mevcut güneş enerji potansiyelinin tamamı kullanılanına kadar güneş enerji kullanım yüzdesi kademeli olarak arttırılmıştır. İkinci grup senaryolar rüzgar enerjisinin kullanımına yönelik olarak oluşturulmuş ve aynı birinci grup senaryolar gibi Türkiye rüzgar enerjisi potansiyelinin tamamı kullanılanına kadar rüzgar enerjisi kullanım oranı kademeli olarak arttırılmıştır. Son grup olan üçüncü grup senaryolarda ise hem rüzgar hem güneş enerjisi bir arada dikkate alınmış ve iki enerji tipinin kullanım oranı mevcut potansiyellerine ulaşana kadar kademeli olarak arttırılmıştır. Baz senaryo ve diğer 3 grup senaryolar oluşturulurken göz önünde bulundurulmuş kriterler aşağıda açıklanmıştır;

1. 2038 yılı için baz senaryonun güncellenmesi: 2038 yılı için baz senaryo (Senaryo 1) oluşturulurken, 2018 yılındaki mevcut üretim yüzdeleri aynen korunarak artan talep

mevcut durumdaki enerji senaryo karması ile karşılanmaya çalışılmıştır. Baz senaryoda nükleer enerji dikkate alınmamıştır. Senaryo verileri Tablo 3.7’de tanımlanmıştır.

2. Birinci grup senaryolar: Bu senaryo grubunda, 2038 yılında öngörülen talep ihtiyacı artışının tamamının güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Talep artışının tamamı güneş enerjisi ile karşılandığı senaryoda (Senaryo 2) güneş enerjisi elektrik üretim yüzdesi %31 olarak bulunmuştur. Bu gruptaki diğer güneş enerjisi tabanlı senaryolarda (Senaryo3-Senaryo9) güneş enerjisi her senaryo için %5 arttırılırken, öncelikle doğalgaz sonra yerli kömür ve son olarak ithal kömür ile çalıştırılan enerji santral yüzdeleri azaltılmıştır. Senaryo verileri; 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları tablolarında tanımlanmıştır (Tablo 3.8 - Tablo 3.15).

3. İkinci grup senaryolar: Bu senaryo grubunda, 2038 yılında öngörülen talep ihtiyacı artışının tamamının rüzgâr enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Talep artışının tamamı rüzgâr enerjisi ile karşılandığı senaryoda (Senaryo 10) rüzgâr enerjisi elektrik üretim yüzdesi %35 olarak bulunmuştur. Bu gruptaki diğer rüzgâr enerjisi tabanlı senaryolarda (Senaryo11-Senaryo17) rüzgâr enerjisi her senaryo için %5 arttırılırken, öncelikle doğalgaz sonra yerli kömür ve son olarak ithal kömür ile çalıştırılan enerji santral yüzdeleri azaltılmıştır. Senaryo verileri; 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları tablolarında tanımlanmıştır (Tablo 3.16 - Tablo 3.23).

4. Üçüncü grup senaryolar: Bu senaryo grubunda, 2038 yılında öngörülen talep ihtiyacı artışının tamamının rüzgâr ve geniş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Talep artışının tamamı rüzgâr ve güneş enerjisi ile karşılandığı senaryoda (Senaryo 18) rüzgâr enerjisi elektrik üretim yüzdesi %35 olarak bulunmuştur. Bu gruptaki diğer rüzgâr ve güneş enerjisi tabanlı senaryolarda (Senaryo19-Senaryo24) rüzgâr enerjisi her senaryo için %5 arttırılırken, öncelikle doğalgaz sonra yerli kömür ve son olarak ithal kömür ile çalıştırılan enerji santral yüzdeleri azaltılmıştır. Senaryo verileri; 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları tablolarında tanımlanmıştır (Tablo 3.24 - Tablo 3.30).

5. Kurulabilir güneş enerjisi gücü 56.000 MW ve rüzgâr enerjisi gücü 48.000 MW olarak alınmıştır [84].

Yukarıdaki varsayımlara ek olarak senaryolarda aşağıdaki hususlar da dikkate alınmıştır.

1. Yapımı devam eden Akkuyu nükleer enerji santrali (4800 MW) ve yapılması öngörülen Sinop nükleer enerji santrali (4480 MW) devreye girmiştir. Toplam da yaklaşık olarak 9280 MW gücünde nükleer enerji ile enerji üreteceğimiz göz önünde bulundurulmuştur.

2. Şebeke altyapısının yeterli olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Kurulması planlanan güneş enerji santralleri için verimin artacağı ve enerji depolama sistemlerinin yeterli düzeyde kullanılacağı öngörülmüştür. Talebi karşılamaya esas üretim yapılması esas alınmıştır. Toplam öngörülen üretim gücünün kavramsal olarak talebi karşılayacağı düşünülmüştür.

3. Lisanssız güneş enerji santralleri göz önünde bulundurulmamıştır.

- Baz Senaryo (Senaryo 1) Tanımlanması

Baz senaryo (Senaryo 1)'da 2018 yılında kullanılan enerji üretim santralleri yüzdesi belirlenmiştir. Bu yüzdesel oran göz önünde bulundurularak aynı üretim santrallerinin 2038 yılı için toplam talebi karşılaması hedeflenmiştir. Tablo 3.7.'de 2018 ve 2038 yılı üretim yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 3.7. 2038 Yılı Baz Senaryosu (Senaryo -1)

2018 Yılı İçin Oluşturulan Baz Senaryo				2038 Yılı İçin Oluşturulan Baz Senaryo			
Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı	Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	10400	MW	32%	Doğalgaz	19309	MW	32%
Yerli Kömür	5615	MW	17%	Yerli Kömür	10425	MW	17%
İthal Kömür	7087	MW	21%	İthal Kömür	13158	MW	21%
Hidrolik Barajlı	4683	MW	14%	Hidrolik Barajlı	8695	MW	14%
Hidrolik Akarsu	2153	MW	7%	Hidrolik Akarsu	3997	MW	7%
Rüzgâr	2256	MW	7%	Rüzgâr	4189	MW	7%
Güneş	7	MW	0%	Güneş	13	MW	0%
Jeotermal	800	MW	2%	Jeotermal	1485	MW	2%
Toplam	33001	MW	100%	Toplam	61271	MW	100%

- Güneş Enerjisi Senaryolarının (Senaryo 2-9) Tanımlanması

Senaryo 2’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Yapılması öngörülen nükleer enerji santralleri devreye alınmıştır. Geri kalan üretim ihtiyacının tamamının güneş enerjisi ile karşılanmıştır. Toplam güneş enerjisi kullanım oranı %31 olarak öngörülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.8.’de belirtilmiştir.

Tablo 3.8. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -2)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	10400	MW	%17
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	18997	MW	%31
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 3’te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Güneş enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %36’ya çıkarılmıştır. Öncelik olarak doğal gaz kullanım yüzdesi %5 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.9.’da belirtilmiştir.

Tablo 3.9 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -3)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	7339,44	MW	%12
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	22057,56	MW	%36
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 4’te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup

yüzdesel kullanım oranı %41'e çıkarılmıştır. Öncelik olarak doğal gaz kullanım yüzdesi %5 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.10.'da belirtilmiştir.

Tablo 3.10. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -4)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	4275,89	MW	%7
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	25121,11	MW	%41
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 5'te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %46'ya çıkarılmıştır. Öncelik olarak doğal gaz kullanım yüzdesi %5 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.11.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.11. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -5)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	1212,34	MW	%2
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	28184,66	MW	%46
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 6'da toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %51'e çıkarılmıştır. Öncelik olarak doğal gaz %2 azaltılmış ve kullanımı bitirilmiştir. Akabinde kalorifik değeri düşük olan yerli kömür %3 azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.12.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.12. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -6)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	3764	MW	%6
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	31248	MW	%51
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 7’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %56’ya çıkarılmıştır. Kalorifik değeri düşük olan yerli kömür %5 azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.13.’te belirtilmiştir.

Tablo 3.13. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -7)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	700,24	MW	%1
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	34311,76	MW	%56
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 8’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %61’e çıkarılmıştır. Kalorifik değeri düşük olan yerli kömür %1 azaltılmış ve yerli kömür kullanımı bitirilmiştir. Sonrasında ithal kömür %4 azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.14.’te belirtilmiştir.

Tablo 3.14. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -8)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	4723,69	MW	%8
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	37375,31	MW	%61
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 9’da toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Güneş enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %66’ya çıkarılmıştır. İthal kömür %5 azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.15.’te belirtilmiştir.

Tablo 3.15. 2038 Yılı Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -9)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	1660,14	MW	%3
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	2256	MW	%4
Güneş	40438,86	MW	%66
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

• Rüzgâr Enerjisi Senaryolarının (Senaryo 10-17) Tanımlanması

Senaryo 10’da toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Yapılması öngörülen nükleer enerji santralleri devreye alınmıştır. Geri kalan üretim ihtiyacının tamamının rüzgâr enerjisi ile karşılanmıştır. Toplam rüzgâr enerjisi kullanım oranı %35 olarak öngörülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.16.’da belirtilmiştir.

Tablo 3.16. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -10)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	10400	MW	%17
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	21246	MW	%35
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 11’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %40’a çıkarılmıştır. Öncelik olarak doğal gaz kullanım yüzdesi %5 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.17.’de belirtilmiştir.

Tablo 3.17. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -11)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	7137,60	MW	%12
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	24508,40	MW	%40
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 12’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %45’e çıkarılmıştır. Doğal gaz kullanım oranı %5 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.18.’de belirtilmiştir.

Tablo 3.18. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -12)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	4074,05	MW	%7
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgar	27571,95	MW	%45
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 13'te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %50'ye çıkarılmıştır. Doğal gaz kullanım oranı %5 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.19.'da belirtilmiştir.

Tablo 3.19. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -13)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	1010,50	MW	%2
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	30635,50	MW	%50
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 14'te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %55 e çıkarılmıştır. Doğal gaz kullanım oranı %2 düşürülmüş olup doğalgaz kullanımı bitirilmiştir. Akabinde kalorifik değeri düşük olan yerli kömür %3 azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.20.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.20. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -14)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	3562	MW	%6
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	33699	MW	%55
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 15'te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %60'a çıkarılmıştır. Kalorifik değeri düşük olan yerli kömür %5 azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.21.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.21. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -15)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	498,40	MW	%1
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	36762,60	MW	%60
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 16'da toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %65'e çıkarılmıştır. Kalorifik değeri düşük yerli kömür kullanımı bitirilmiştir. Sonrasında ithal kömür kullanım oranı yaklaşık %5 oranında azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.22.'de belirtilmiştir.

Tablo 3.22. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -16)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	4521,85	MW	%7
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	39826,15	MW	%65
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 17’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı %70’e çıkarılmıştır. İthal kömür kullanım oranı %5 oranında azaltılmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.23.’te belirtilmiştir.

Tablo 3.23. 2038 Yılı Rüzgâr Enerjisi Senaryoları (Senaryo -17)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	1458,30	MW	%2
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	42889,70	MW	%70
Güneş	7	MW	%0
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

- Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryolarının (Senaryo 18-24) Tanımlanması

Senaryo 18’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının hem güneş enerjisi hem de rüzgâr enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Yapılması öngörülen nükleer enerji santralleri devreye alınmıştır. Geri kalan üretim ihtiyacının tamamı hem güneş enerjisi hem de rüzgâr enerjisi ile karşılanmıştır. Toplam rüzgâr enerjisi kullanım oranı %19, güneş enerjisi kullanım oranı ise %16 olarak öngörülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.24.’te belirtilmiştir.

Tablo 3.24. 2038 Yılı Rüzgar ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -18)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	10400	MW	%17
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	11751	MW	%19
Güneş	9502	MW	%16
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 19’da toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının hem rüzgâr hem güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi ayrı ayrı %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı rüzgâr için %24’e, güneş için %21’e çıkarılmıştır. Öncelik olarak doğal gaz kullanım yüzdesi %10 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.25.’te belirtilmiştir.

Tablo 3.25. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -19)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	4081	MW	%7
Yerli Kömür	5615	MW	%9
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	14705	MW	%24
Güneş	12866,90	MW	%21
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 20’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının hem rüzgâr hem güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi ayrı ayrı %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı rüzgâr için %29’e, güneş için %26’ya çıkarılmıştır. Doğal gaz kullanım oranı %7 düşürülmüş ve doğalgaz kullanımı bitirilmiştir. Yerli kömür kullanım oranı %3 düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.26.’da belirtilmiştir.

Tablo 3.26. 2038 Yılı Rüzgar ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -20)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	3568,90	MW	%6
İthal Kömür	7087	MW	%12
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	17768,50	MW	%29
Güneş	15930,40	MW	%26
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 21’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının hem rüzgâr hem güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi ayrı ayrı %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı rüzgâr için %34’e, güneş için %31’e çıkarılmıştır. Yerli kömür kullanımı bitirilmiş ve ithal kömür oranı %7’ye düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.27.’de belirtilmiştir.

Tablo 3.27. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -21)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	4528,80	MW	%7
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	20832	MW	%34
Güneş	18994	MW	%31
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	9280	MW	%15
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 22’de toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının hem rüzgâr hem güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi ayrı ayrı %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı rüzgâr için %39’a, güneş için %36’ya çıkarılmıştır. İthal kömür kullanım oranı bitirilmiştir. Nükleer enerji kullanım oranı düşürülmeye başlanmıştır. Senaryo verileri Tablo 3.28.’de belirtilmiştir.

Tablo 3.28. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -22)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	0	MW	%0
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	23895,60	MW	%39
Güneş	22057,50	MW	%36
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	7681,70	MW	%13
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 23'te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının hem rüzgâr hem güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesi ayrı ayrı %5 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı rüzgâr için %44'e, güneş için %41'e çıkarılmıştır. Nükleer enerji kullanım oranı %3'e düşürülmüştür. Senaryo verileri Tablo 3.29'da belirtilmiştir.

Tablo 3.29. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -23)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	0	MW	%0
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	26959,20	MW	%44
Güneş	25121,10	MW	%41
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	1554,65	MW	%3
Toplam	61271	MW	%100

Senaryo 24'te toplam talebi karşılamak için gerekli olan enerji üretim miktarının hem rüzgâr hem güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi kapasitesi %3 artırılmış olup yüzdesel kullanım oranı rüzgâr için %47'ye çıkarılmıştır. Nükleer enerji kullanım oranı bitirilmiştir. Senaryo verileri Tablo 3.30.'da belirtilmiştir.

Tablo 3.30. 2038 Yılı Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Senaryoları (Senaryo -24)

Enerji Santrali	Güç	Birim	Kullanım Oranı
Doğalgaz	0	MW	%0
Yerli Kömür	0	MW	%0
İthal Kömür	0	MW	%0
Hidrolik Barajlı	4683	MW	%8
Hidrolik Akarsu	2153	MW	%4
Rüzgâr	28513,89	MW	%47
Güneş	25121,10	MW	%41
Jeotermal	800	MW	%1
Nükleer	0	MW	%0
Toplam	61271	MW	%100

- Senaryoların Oluşturulması

Oluşturulan senaryolar ve belirlenen kriterler çerçevesinde ilgili senaryolara ait bulunmuş olan çıktılar Tablo 3.31.'de gösterilmiştir. Her bir senaryo EnergyPlan üzerinde çalıştırılmış olup analiz sonuçları gözlemlenmiştir. Bulunan değerler ilgili kriterler altında tanımlanmıştır. Enerji piyasasında önem arz ettiği düşünülen konular senaryolar için kriter olarak atanmıştır.

Kriterler 5 faklı başlık altında tanımlanmıştır:

- Yıllık Bazda Kullanılan Yakıtlardan Oluşan Enerji Sarfıyatı (TWh),
- Yıllık Bazda CO₂ Salınım miktarı (mTon),
- Toplam Üretimde Yenilenebilir Enerji Yüzdesi (%),
- Yıllık Bazda Toplam Maliyet(Yatırım ve İşletme) (mUSD),
- Arz Güvenliği(Enerji Çeşitliliği).

Tablo 3.31. Oluşturulan Senaryolar

	Yıllık Bazda Kullanılan Yakıtlardan Oluşan Enerji Sarfiyatı (TWh)	Yıllık Bazda CO ₂ Salınım miktarı (mTon)	Toplam Üretimde Güneş ve Rüzgar Enerjisi Yüzdesi (%)	Yıllık Bazda Toplam Maliyet (yatırım ve işletme) (mUSD)	Arz Güvenliği (Enerji Çeşitliliği)
S1	920	230	7	29200	8
S2	840	122	35	98994	9
S3	795	106	40	102415	9
S4	750	90	45	105838	9
S5	706	73	50	109262	9
S6	661	57	55	112686	8
S7	618	41	60	116110	8
S8	576	25	65	119534	7
S9	531	8	70	122957	7
S10	830	123	35	101508	9
S11	779	105	40	105154	9
S12	731	89	45	108577	9
S13	683	73	50	112001	9
S14	635	56	55	115425	8
S15	587	39	60	118849	8
S16	539	23	65	122273	7
S17	490	6	70	125697	7
S18	840	124	35	101515	9
S19	743	90	45	108577	9
S20	650	57	55	115425	8
S21	557	24	65	122273	7
S22	451	0,005	75	129120	6
S23	313	0,004	85	135968	6
S24	279	0,003	88	137705	5

3.5. Tercih Seçim İndeksi(TSI)

Oluşturulan senaryolar içerisinde en makul olan sonuca ÇKKV yöntemi olan TSI ile karar verilecektir [85]. TSI yönteminin adımları aşağıda verilmiştir.

1. Kriterleri senaryolar içerisinde tanımla.
2. Karar matrisini oluştur (Tablo 3.31’de oluşturulmuştur).
3. Verileri aşağıdaki formüllere göre normalleştir.
 - 3.1 Kriter için girilen değer artması faydalı ise Denklem 3.12’yi,
 - 3.2 Kriter için girilen değer azalması faydalı ise Denklem 3.13’ü kullan.

Normalleştirme-I denklemini faydalı olacağı düşünülen kriter için kullan.

$$N_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (3.12)$$

Normalleştirme-II denklemini faydalı olmayacağı düşünülen kriter için kullan.

$$N_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}} \quad (3.13)$$

Tablo 3.32. Normalleşen Değerler

	Yıllık Bazda Kullanılan Yakıtlardan Oluşan Enerji Sarfıyatı (TWh)	Yıllık Bazda CO ₂ Salınım miktarı (mTon)	Toplam Üretimde Güneş ve Rüzgar Enerjisi Yüzdesi (%)	Yıllık Bazda Toplam Maliyet	Yıllık Bazda Kullanılan Yakıtlardan Oluşan Enerji Sarfıyatı (TWh)
S1	0,303261	0,000013	0,079545	1,000000	0,888889
S2	0,332143	0,000025	0,397727	0,294967	1,000000
S3	0,350943	0,000028	0,454545	0,285114	1,000000
S4	0,372000	0,000033	0,511364	0,275893	1,000000
S5	0,395184	0,000041	0,568182	0,267248	1,000000
S6	0,422088	0,000053	0,625000	0,259127	0,888889
S7	0,451456	0,000073	0,681818	0,251486	0,888889
S8	0,484375	0,000120	0,738636	0,244282	0,777778
S9	0,525424	0,000375	0,795455	0,237481	0,777778
S10	0,336145	0,000024	0,397727	0,287662	1,000000
S11	0,358151	0,000029	0,454545	0,277688	1,000000
S12	0,381669	0,000034	0,511364	0,268934	1,000000
S13	0,408492	0,000041	0,568182	0,260712	1,000000
S14	0,439370	0,000054	0,625000	0,252978	0,888889
S15	0,475298	0,000077	0,681818	0,245690	0,888889
S16	0,517625	0,000130	0,738636	0,238810	0,777778
S17	0,569388	0,000500	0,795455	0,232305	0,777778
S18	0,332143	0,000024	0,397727	0,287642	1,000000
S19	0,375505	0,000033	0,511364	0,268934	1,000000
S20	0,429231	0,000053	0,625000	0,252978	0,888889
S21	0,500898	0,000125	0,738636	0,238810	0,777778
S22	0,618625	0,600000	0,852273	0,226146	0,666667
S23	0,891374	0,750000	0,965909	0,214756	0,666667
S24	1,000000	1,000000	1,000000	0,212047	0,555556

4. Normalleşen verilerin ortalamasını bul.

$$\mathcal{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{ij} \quad (3.14)$$

$$N_{j1} = 11,270787$$

$$N_{j2} = 2,351885$$

$$N_{j3} = 14,715909$$

$$N_{j4} = 6,881691$$

$$N_{j5} = 21,111111$$

$$n = 24$$

$$\mathcal{N}_{j1} = 0,469616 \quad \mathcal{N}_{j2} = 0,097995 \quad \mathcal{N}_{j3} = 0,613163 \quad \mathcal{N}_{j4} = 0,286737 \quad \mathcal{N}_{j5} = 0,879630$$

5. Tercih varyasyon değerini hesapla.

$$\phi_j = \sum_{i=1}^n [N_{ij} - \mathcal{N}]^2 \quad (3.15)$$

Tablo 3.33. Tercih Varyasyon Değerleri

	Yıllık Bazda Kullanılan Yakıtlardan Oluşan Enerji Sarfiyatı (TWh)	Yıllık Bazda CO ₂ Salınım miktarı (mTon)	Toplam Üretimde Güneş ve Rüzgar Enerjisi Yüzdesi (%)	Yıllık Bazda Toplam Maliyet (yatırım ve işletme) (mUSD)	Arz Güvenliği (Enerji Çeşitliliği)
S1	0,027674	0,009601	0,284748	0,508744	0,000086
S2	0,018899	0,009598	0,046413	0,000068	0,014489
S3	0,014083	0,009598	0,025159	0,000003	0,014489
S4	0,009529	0,009597	0,010363	0,000118	0,014489
S5	0,005540	0,009595	0,002023	0,000380	0,014489
S6	0,002259	0,009593	0,000140	0,000762	0,000086
S7	0,000330	0,009589	0,004714	0,001243	0,000086
S8	0,000218	0,009580	0,015744	0,001802	0,010374
S9	0,003114	0,009530	0,033230	0,002426	0,010374
S10	0,017815	0,009598	0,046413	0,000001	0,014489
S11	0,012424	0,009597	0,025159	0,000082	0,014489
S12	0,007735	0,009596	0,010363	0,000317	0,014489
S13	0,003736	0,009595	0,002023	0,000677	0,014489
S14	0,000915	0,009593	0,000140	0,001140	0,000086
S15	0,000032	0,009588	0,004714	0,001685	0,000086
S16	0,002305	0,009578	0,015744	0,002297	0,010374
S17	0,009954	0,009505	0,033230	0,002963	0,010374
S18	0,018899	0,009598	0,046413	0,000001	0,014489
S19	0,008857	0,009597	0,010363	0,000317	0,014489
S20	0,001631	0,009593	0,000140	0,001140	0,000086
S21	0,000979	0,009579	0,015744	0,002297	0,010374
S22	0,022204	0,252009	0,057174	0,003671	0,045353
S23	0,177880	0,425110	0,124430	0,005181	0,045353
S24	0,281307	0,813613	0,149643	0,005579	0,105024

6. Tercih değeri içerisindeki sapma hesapla.

$$\Omega_j = |1 - \phi_j| \quad (3.16)$$

$$\Phi_1 = 0,648318, \Phi_2 = 1,692027, \Phi_3 = 0,964225, \Phi_4 = 0,542892, \Phi_5 = 0,393004$$

$$\Omega_1 = 0,351682$$

$$\Omega_2 = 0,692027$$

$$\Omega_3 = 0,035775$$

$$\Omega_4 = 0,457108$$

$$\Omega_5 = 0,606996$$

$$\Omega_{\text{toplam}} = 2,143587$$

7. Ortalama ağırlık değerlerini hesapla.

$$\omega_1 = \frac{\Omega_j}{\sum_j^m \Omega_j} \quad (3.17)$$

$$\omega_1 = 0,164062$$

$$\omega_2 = 0,322836$$

$$\omega_3 = 0,016689$$

$$\omega_4 = 0,213244$$

$$\omega_5 = 0,283168$$

8. Tercih seçim indeksini hesapla.

$$\vartheta_i = \sum_{j=1}^M X_{ij} \times \omega_j \quad (3.18)$$

Tablo 3.34. Tercih Seçim İndeks Değerleri

	Yıllık Bazda Kullanılan Yakıtlardan Oluşan Enerji Sarfiyatı (TWh)	Yıllık Bazda CO ₂ Salınım miktarı (mTon)	Toplam Üretimde Güneş ve Rüzgar Enerjisi Yüzdesi (%)	Yıllık Bazda Toplam Maliyet (yatırım ve işletme) (mUSD)	Arz Güvenliği (Enerji Çeşitliliği)
S1	0,049754	0,000004	0,001328	0,213244	0,251705
S2	0,054492	0,000008	0,006638	0,062900	0,283168
S3	0,057577	0,000009	0,007586	0,060799	0,283168
S4	0,061031	0,000011	0,008534	0,058833	0,283168
S5	0,064835	0,000013	0,009483	0,056989	0,283168
S6	0,069249	0,000017	0,010431	0,055257	0,251705
S7	0,074067	0,000024	0,011379	0,053628	0,251705
S8	0,079468	0,000039	0,012327	0,052092	0,220242
S9	0,086202	0,000121	0,013276	0,050642	0,220242
S10	0,055149	0,000008	0,006638	0,061342	0,283168
S11	0,058759	0,000009	0,007586	0,059215	0,283168
S12	0,062617	0,000011	0,008534	0,057349	0,283168
S13	0,067018	0,000013	0,009483	0,055595	0,283168
S14	0,072084	0,000017	0,010431	0,053946	0,251705
S15	0,077978	0,000025	0,011379	0,052392	0,251705
S16	0,084923	0,000042	0,012327	0,050925	0,220242
S17	0,093415	0,000161	0,013276	0,049538	0,220242
S18	0,054492	0,000008	0,006638	0,061338	0,283168
S19	0,061606	0,000011	0,008534	0,057349	0,283168
S20	0,070421	0,000017	0,010431	0,053946	0,251705
S21	0,082178	0,000040	0,012327	0,050925	0,220242
S22	0,101493	0,193702	0,014224	0,048224	0,188779
S23	0,146241	0,242127	0,016120	0,045796	0,188779
S24	0,164062	0,322836	0,016689	0,045218	0,157316

9. En iyi alternatifleri bulmak için senaryo kriterlerini topla. En fazla değer en iyi senaryo olacak şekilde sırala.

Tablo 3.35. En İyi Sonuç Sıralamaları

Senaryolar	PSI Değeri	Sıralama
S24	0,706121	1
S23	0,639062	2
S22	0,546422	3
S1	0,516035	4
S13	0,415278	5
S5	0,414488	6
S12	0,411679	7
S4	0,411577	8
S19	0,410668	9
S3	0,409139	10
S11	0,408738	11
S2	0,407206	12
S10	0,406305	13
S18	0,405644	14
S15	0,393479	15
S7	0,390803	16
S14	0,388183	17
S6	0,386659	18
S20	0,386520	19
S17	0,376632	20
S9	0,370482	21
S16	0,368459	22
S21	0,365713	23

Sonuçlar incelendiğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut kapasiteleri dâhilinde en yüksek düzeyde kullanıldığı senaryoların ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir. 1. sırada çıkan senaryo 24; rüzgâr enerjisinin %47 ve güneş enerjisinin %41 olarak üretime katkıda bulunduğu senaryodur. 2. sıradaki senaryo 23; rüzgâr enerjisinin %44 ve güneş enerjisinin %41 olarak üretime katkıda bulunduğu senaryodur. 3. sıradaki senaryo ise 22. senaryodur ve bu senaryoda; rüzgâr enerjisi %39 ve güneş enerjisi %36 olarak üretime katkıda bulunmuştur. Bu senaryoların tamamı yenilenebilir enerji üretiminin toplamda en fazla kullanıldığı senaryolar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu anlamda bakıldığında belirlenen kriterlere göre yenilenebilir enerji oranının yüksek olmasının iyi sonuçlar verdiği söylenilebilir. Senaryo 1'in en iyi 4. senaryo olma sebebi maliyet farkının fazla olması ve arz çeşitliğinin sağlanması olarak değerlendirilebilir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında yenilenebilir enerji yüzdesini mümkün en yüksek seviyeye çıkartırken arz çeşitliğinin ve maliyetinde göz önünde bulundurulması gerektiği, bu nedenle öncelikle rüzgâr ve güneş daha sonra hidrolik, ithal kömür ve nükleerden oluşan bir enerji arzının verimli bir sistem oluşturacağı söylenebilir. Bütün bunlar ışığında, doğalgaz ve yerli kömürden bir an önce vazgeçilmeli ve dışa bağımlılık azaltılmalıdır. Rüzgâr ya da güneşin kullanımı bu enerji kaynaklarının ve santrallerin fiyatlandırmasına ve devletin bu alanda yapacağı teşvik ve politikalarına göre şekillendirilmelidir. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar yenilenebilir enerjinin kullanımının artırılması ve bu enerjileri kullanırken maliyet avantajları sağlayacak devlet politikalarının geliştirilmesi gerekliliğidir. Yenilenebilir enerjilerinin kullanımını arttırırken enerji arz çeşitliliğinin de mutlaka korunması ve öncelikli olarak hidrolik ve diğer termik santrallerin birleşiminden oluşan bir arz karması sağlanması gereklidir. Dışa bağımlılığı arttıran doğalgaz ve verimi düşük yerli kömürün kullanımının azaltılması da enerjinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir.

4. SONUÇ

Türkiye, ekonomisini ve teknolojisini her geçen gün geliştirmektedir. Hem sürekli artan nüfusun enerji ihtiyaçlarını karşılamaya çalışmakta hem de mevcut enerji kaynaklarını en doğru şekilde kullanmaya çalışmaktadır. Önemi her geçen gün artmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde teknolojik çalışmalar devam etmekte, yatırımlar için teşvikler sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması ülkemizin enerjide dışa bağımlılığının azalarak devam etmesi anlamına gelmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır ve önemli bir potansiyele sahiptir. Bu bağlamda, tez kapsamında yirmi yıl sonra öngörülen talebin rüzgâr ve güneş enerjisinden karşılanması amaçlanmış olup farklı kriterler açısından değerlendirilmiştir. Seçilen kriterlere ve uygulanan metotlara göre ülkemizdeki enerji talebinin önemli bir kısmının rüzgâr ve güneş enerjisi ile karşılanabileceği gözlemlenmiştir. Oluşturulan kriterler çerçevesinde en makul senaryoların en fazla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmaya çalışıldığı senaryolar olduğu gözlemlenmiştir. Ancak artan maliyet etkeninin ve arz güvenliği faktörünün enerji çeşitliliğine bağlı olmasının da senaryolar üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucu çıkarılmıştır. Bütün bunlar ışığında, her geçen gün azalan fosil yakıt kaynaklarına olan bağımlılığı en düşük seviyede tutabilmek geleceğimize önemli bir rol oynayacaktır. Sürdürülebilir bir enerji planlaması yapabilmek için rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının mümkün olan en fazla potansiyelde ve teknolojik gelişmeler çerçevesinde en fazla verimde kullanılması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] R. Karluk, "Cumhuriyet'in planından günümüze Türkiye ekonomisi'nde yapısal dönüşüm," *Baskı, Beta Yayınları, İstanbul, 2009.*
- [2] O. Türkyılmaz and C. Özgiresun, "Türkiye'nin enerji görünümü," *Mühendis ve Makina, 2010.*
- [3] E. Aktaş and O. Alioğlu, "Türkiye'de enerji sektörü analizi: Marmara bölgesi termik santraller örneği," *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, vol. 21, pp. 281-297, 2012.*
- [4] S. Karekezi, "Poverty and energy in Africa—a brief review," *Energy Policy, vol. 30, pp. 915-919, 2002.*
- [5] H. F. Matare, *Energy: Facts and Future: CRC Press, 2018.*
- [6] S. ÖZDEN and A. ÖZTÜRK, "Yapay sinir ağları ve zaman serileri yöntemi ile bir endüstri alanının (ivedik OSB) elektrik enerjisi ihtiyaç tahmini," *Bilişim Teknolojileri Dergisi, vol. 11, pp. 255-261, 2018.*
- [7] İ. G. TÜİK, "Göstergeler 1923-2010," *Ankara, TÜİK Matbaası, Yayın, 2012.*
- [8] M. Aydın, "Enerji verimliliğinin sürdürülebilir kalkınmadaki rolü: Türkiye örneği," 2016.
- [9] H. ALTINTAŞ, "Türkiye'de birincil enerji tüketimi, karbondioksit emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: eşbütünleşme ve nedensellik analizi," *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, vol. 8, pp. 263-294, 2013.*
- [10] N. Şişman, "Türkiye'nin 2023 yılında toplam elektrik enerjisi talebini karşılamak için optimum güneş enerjisi seçeneğinin araştırılması," Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2018.
- [11] H. Kaya, Y. Dilay, A. Özkan, and H. Soy, "Overview of renewable energy sources in Turkey," *Energy, vol. 6, 2019.*

- [12] A. Biçer, "Enerji talep tahminine yönelik program geliştirme ve bir bölge için uygulaması," Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2018.
- [13] O. Türkyılmaz and C. Özgiresun, "Türkiye'nin enerji görünümü," in *CO₂ Capture And Storage Workshop*, 2012.
- [14] M. Oral, "Enerji coğrafyası perspektifinde Türkiye'nin enerji politikaları," Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük, 2017.
- [15] İ. Konyalı, "Türkiye için mevcut enerji üretimine alternatif yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının seçimi," Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2019.
- [16] W. Bank. (2019, 13.11). *Electric Power Consumption (kWh per capita) - Turkey*. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&locations=TR&start=2000>
- [17] E. Toklu, M. Güney, M. Işık, O. Comaklı, and K. Kaygusuz, "Energy production, consumption, policies and recent developments in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1172-1186, 2010.
- [18] A. Demirbaş, "Energy balance, energy sources, energy policy, future developments and energy investments in Turkey," *Energy Conversion and Management*, vol. 42, pp. 1239-1258, 2001.
- [19] H. Doğan and N. Yılkırkan, "Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, vol. 3, pp. 375-384, 2015.
- [20] A. Sagbaş and B. Başbuğ, "Sürdürülebilir kalkınma ekseninde enerji verimliliği uygulamaları: Türkiye değerlendirmesi," 2018.
- [21] Ö. Sarhan, "Türkiye Elektrik Kurulu Gücünün Tarihsel Gelişimi," *Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü Bülteni*, pp. 79-90, 2015.
- [22] TEİAŞ. (2019, 13.11). *Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi*. <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-1>

- [23] E. A. YILMAZ and H. C. ÖZİÇ, "Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelecek hedefleri," *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*, vol. 8, pp. 525-535, 2018.
- [24] T. MMO, *Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018*. Ankara: Makina Mühendisleri Odası, 2018.
- [25] N. Alemdaroğlu, "Enerji sektörünün geleceği alternatif enerji kaynakları ve Türkiye'nin önündeki fırsatlar," *İstanbul Ticaret Odası Yayın*, p. 118, 2007.
- [26] H. Özbey, "Enerji politikaları: Türkiye ve Avrupa Birliği karşılaştırması," Yüksek Lisans, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2018.
- [27] F. Yıldız, "Avrupa Birliği enerji politikaları ve enerji arz güvenliği arayışları," *İnsan ve Toplum*, vol. 3, 2013.
- [28] E. Çevik, "Enerji politikalarının etkinliğinin ekonometrik analizi: Türkiye örneği" DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [29] G. Koçaslan, "Türkiye'nin enerji verimliliği mevzuatı, avrupa birliği'ndeki düzenlemeler ve uluslararası-ulusal öneriler." *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, vol. 15, pp. 117-133, 2014.
- [30] A. Frew, S. Becker, M. Dvorak, G. Andresen, M. Jacobson, "Flexibility mechanisms and pathways to a highly renewable US electricity future," *Energy* 2016;101:65–78.
- [31] R. Komiyama, Y. Fujii, "Optimal integration of variable renewables in electric power systems of Japan." *J Energy Eng* 2017:143.
- [32] Z. Muis, H. Hashim, Z. Manan Z, F. Taha, P. Douglas, "Optimal planning of renewable energy-integrated electricity generation schemes with CO₂ reduction target," *Renew Energy* 2010;35:2562–70.

- [33] M. Ozcan, S. Ozturk, M. Yildirim, "Turkey's long-term generation expansion planning with the inclusion of renewable-energy sources," *Comput Electr Eng* 2014;40:2050–61.
- [34] E. Pean, M. Pirouti, M. Qadrdan, "Role of the GB-France electricity interconnectors in integration of variable renewable generation," *Renew Energy* 2016;99:307–14.
- [35] D. Connolly, H. Lund, B.V. Mathiesen, M. Leahy, "A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy system," *Applied Energy* 87 2010: 1059-1082.
- [36] Q. Liu, Q. Lei, H. Xu, and J. Yuan, "China's energy revolution strategy into 2030," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 128, pp. 78-89, 2018
- [37] Y. Huang, Y. J. Bor, and C.-Y. Peng, "The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application," *Energy Policy*, vol. 39, pp. 6790-6803, 2011.
- [38] J. Nieves, A. Aristizábal, I. Dyner, O. Báez, and D. Ospina, "Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application," *Energy*, vol. 169, pp. 380-397, 2019.
- [39] G. Hu, X. Ma, and J. Ji, "Scenarios and policies for sustainable urban energy development based on LEAP model—A case study of a postindustrial city: Shenzhen China," *Applied Energy*, vol. 238, pp. 876-886, 2019.
- [40] T. Aized, M. Shahid, A. A. Bhatti, M. Saleem, and G. Anandarajah, "Energy security and renewable energy policy analysis of Pakistan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 84, pp. 155-169, 2018.
- [41] S. Salehin, M. T. Ferdaous, R. M. Chowdhury, S. S. Shithi, M. B. Rofi, and M. A. Mohammed, "Assessment of renewable energy systems combining techno-economic optimization with energy scenario analysis," *Energy*, vol. 112, pp. 729-741, 2016.

- [42] L. Jia, C. Wenying, and L. Deshun, "Scenario analysis of China's future energy demand based on TIMES model system," *Energy Procedia*, vol. 5, pp. 1803-1808, 2011.
- [43] E. Dal and M. A. Koksai, "Modeling the use of renewable energy sources for electricity generation based on technological, political, and environmental constraints," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 3129-3134, 2017.
- [44] M. G. Prina, M. Lionetti, G. Manzolini, W. Sparber, and D. Moser, "Transition pathways optimization methodology through EnergyPLAN software for long-term energy planning," *Applied Energy*, vol. 235, pp. 356-368, 2019.
- [45] M. LIONETTI, "EnergyPLAN integrated multi-objective transition pathways optimization for energy scenarios to 2050," 2018
- [46] D.-I. Gota, H. Lund, and L. Miclea, "A Romanian energy system model and a nuclear reduction strategy," *Energy*, vol. 36, pp. 6413-6419, 2011.
- [47] D. Drysdale, B. Vad Mathiesen, and H. Lund, "From carbon calculators to energy system analysis in cities," *Energies*, vol. 12, p. 2307, 2019.
- [48] M. Mahdy and A. S. Bahaj, "Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt," *Renewable Energy*, vol. 118, pp. 278-289, 2018.
- [49] N. Hajibandeh, M. Shafie-Khah, G. J. Osório, J. Aghaei, and J. P. Catalão, "A heuristic multi-objective multi-criteria demand response planning in a system with high penetration of wind power generators," *Applied Energy*, vol. 212, pp. 721-732, 2018.
- [50] F. Katal and F. Fazelpour, "Multi-criteria evaluation and priority analysis of different types of existing power plants in Iran: An optimized energy planning system," *Renewable Energy*, vol. 120, pp. 163-177, 2018.
- [51] J. S. Jeong and Á. Ramírez-Gómez, "Optimizing the location of a biomass plant with a fuzzy-decision-making trial and evaluation laboratory (F-DEMATEL) and multi-criteria spatial decision assessment for renewable energy management and

long-term sustainability," *Journal of Cleaner Production*, vol. 182, pp. 509-520, 2018.

- [52] D. E. Majewski, M. Wirtz, M. Lampe, and A. Bardow, "Robust multi-objective optimization for sustainable design of distributed energy supply systems," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 102, pp. 26-39, 2017.
- [53] S. Mallikarjun and H. F. Lewis, "Energy technology allocation for distributed energy resources: A strategic technology-policy framework," *Energy*, vol. 72, pp. 783-799, 2014.
- [54] T. Papadimitriou, P. Gogas, and E. Stathakis, "Forecasting energy markets using support vector machines," *Energy Economics*, vol. 44, pp. 135-142, 2014.
- [55] D. Latinopoulos and K. Kechagia, "A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece," *Renewable Energy*, vol. 78, pp. 550-560, 2015.
- [56] A. Arnette and C. W. Zobel, "An optimization model for regional renewable energy development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 4606-4615, 2012.
- [57] P. Xu and E. H. Chan, "ANP model for sustainable building energy efficiency retrofit (BEER) using energy performance contracting (EPC) for hotel buildings in China," *Habitat International*, vol. 37, pp. 104-112, 2013.
- [58] V. Ş. Ediger and H. Tatlıdil, "Forecasting the primary energy demand in Turkey and analysis of cyclic patterns," *Energy Conversion and Management*, vol. 43, pp. 473-487, 2002.
- [59] Z. Yumurtaci and E. Asmaz, "Electric energy demand of Turkey for the year 2050," *Energy Sources*, vol. 26, pp. 1157-1164, 2004.
- [60] V. Ş. Ediger and S. Akar, "ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey," *Energy Policy*, vol. 35, pp. 1701-1708, 2007.

- [61] O. E. Canyurt and H. K. Ozturk, "Application of genetic algorithm (GA) technique on demand estimation of fossil fuels in Turkey," *Energy Policy*, vol. 36, pp. 2562-2569, 2008.
- [62] Y. Yetis and M. Jamshidi, "Forecasting of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Network," in *2014 World Automation Congress (WAC)*, 2014, pp. 723-728.
- [63] Y. S. Murat and H. Ceylan, "Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling," *Energy Policy*, vol. 34, pp. 3165-3172, 2006.
- [64] M. Bilgili, B. Sahin, A. Yasar, and E. Simsek, "Electric energy demands of Turkey in residential and industrial sectors," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 404-414, 2012.
- [65] H. Ceylan, H. Ceylan, S. Haldenbilen, and O. Baskan, "Transport energy modeling with meta-heuristic harmony search algorithm, an application to Turkey," *Energy Policy*, vol. 36, pp. 2527-2535, 2008.
- [66] M. D. Toksarı, "Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: case of Turkey," *Energy Policy*, vol. 37, pp. 1181-1187, 2009.
- [67] M. Beskirli, H. Hakli, and H. Kodaz, "The energy demand estimation for Turkey using differential evolution algorithm," *Sādhanā*, vol. 42, pp. 1705-1715, 2017.
- [68] M. Kankal and E. Uzlu, "Neural network approach with teaching–learning-based optimization for modeling and forecasting long-term electric energy demand in Turkey," *Neural Computing and Applications*, vol. 28, pp. 737-747, 2017.
- [69] M. S. Kiran and M. Gunduz, "A novel artificial bee colony-based algorithm for solving the numerical optimization problems," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 8, pp. 6107-6121, 2012.
- [70] H. Uguz, H. Hakli, and Ö. K. Baykan, "A new algorithm based on artificial bee colony algorithm for energy demand forecasting in Turkey," in *2015 4th*

International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT), 2015, pp. 56-61.

- [71] K. Kavaklioglu, "Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression," *Applied Energy*, vol. 88, pp. 368-375, 2011.
- [72] D. Cinar, G. Kayakutlu, and T. Daim, "Development of future energy scenarios with intelligent algorithms: case of hydro in Turkey," *Energy*, vol. 35, pp. 1724-1729, 2010.
- [73] Z. Dilaver and L. C. Hunt, "Industrial electricity demand for Turkey: a structural time series analysis," *Energy Economics*, vol. 33, pp. 426-436, 2011.
- [74] İ. Uygun, "Yapay sinir ağıları yardımı ile enerji sektöründe talep tahmini," 2015.
- [75] E. Hüseyin, F. Y. KALENDER, and C. HAMZAÇEBİ, "Yapay sinir ağıları ile Türkiye net enerji talep tahmini," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 29, 2014.
- [76] T. Bayramoğlu, H. Pabuçcu, and F. Ç. Boz, "Türkiye İçin Anfis Modeli İle Birincil Enerji Talep Tahmini," *Ege Akademik Bakis*, vol. 17, pp. 431-445, 2017.
- [77] B. Başoğlu and M. Bulut, "Kısa dönem elektrik talep tahminleri için yapay sinir ağıları ve uzman sistemler tabanlı hibrit sistem geliştirilmesi," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 32, pp. 575-583, 2017.
- [78] EnergyPlan Advanced energy system analysis computer model
<https://www.energyplan.eu/>.
- [79] EPIAŞ Gerçek zamanlı saatlik üretim ve tüketim verileri
<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/>
- [80] Estimation of Turkey's GHG emissions from electricity generation by fuel types, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53, 832-840, 2016
- [81] A. Tuzemen, C. Yıldız, "Holt Winters Tahminleme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi: Türkiye işsizlik oranları uygulaması EPIAŞ gerçek

zamanlı saatlik üretim ve tüketim verileri," Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt: 32, Sayı:1, 2018

- [82] Minitab istatistiksel yazılım programı <https://www.minitab.com/en-us/>
- [83] ETKB elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçları - Yıllık bazda talep ve değişim oranları https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-06/taleprapor_2019-2028.pdf.
- [84] S. Cebeci, "Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi," *T.C. Kalkınma Bakanlığı*, Yayın No: 2977, 2017.
- [85] K. Tampubolon, R. Sianturi, F. Waruwu, A. Siahaan, "Determination of education scholarship recipients using preference selection index," *Volume 3*, Issue 6, Print ISSN: 2395-6011, 2017.